

## IPv6 を用いたファシリティネットワークとのシームレスな 接続環境の実装

黒木 秀和 井上 博之 神原 久夫 松田 和宏 荻野 司

{hidekazu,inoue,kamihara,matsuda,ogino}@ubiteq.co.jp

株式会社 IRI ユビテック ユビキタス研究所

### 概要

ファシリティネットワークにつながるデバイスに IP 機能を持たせることにより、インターネット経由でデバイスの制御や監視をすることで、ファシリティネットワークの維持や管理にかかるコストを抑えることが考えられている。しかし、一括した制御や監視を実現するためには、ファシリティネットワークにつながる全てのデバイスに IP 機能を搭載する必要があり、非常に多くのコストがかかる。さらに、ファシリティネットワークの種類によっては、既設のデバイスの変更が想定されていないものもあり、デバイス自体に IP 機能を持たせることが不可能な場合も多い。本稿では、既存のファシリティネットワーク上のデバイスの置き換えをすること無く、IP ネットワークからデバイスへのシームレスな接続を可能にする手法について提案すると共に、この具体的な実装例を示す。これにより、多大なコストをかけることなく、様々なファシリティネットワークと IP ネットワークがシームレスに接続できるようになると共に、インターネットを経由してデバイスを一括して制御や監視をすることが出来るようになる。またこれにより、デバイスの管理ポイントをインターネット経由に集約することができ、ファシリティネットワークの維持・管理にかかるコストを削減することが期待できる。

## An Implementation of Seamless Access Method for Facility Network with the IPv6 Protocol

Hidekazu Kuroki Hiroyuki Inoue Hisao Kamihara Kazuhiro Matsuda Tsukasa Ogino

{hidekazu,inoue,kamihara,matsuda,ogino}@ubiteq.co.jp

Ubiquitous Laboratories, IRI Ubiteq, Inc., Tokyo, JAPAN

### Abstract

It is thought that the cost on maintenance and management of the facility networks would be suppressed by controlling and observing devices through the way of the Internet by providing the IP connectivity technologies to the devices connected on facility networks. However, it is necessary to install the IP function in all devices connected on the facility networks to achieve a lumped operation of control and management of the facility networks, which leads a lot of implementation costs. On the other hand in many cases, it is very hard to replace the existing devices to the one with IP function because of its original design of the existing facility networks, which does not have an assumption to replace devices after implementation. In this paper, it explains the technique for enabling a seamless connection from the IP network to devices on facility networks, and the concrete mounting example is shown. With this technology, the seamless connection of the facility networks with the Internet is achieved without considerable amount of cost. And it makes the unified control and management of devices available through the Internet, which enables aggregation of device management point over the Internet and expected cost reduction in operation and management of the facility networks.

### 1 はじめに

従来より、ファシリティネットワークにつながるデバイスの維持や管理にかかるコストを減らすため、遠隔からデバイスの制御できるようにし、さらに複数のデバイスをまとめて一括で制御や監視をするための様々な取り組みが行われてきた。特に、広く普及したインターネットを利用することで、新たに掛かるネットワーク費用も含めてコストを抑えつつ、場所を限定しない遠隔制御

も可能になる。この実現方法として、これまでファシリティネットワークにつながっていたデバイスに対して直接 IP 機能を実装することにより、デバイスを直接 IP ネットワークに接続できるようにすることを考えることが多い。しかし、一括したデバイスの制御や監視を実現するためには、ファシリティネットワークにつながる全てのデバイスに IP 機能を搭載する必要があるために、非常に多くのコストがかかることになる。また、ファシリティネットワークとそこにつながるデバイスは、長期

にわたって使用されると共に途中でデバイスを変更することが想定されていないものがあり、すでに設置済みであるデバイスに IP 機能を持たせることが不可能な場合が多い。本稿では、既存のファシリティネットワーク上のデバイスの置き換えをすること無く、IP ネットワークからデバイスへのシームレスな接続を可能にする手法について提案すると共に、具体的な実装例を示す。またこの実装を通じて今後の課題などについても言及する。

## 2 従来技術

ファシリティネットワークにつながるデバイスを、インターネット経由で制御や監視ができるようにするにあたって、Web サーバを利用する方法がある。図 1 に示すように Web サーバをファシリティネットワークに設置された各デバイスを制御するためのデバイス制御装置（以後単に接続装置とする）と Web サーバを接続し（あるいはデバイス制御装置自体に Web サーバ機能を載せることもある）、さらに Web サーバをインターネットに接続することで、インターネット経由で Web サーバのインターフェースを介して、ファシリティネットワーク上のデバイスを制御することを可能とする方法である。

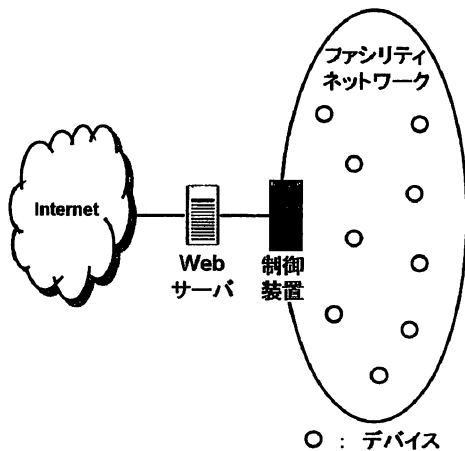


図 1：Web サーバを用いたファシリティネットワークとインターネットの結合

Web サーバを用いることにより、インターネット経由で遠隔からファシリティネットワーク上のデバイスを制御したり監視したりする事は可能となるが、以下のような問題点が存在する。

- デバイスを制御するには、一度 Web サーバにアクセスして、さらにファシリティネットワーク独自の体系に基づくデバイスの ID を指定するという複雑な手順が必要となる。
- 複数のファシリティネットワークが存在する場合、ファシリティネットワーク毎に Web サーバのアドレスを管理する必要がある。

複数の種類の異なるファシリティネットワークが存在する場合、ファシリティネットワーク毎に全く異なる独自体系に基づいた ID を同時に管理する必要がある。

## 3 IPv6 シームレス接続装置の提案

本章では、ファシリティネットワーク上の制御装置とインターネットの間に設置され、ファシリティネットワーク上の全てのデバイス毎に異なる IP アドレスを生成すると共に、ファシリティネットワーク及びその中のデバイスに一切の変更を加えることなしに、インターネットからはあたかも全てのデバイスが IP 機能を保有しているかのように振る舞う装置を提案する。この装置を IPv6 シームレス接続装置（以後、単に接続装置とする）と呼ぶことにする。

### 3.1 IPv6(Internet Protocol Version 6)

接続装置は、インターネットとの接続に広く普及している IPv4 ではなく、IPv6 を用いて行う。この理由として、以下の点が挙げられる。

- ファシリティネットワークにつながるデバイスは、その数が非常に膨大であり、全てのデバイスに毎に異なるグローバルな IP アドレスすべてを確保するのは、IPv4 では非常に困難である。
- IPv6 アドレスは、下位 64bit のインターフェース ID をほぼ自由に設定できるため、様々なファシリティネットワークに特有の ID 形式に対応で

きる。

- ・ 今後はアドレスの枯渇が現在の IPv4 ではなく、IPv6 が主流になっていくと考えられ、長期に渡って使用されるファシリティネットワークには IPv6 が適当と考えられる

### 3.2 全体構成及び構成要素

接続装置を用いたシステムの全体構成を、図2に示す。図1の構成と比較すると、Web サーバを接続装置に置き換えた構成になっている。接続装置及び制御装置は次の通りである。

- ・ **接続装置(IPv6 シームレス接続装置)**  
ファシリティネットワークと IPv6 ネットワークの橋渡しを行う装置であり、ファシリティネットワーク上の全てのデバイスは IP 機能を搭載しているかのように振る舞う。
- ・ **制御装置(デバイス制御装置)**  
ファシリティネットワーク上に存在するデバイスの制御を行う装置。既存のファシリティネットワークにおいても設置されている事が多く、接続装置とは LonWorks や BACNET といったファシリティネットワーク特有の非 IP なプロトコルで接続される。

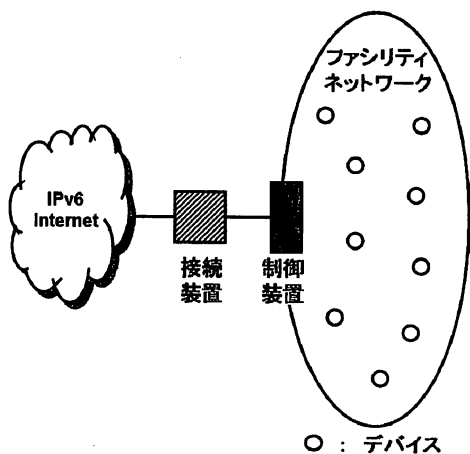


図2：接続装置を用いた全体構成

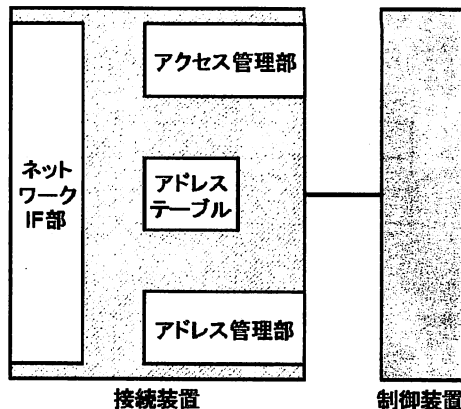


図3：接続装置及び制御装置の構成

- ・ **デバイス**  
ファシリティネットワーク上に設置された各種様々な制御装置以外の装置。特定目的の機能を有する装置であることが多い。  
また、図2のうち接続装置及び制御装置の構成について図3にさらに詳しく示す。接続装置内の各機能ブロックは、次の通りである。
- ・ **ネットワーク IF 部**  
IPv6 インターネットと接続可能な Ethernet などの物理インターフェースで、デバイス毎にユニークに生成された多くの IPv6 アドレスは全てこのネットワーク IF 部のアドレスとして設定される。
- ・ **アドレス管理部**  
ファシリティネットワーク上のデバイス毎に IPv6 アドレスを生成する共に、ネットワーク IF 部に対する IPv6 アドレスの設定を行い、アドレステーブルに対してデバイスと IPv6 アドレスとの対応の登録削除を行う。
- ・ **アクセス管理部**  
IPv6 インターネット経由の外部からの接続要求を受け付けると共に、その接続要求に応じて対象となるデバイスと制御内容を制御装置に伝え、さらにデバイスに対する制御の結果を制御装置から受け取って外部の接続元に結果を返す。
- ・ **アドレステーブル**

現在接続されているファシリティネットワーク上のデバイスと、IPv6 アドレスの対応テーブル。保持する内容を表 1 に示す。

名前	内容
IPv6Addr	デバイス IPv6 アドレス
DeviceID	デバイス固有 ID

※デバイス IPv6 アドレス、デバイス固有 ID は、後述。

表 1：アドレステーブルの格納内容

また、その他の構成要素として以下のものを定義する。

- ・ **デバイス固有 ID**  
制御装置が、ファシリティネットワーク上において接続された各種デバイスを個別に認識するためにデバイス毎に振られている ID。
- ・ **デバイスインターフェース ID**  
デバイス固有 ID から生成された IPv6 アドレスのうちのインターフェース ID に相当する 64bit 部分。
- ・ **IPv6 ネットワークプレフィックス**  
接続装置が IPv6 ネットワークに接続された際に割り振られた IPv6 アドレスのうちネットワークプレフィックスに相当する 64bit 部分。
- ・ **デバイス IPv6 アドレス**  
ユニークとなるように生成された IPv6 アドレス。デバイスインターフェース ID と IPv6 ネットワークプレフィックスから生成される (図 4)。

### 3.3 前提条件

接続装置は、上位ネットワーク又は上位ネットワークとの間に存在するルータから IPv6 アドレスが割り当てられており、IPv6 インターネット経由で任意の場所から接続可能な状態である必要がある。

また、接続装置に上位ネットワークまたはルータから割り当てられる IPv6 アドレスは、ネットワークプレフィックスの長さを 64bit 長とする。

さらに、デバイスへ制御を指示するための IPv6 上のプロトコル仕様は、予め決められたものとし、すべてのデバイスはこのプロトコルを介して制御を行えるようになっている。

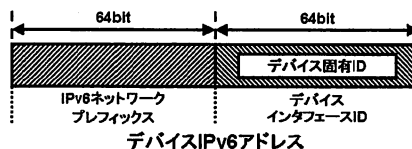


図 4：デバイス IPv6 アドレス

### 3.4 動作手順

接続装置は、ファシリティネットワーク上の制御装置と連動して動作することで、ファシリティネットワーク上の全てのデバイスが IP 機能を搭載しているかのように動作する。接続装置及び制御装置の動作手順を

- ・ デバイス追加時の動作
  - ・ デバイス制御時の動作
  - ・ デバイス削除時の動作
- の 3 つに分けて説明する。

#### 3.4.1 デバイス追加時の動作

ファシリティネットワークでデバイスが追加された時、図 5 において制御装置及び接続装置は以下のように動作する。

**[手順①]**：ファシリティネットワークにデバイスが追加されると、制御装置はデバイスが追加されたことを認識し、このデバイスのデバイス固有 ID を取得する。

**[手順②]**：制御装置は、接続装置のアドレス管理部に対して、デバイスが追加されたことをそのデバイスのデバイス固有 ID と共に通知する。

**[手順③]**：接続装置のアドレス管理部は、制御装置から通知を受けたデバイス固有 ID をもとに I デバイスインターフェース ID を生成する。このデバイスインターフェース ID とネットワーク IF 部が持つ IPv6 ネットワークプレフィックスとを組み合わせることでデバイス IPv6 アドレスを生成し、接続装置のネットワーク IF 部に対して、この IPv6 アドレスの追加設定を行う。

**[手順④]**：接続装置のアドレス管理部は、制御装置から通知を受けたデバイス固有 ID と手順③で生成したデバイス IPv6 アドレスを対応付けて接続装置のアドレステーブルに登録する。

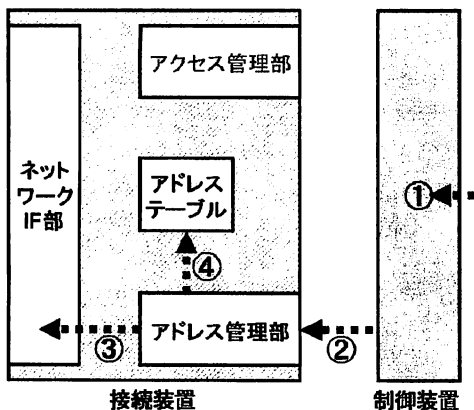


図5：デバイス追加時の動作手順

以上のように動作することで、ファシリティネットワークに接続されている全てのデバイスに対して、それぞれ異なるIPv6アドレスが生成され、制御装置のネットワークIF部にこれらのIPv6アドレスが全て設定されることになる。接続装置はIPv6インターネットを介してデバイスに対応したIPv6アドレスを宛先として接続されるが、デバイス毎にその宛先のIPv6アドレスは異なるため、どのデバイスに対応するかデバイスIPv6アドレスであるか判別することが可能となる。

#### 4.4.2 デバイス制御時の動作

IPv6インターネットを介してファシリティネットワーク上の特定のデバイスに対応したデバイスIPv6アドレスにアクセスされると、図6において制御装置及び接続装置は以下のように動作する。

[手順①]：IPv6インターネットを介して接続装置のネットワークIF部に設定されたデバイスIPv6アドレス宛にアクセスされると、接続装置はこのデバイスIPv6アドレスと通信内容をアクセス管理部に通知する。

[手順②]：接続装置のアクセス管理部は、アドレステーブルに複数登録されているデバイスIPv6アドレスとデバイス固有IDの組み合わせの中から、手順①で通知されたデバイスIPv6アドレスが一致する組み合わせを取得して、対応するデバイス固有IDを得る。

[手順③]：接続装置のアクセス管理部は、通知された通

信内容を予め決められたプロトコル仕様にもとづいて解析し、得られたデバイスに対する制御内容を、手順②で得たデバイス固有IDを持つデバイスに対して実行するように制御装置に指示をする。

[手順④]：制御装置は、接続装置のアクセス管理部より受け取ったデバイス固有IDとデバイスに対する制御内容にもとづいて、該当するデバイスの制御を実行する。

[手順⑤]：制御装置は、デバイスより手順④におけるデバイスの制御の実行結果を受け取る。

[手順⑥]：制御装置は、デバイスより受け取った制御の結果を接続装置のアクセス管理部に通知する。

[手順⑦]：接続装置のアクセス管理部は、制御装置より受け取ったデバイスの制御結果を予め決められたプロトコル仕様にもとづきIPv6インターネットを経由してアクセス元に通知する。

以上のように動作することで、ファシリティネットワークに接続されている全てのデバイスについて、IPv6インターネットを経由して各デバイスに対応するデバイスIPv6アドレスを宛先として接続装置にアクセスし、予め決められたプロトコルにもとづいてデバイスに対する制御内容を通知することで、デバイスに対する制御を行うことが出来る。また、デバイスに対する捜査の結果は予め決められたプロトコルにもとづいてIPv6インターネット経由で得ることが可能である。

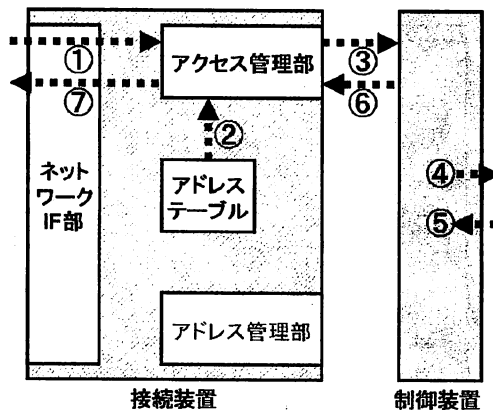


図6：デバイス制御時の動作手順

### 3.4.3 デバイス削除時の動作

ファシリティネットワークでデバイスが削除された時、図7において制御装置及び接続装置は以下のように動作する。

**[手順①]**：ファシリティネットワークでデバイスが削除されると、制御装置はデバイスが削除されたことを認識し、このデバイスのデバイス固有 ID を取得する。

**[手順②]**：制御装置は、接続装置のアドレス管理部に対して、デバイスが削除されたことをそのデバイスのデバイス固有 ID と共に通知する。

**[手順③]**：接続装置のアドレス管理部は、アドレステーブルに複数登録されているデバイス IPv6 アドレスとデバイス固有 ID の組み合わせの中から、制御装置から通知を受けたデバイス固有 ID と一致する組み合わせを取得して、対応するデバイス IPv6 アドレスを得る。

**[手順④]**：接続装置のアドレス管理部は、接続装置のネットワーク IF 部に対して、手順③で得たデバイス IPv6 アドレスの削除設定を行う。

**[手順⑤]**：接続装置のアドレス管理部は、手順③で取得したデバイス IPv6 アドレスとデバイスのデバイス固有 ID の組み合わせを、アドレステーブルより削除する。

以上のように動作することで、ファシリティネットワークに接続されている全てのデバイスに対して、どのデバイスが削除されたとしても、削除されたデバイスに対応

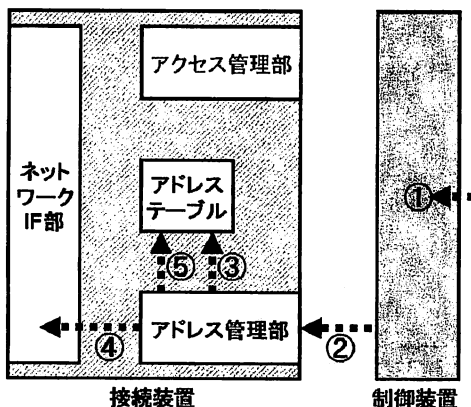


図7：デバイス削除時の動作手順

するデバイス IPv6 アドレスは、制御装置のネットワーク IF 部より削除されることになる。これにより接続装置のネットワーク IF 部には現在動作中であるデバイスに対応するデバイス IPv6 アドレスのみが設定されていることになり、不要となったデバイス IPv6 アドレスの設定は回収されるようになっていく。

### 3.5 デバイスインターフェース ID の決定

上記の手順では、デバイス IPv6 アドレスを構成する IPv6 ネットワークプレフィックは同一となるため、デバイスインターフェース ID はユニークとなる必要があるが、デバイス固有 ID がファシリティネットワーク上においてユニークであるので実現は容易である。

一方、接続機器が接続されている IPv6 ネットワークの同一データリンク上に IPv6 ノードが存在して、デバイス IPv6 アドレスと IPv6 アドレスが一致してしまう可能性があるが、これを避ける手法と以下の方法がある。

- デバイス IPv6 アドレスを接続機器のネットワーク IF 部に追加設定する前に、デバイス DAD(Duplicate Address Detection)の処理を行う。これにより同一リンクローカル上の IPv6 アドレスの重複をチェックする。
- IEEE に対して製造会社識別番号を申請し、割り当てられた製造会社識別番号を含む EUI-64 の体系と IPv6 の Addressing Architecture の仕様にしたがってデバイスインターフェース ID を生成する。これにより IPv6 アドレスが重複する可能性を低減させる。

### 3.6 セキュリティの確保

デバイスの制御という性質上、IPv6 インターネット経由でデバイスにアクセスするには、途中経路のセキュリティの確保が必須となる場合が多い。セキュリティの確保は必要な場合は、接続装置に IPsec の機能を実装すればよい。デバイス毎にデバイス IPv6 アドレスが異なるため、きめ細かいセキュリティ制御が可能である。

### 3.7 複数のファシリティネットワーク

同一の接続装置に複数のファシリティネットワークを接続することも可能である。但し、異なるファシリティネットワーク間で、デバイス固有 ID が同一になる可能性があり、アドレス管理テーブルを表 2 のように拡張する必要がある。

名前	内容
IPv6Addr	デバイス IPv6 アドレス
facility	ファシリティネットワークの識別子
DeviceID	デバイス固有 ID

表 2：拡張アドレステーブルの格納内容

また、ファシリティネットワークの識別子を含めてデバイスインターフェース ID 生成する、あるいは IPv6 ネットワークプレフィックスを複数割り当てられるようにし、ファシリティネットワーク毎に IPv6 ネットワークプレフィックスを変えるなど、デバイス IPv6 アドレスの生成手順に工夫が必要となる。

### 4 IPv6 シームレス接続装置の効果

これまで説明した接続装置を導入することで以下のような効果が期待できると考えられる。

- 既存のファシリティネットワーク及びその上につながるデバイスに手を加えることなく、非常に安価なコストで IPv6 ネットワーク上からこれらのデバイスに対してシームレスにアクセスすることが可能になる。
- 接続装置以外の IPv6 ノードは特別な機能を必要としない。
- この接続装置はファシリティネットワークに限らず様々な非 IP ネットワークや非 IP デバイスに適用することが可能である。
- 将来的に多くのデバイスが IP 機能を搭載するようになると考えられるが、そうなるまでには多くの時間とコストが掛かるため、それまでの移行期間の代替手段としても有効である。
- 汎用的なデバイス制御のためのプロトコルを定義するため、多種多様なファシリティネットワーク毎

に異なるプロトコルではなく、単一のプロトコルで接続されている全てのデバイスを制御可能。

- 接続装置上に、デバイスにはなかった新しい機能を実装することで、見た目にはデバイスの機能を拡張する事が可能。

### 5 IPv6 シームレス接続装置の実装：BX(Building eXchange)

IPv6 シームレス接続装置の実装として、BX(Building eXchange)の開発及び商品化を行った。BX は、ビル管理のファシリティネットワークに特化して、上記のシームレス接続装置の技術を実装した製品であり、現在のところ NMAST と呼ばれるファシリティネットワークに対応している。これを設置すると、図 8 のようにビルの照明やセンサなどが一つ一つ個別の IPv6 アドレスを持つ IPv6 ノードのように外部からは見えるようになる。

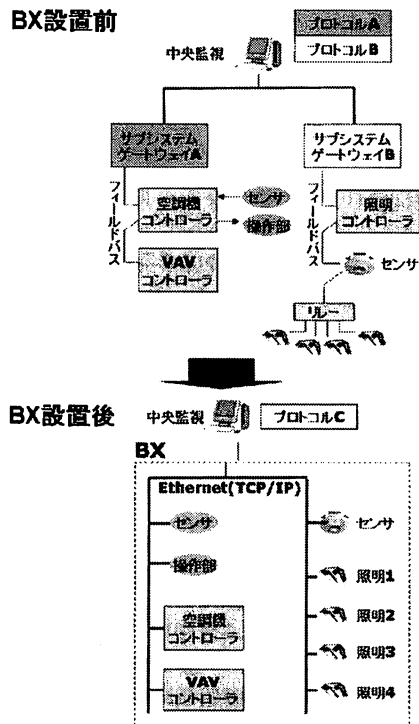


図 8：BX の設置前と設置後の比較

また、BX はデバイスに以下のような機能が追加されたかのように動作するため、既存のデバイスに高付加価値をつける役割も果たしている。

- ・ 省エネ管理
- ・ 在室確認機能、侵入者検知、警備連動機能
- ・ スケジューリング機能
- ・ 照明のパターン制御、グループ制御

## 6 今度の課題

IPv6 シームレス接続装置の今後の課題として、以下のような点が考えられる。

- ・ IPv4 ネットワークとのシームレスな接続の実現 (IPv4 で動作するの制御用又は監視用クライアントとのシームレスな接続)。
- ・ より多くのファシリティネットワークへの本技術の適用と検証。
- ・ ファシリティネットワーク以外の非 IP ネットワークへの本技術の適用。

## 7 まとめ

本研究では、ファシリティネットワークと IPv6 インターネットをシームレスに接続し、既存のファシリティネットワーク及びファシリティネットワーク上のデバイスに対して一切の変更を加えることなく、IPv6 インターネット経由で任意の場所からファシリティネットワーク上のデバイスに対して、アクセス可能にするシームレス IPv6 接続装置について提案を行った。

このシームレス IPv6 接続装置を用いることで、非常に安価なコストでファシリティネットワーク上のデバイスを IPv6 ネットワーク上に IPv6 ホストとして見せることが可能となる。また、ファシリティネットワークに限らず非 IP なネットワークにつながる全てのデバイスも同様に手法を適用することで、IPv6 ネットワークに接続することが可能になると考えられる。

さらに、このシームレス IPv6 接続装置の実装としてファシリティネットワークの一種であるビル照明管理システム NMAST に適用したものととして BX について

説明した。

## 謝辞

本研究にあたり、ご協力を頂いた株式会社 IRI ユビテックユビキタス研究所の諸氏に深く感謝します。

## 参考文献

- [1] Deering, S. and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.
- [2] T. Narten, E. Nordmark, and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC2461, December 1998.
- [3] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC2462, December 1998.
- [4] A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", RFC2463, December 1998.
- [5] S. Kent and R. Atkinson, "Security Architecture for the Internet Protocol", RFC4291, February 2006.
- [6] R. Hinden and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC2401, November 1998.
- [7] "LonWorks Briff" ([http://www.echelon.co.jp/products/pdf/041015LONWORKS\\_IBJ.pdf](http://www.echelon.co.jp/products/pdf/041015LONWORKS_IBJ.pdf))
- [8] Steven T. Bushby, "BACnet - A standard communication infrastructure for intelligent buildings", Automation in Construction, Vol. 6 No. 5-6, 1997, p. 529-540
- [9] "Guidelines for EUI64: 64-bit Global Identifiers" ([http://grouper.ieee.org/groups/scc32/dsrc/ip/ip\\_images/IEEE-EUI64.pdf](http://grouper.ieee.org/groups/scc32/dsrc/ip/ip_images/IEEE-EUI64.pdf)), IEEE
- [10] "次世代ネットワークプロトコル IPv6 対応 Building eXchange を製品化" (<http://www.c-direct.ne.jp/japanese/uj/pdf/10106662/00042769.pdf>)
- [11] 高添 智樹, 松田 和宏, 神原 久夫, 黒木 秀和 "デバイス制御システム" 特願 2005-373327
- [12] 松田 和宏, 神原 久夫, 黒木 秀和 "デバイス制御システムの制御装置" 特願 2006-122504