

現状のIPv4ネットワークに代わる、新たなIPプロトコルとして注目されているIPv6。来るべきホームネットワーク時代には必須の技術だが、その移行はあまり進んでいないと言えない。今回はその移行のタイミングと、運用の実現へ向けた取り組みを通して、IPv6の現状を解説してみたい。

IPv6

普及への課題

南 政樹 (WIDEプロジェクト・慶応義塾大学環境情報学部専任講師) + 編集部

minami@wide.ad.jp

本当の意味でのインターネットを生みだすIPv6

IPv6の重要性と その歴史的な背景

IPv6は、1992年のINETでIAB(Internet Activities Board)から提案された「IPv7」に端を発するIPng(IP next generation)の議論から誕生した。IABが「IPv7」をINETで提案した理由は、IPv4の狭いアドレス空間(32ビット)とクラスという大雑把なアドレス割り当て方式では、IPアドレスはいずれ枯渇するので、新たなインターネットプロトコルが必要になるという点にあった。IABの提案に対してIETFはこれを拒否し、IPngの検討を開始した。その後「CATNIP」「SIPP」「TUBA」の3つの提案を検討し、最終的にアドレス空間の拡張とヘッダーフォーマットの単純化、そしてそれともなう機能の切り分けをほどこしたSIPP(Simple Internet Protocol Plus)の改良案をIPv6として採用した。

その後IETFでは、IPv4からIPv6への移行とそための技術について議論する「ngtrans」、IPv6の基本仕様と新たな利用方法について議論する「IPng」、そしてIETFの精神に従い、世界規模の実証実験とそのフィードバックについて議論を進める「6bone」という3つのワークグループを軸に、さまざまなエリアにおいて

IPv6に関する研究開発を進めている。

IPv6の可能性

IPv6に新たに追加された機能としては、セキュリティを高めるIPSec(IP Security)がある。IPSecはIPv4の頃から研究開発されていたが、IPv6では必ず実装しなければならない機能として基本仕様に取り込まれた。この技術によって、いままではファイアーウォールなどでネットワーク単位でセキュリティを確保してきたインターネットが、本来持っていた「End to Endモデル」に従って、ホストごとにセキュリティを確保できるようになる。このことは

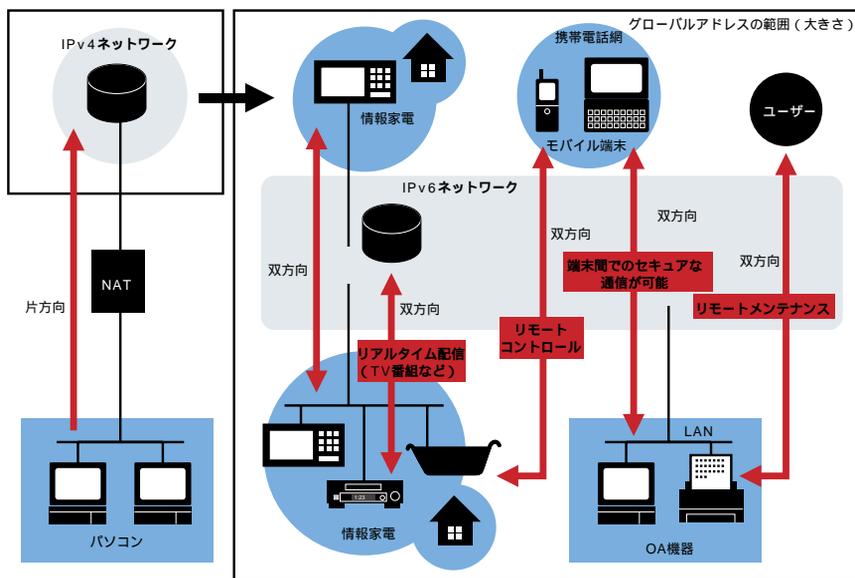
端末が移動することによって接続するネットワークがどんどん変化する場合に非常に有効である。また、IPSecによってパケットそのものを暗号化できるので、接続するネットワークにたよらずにセキュリティが確保できる。

IPv6の最大の特徴は、128ビットの広大なアドレス空間である。IPv4の32ビットのアドレスに対して、ほぼ無限大の大きさだ。また、アドレスのうち経路情報として利用する部分が、IPv4では可変長であるため、アドレスの利用効率にばらつきが生じていた。これに対してIPv6では、規模的に十分な大きさの固定長でネットワークを識別する部分を階層的に取り扱っている。このため、アドレスの利用効率は一

IPv6の優位点

事業者	
規模拡張性	IPv4では32ビットだったのが、IPv6は桁数が4倍の128ビットのアドレスを用いている。
セキュリティ	IPv6の基本仕様にはパケットの暗号化とパケット送信者の認証というセキュリティが含まれている。
リアルタイム性の考慮	リアルタイム性を要するトラフィック(ビデオ会議とか)を効率的にサポートするために、IPv6にはflowlabelが含まれている。ルーターはパケットがどのend-to-endのフローに属しているかがわかる。
プラグアンドプレイ	IPv6はプラグアンドプレイでアドレスを設定できる。
仕様の明確化と最適化	IPv6はIPv4の良いところは引き継ぎ、良くない点や古い点は取り除くように設計されている。

インターネットビジネスを拡大するIPv6



IPv4では、グローバルアドレスの枯渇によって、ホームLANなどではNATによってプライベートアドレスを発行してネットワークにつながるのが主流だ。そのためグローバルネットワークから個々の端末にアクセスできないので、片方向のネットワークと言える。しかしIPv6では、双方向（デバイスtoデバイス）に対応できるようになる。

定となり、ネットワーク管理者はこの特性を生かして、容易にアドレスを割り当てられるという側面もある。IPv6の広大なアドレス空間は、世界中のすべてのセンサーやデバイスを接続するのに十分な空間だ。このため、IPv4はコンピュータをつなぐための技術、IPv6はすべての電子機器がつながった本当の意味でのインターネットを構築できる技術と言える。

IPv6 利用の現状

IPv6の開発では、BSD系UNIXにおける「KAMEプロジェクト」やLinuxにおける「USAGIプロジェクト」の成果が広く利用され

ている。この日本発の有名な2つのプロジェクト以外にも、マイクロソフトやアップルのようなOSベンダーからIPv6を実装したプロダクトが入手できる。たとえば、ウィンドウズではベータ版ながらIPv6導入キットが無償で配布されており、さらにウィンドウズXPやMac OS XにはIPv6機能が含まれる予定である。利用者サイドの環境は徐々に整いつつあると言える。

一方、コネクティビティを提供するプロバイダーやバックボーン系では、6boneを使ったIPv6の実証実験を5年前から実施している。また、IPv6アドレス管理資格を有するsTLAの割り当てが1999年に開始され、2000年には試験運用ながら商用のサービスプロバイダーが接続

IPv6 アドレスの表記方法

- IPv6のアドレスは、4桁の16進数を8つ、コロンでつなげて書く。
- ネットワークアドレスを書く場合は「アドレス/プレフィックス長」のように書く。

例) 3ffe:0102:0000:0000:0000:0000:0000/32

- 多数の0が並んでいる箇所は、: (コロン)に囲まれた4桁の部分ごとに、10の位以上の先頭にある0を省略できる。たとえば「0102」は「102」に、「0000」は「0」と書ける。
- 「:0:」が連続する所は「::」と省略できる。ただし、「::」はアドレス全体で1度しか使えない。上記で例として挙げたアドレスは以下のように省略できる。

```
3ffe:0102:0000:0000:0000:0000:0000/32
10の位以上の先頭にある0を略す
3ffe:102:0:0:0:0:0:0/32
0:0:0を略す
3ffe:102::/32
```

なお、一般ユーザーがアプリケーションを利用する場合は、ドメイン名によって通信相手を指示する。ドメイン名は、DNSによって自動的にIPv4/v6アドレスに変換されるので、一般ユーザーがIPv6アドレスを入力することはほとんどない。

サービスを提供しはじめた。今年中には、さらに複数のプロバイダーがサービスを開始する予定である。さらにASPやデータセンターでもIPv6への対応を実施してきている。特に、CDS (Content Distribution Service)のように、DNSのエントリーを適宜振り替えることによって、コンテンツのキャッシュにトラフィックを向けなおすサービスでは、広大なアドレス空間を有効に利用できるためIPv6を利用する可能性が非常に高い。

2000年頃からようやく一般的に利用できるようになったIPv6だが、移行はどうなっているのだろうか。次ページではその取り組みについて紹介する。

IPv6でアクセス可能なウェブサーバー (一部)

.jp	.com	.net	.org
faq.v6.wide.ad.jp	ipv6.research.microsoft.com	www.6bone.net	www.normos.org
www.v6.imasy.or.jp	altavista.ipv6.digital.com	www.ipv6.rccn.net	www.no.daemonnews.org
www.v6.pds-flab.rwcp.or.jp	www.ipv6.digital.com	www.iijlab.net	www2.no.freebsd.org
www.6bone.nec.co.jp	ftp.ipv6.digital.com	www.kame.net	www.jp.freebsd.org
www.v6.linux.or.jp	ipv6.decaen.com	www.ipv6.nl.net	www2.no.netbsd.org
www.v6.hitachi.co.jp	www.ipv6forum.com	www.zamanetworks.com	www.6init.org
www.ring.gr.jp	www.missingU.com	www.stealth.net	www.bernies.org
www.iij.ad.jp	www.ipv6.bt.com/projects/	www.ny6ix.net	www.ipv6.fbc-hanover.org
www.soum.co.jp/mito/			
www.nnr.to			

IPv6の現状を探る

それでは、IPv4からIPv6への移行へ向けて、どのような取り組みが行われているのだろうか。IPv6実験サービスを行っているIIJとNTTコミュニケーションズの例から、IPv6の現状を解説してみたい。

CASE 1 : IIJ

多様なサービスを提供するIIJ

現在IIJで提供しているか、または提供を予定しているIPv6関連のサービスは、以下の4つになる。ユーザーはこれらのサービスを目的に合わせて利用できる。それぞれのサービスの違いは、次のとおりだ。

① IPv6 実験サービス

これは、ユーザーが気軽にIPv6環境を利用できるようにするためのサービスだ。このサービスはIIJの専用線サービスを利用しているユーザーのみが利用できる。専用線で接続しているユーザーは、IPv6トンネルルーターさえ用意すれば、新たにIPv6接続用の専用線を引くことなく簡単にIPv6インターネットと接続できる。

現在ユーザーが利用しているIPv4ネットワークにIPv6トンネルルーターを加えて、既存の

IPv4ネットワーク上にトンネルを作り、IPv6インターネットにはそのトンネルを経由してIIJに設置しているIPv6実験サービス用のルーターとの間を接続する仕組みだ。IPv4の通信はIPv6トンネルルーターを介さずに従来どおり行う。IPv6のパケットはIPv6トンネルルーターでIPv4にカプセルリングし、このトンネルを通してIPv6インターネットと通信する。このトンネリング型のサービスは、IIJ以外にも、NTTコミュニケーションズやNEC、KDDI、JENSなどで広く採用されている。しかしデメリットとして、結局はIPv4のネットワークを使用するので、IPv6の特徴であるスループットの向上が望めないという点がある。また、実験サービスという性格上、現状ではユーザーの絶対数や利用できるウェブベースのサービスが少ない。

② IPv6 ネイティブサービス

このサービスは、本格的なIPv6の実験を行

いたいユーザー、または既存のIPv4ネットワークに影響を与えずにIPv6インターネットとの接続を行いたいユーザーに向けたサービスだ。

現在使用しているIPv4用の専用線とは別に、新たにIPv6用の専用線を引き、そこにIPv6ルーターを設置する方法だ。IPv6のパケットしか通らない環境を作るので、IPv4とIPv6のトラフィックはそれぞれの専用線を通り、互いに影響を与えない。既存のIPv4ネットワークの技術的な制限を受けたり、既存のサービスや運用管理上の方針に縛られたりすることなく、新しくIPv6環境を構築できる。提供する帯域は64kbps、128kbps、1.5Mbpsの3種類がある。ただし、IPv6の専用線はIPv4と互換性はないため、IPv6の通信には通信相手、経路ともIPv6ベースになっていなければならない。また、あらたなIPv6の専用線や、IPv4とのつなぎ込みを構築する必要があるため、人的、または資金的な面でのコストを考えると、困難な部分もある。

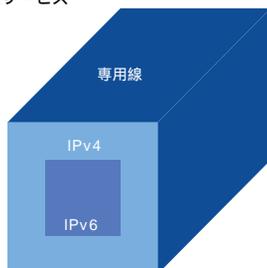
③ IPv6 デュアルスタックサービス

このサービスは、実験ではなくIPv6を実用サービスとして使いたいユーザーに向けたサービスだ。IPv4、IPv6の両方のインターネットに1つのサービスでつなげられる。専用線上に、IPv4もIPv6も両方のパケットをそのまま（カプセルリングすることなく）通してユーザーのネットワークまで接続する方法だ。

現在ユーザーが使用しているIPv4のルーター

各サービスの違い

① IPv6実験サービス



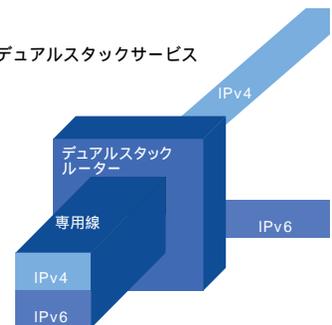
実験サービスでは、トンネルという技術を用いてIPv4の上にIPv6を通す。

② IPv6ネイティブサービス



ネイティブサービスでは、専用線の上に直接IPv6を通す。

③ IPv6デュアルスタックサービス



デュアルスタックサービスでは、デュアルスタック用のルーターを設置し、同一ネットワーク上でIPv4とIPv6どちらの通信も可能としている。

の代わりにデュアルスタック用のルーターを設置し、同一ネットワーク上でIPv4とIPv6どちらの通信も可能にしている。利用にあたって一番便利な形態なので、IPv6が広く普及したときにはこの方法がもっとも一般的になるだろう。このサービスは今秋から提供を始める予定だ。

④ データセンターのIPv6対応

このサービスは、本格的にIPv6で情報発信を行っていきたいユーザー用のサービスだ。データセンターに構築したサーバーからIPv6インターネットにも情報を発信したい場合などに最適である。IIJのデータセンターをIPv6対応に

し、そのユーザーにIPv6で接続を提供する方法だ。IPv6専用の環境をイーサネットを提供するので、既存のIPv4サーバーとは別にIPv6サーバーを用意するなど、柔軟なシステムを構築できる。IIJの各データセンターで順次対応を進めている。

CASE 2 : NTTコミュニケーションズ

グローバルなIPv6の 展開を目指すNTTCom

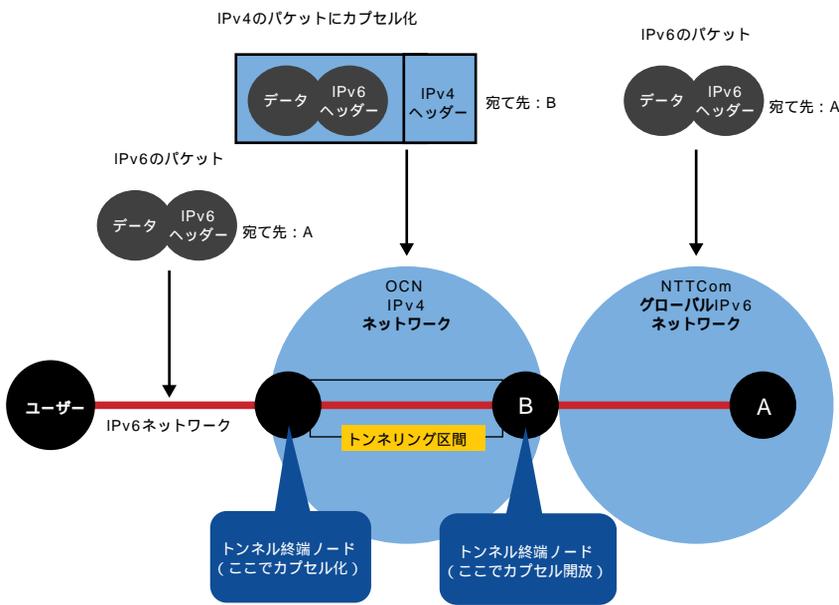
NTTコミュニケーションズは、1999年に日本の商用ISPとしては初めて、IPv6のアドレス管理資格（sTLA）を取得し、同年12月よりOCN網でのIPv6トンネリング実験を開始している。現在実験パートナーは約185社で、個人ユーザーや企業システムに導入を検討している

企業とISPを中心に多くのユーザーに利用されている。この実験では、IPv6ネットワークの運用と、次世代インターネットの新しいマーケットの開拓を目的としており、専用線接続型OCNを利用しているユーザーには、平成13年5月30日まで無料で提供している。

この実験はIPv6 over IPv4トンネリング技術を使用しているため、ユーザーはトンネリングの終端となる機器（FreeBSD、Linux、IPv6

対応ルーター、ウィンドウズ2000 + IPv6スタックなど）を準備する必要がある。また、将来的なIPv6への移行技術を検証するために、IPv6からIPv4のサーバーに接続させるためのトランスレーターも提供している。NTTコミュニケーションズは日米欧にまたがるグローバルIPv6ネットワークを保有しており、世界への高いコネクティビティーの提供を実現している。このIPv6トンネリング実験は今春には商用化の予定だ。このほか、NTTコミュニケーションズでは香港のHKNet社と共同で香港でのIPv6サービスも提供を開始する予定で、グローバルなIPv6の普及を目指している。

IPv6 over IPv4 トンネリング実験のしくみ



IPv6パケットはトンネル終端ノードでカプセル化され、IPv4ネットワーク上を通過（トンネリング）する。逆側のトンネル終端ノードではカプセルから開放され、もとのIPv6パケットの形に戻る。このトンネルを終端する機能はIPv6対応ルーターのほか、FreeBSD、Linux、ソラリス、ウィンドウズ2000などのOSにも搭載されている（一部実験提供）。

IPv6を用いた新しいサービスの可能性



星 哲夫

インターネットノード株式会社代表取締役社長

IPv6の実験サービスが進められている一方で、その技術を用いたさまざまなハードウェアも開発されている。その中で、新たなホームネットワークを実現する仕組みを開発した「インターネットノード」株式会社に、IPv6の可能性について語ってもらった。

制御・計測とインターネットの融合で新たなビジネスモデルを模索

インターネットノード株式会社は、横河電機とWIDEリサーチの合併会社として2000年9月

に設立しました。横河電機は、WIDEプロジェクトに1992年から参加してきました。IPv6については、WIDEの村井純先生の「世界に先がけてまず日本がIPv6に取り組んでいこう」という提唱に賛同して、これまでに2つのプロジェクトに参加してきました。1つは、「KAME（カメ）プロジェクト」という、IPv6のプロトコルを開発するプロジェクトです。これはFreeBSDやNetBSDなどのOS上でIPv6のプロトコルスタックを開発し、それを世界標準にしようというものです。もう1つはKAMEプロジェクトと対になる「THAI（タイ）プロジェクト」です。これは、IPv6のソフトウェアがインターネットの標準であるRFCに準拠しているかどうかを検証するプロジェクトです。また、今後はいろいろな会社がIPv6を実装してくるので、それらのインターオペラビリティ（相互接続性）についてのテストも行いました。

このように、われわれは比較的早い時期からIPv6のシステムに注目して開発をしてきました。しかし、横河電機は計測と制御の会社ですので、それとは別にこのような技術に加えているような測定器やセンサーなどを作ってきたノウハウを生かし、この2つの違った技術を合わせて、新しいことができるのではないかと考えていました。IPv6自身は、ネットワークの世界で話題になっていますが、実際にどのようなアプリケーションができるのかということに対して

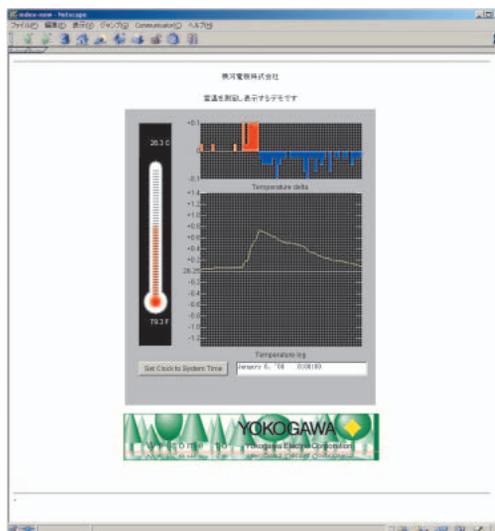
は、なかなか議論が盛り上がりませんでした。そのなかで、われわれがインターネットにつながる温度計を開発して、村井先生に見せたところ「これはIPv6に非常に適したアプリケーションになるので、こうしたものをきっかけにしてIPv6を世の中に普及させましょう」という話になりました。そこで、IPv6を世の中に広めるためのアプリケーションや、それに関するビジネスモデルを考える会社を作ったのです。

温度センサーから広がるIPv6アプリケーションの未来像

われわれは大前提として、新しいサービスを実現するためのさまざまな商品を作っています。ですから今回開発した温度センサーは、ただ温度を測るだけの目的で作られたものではありません。サービスを受けるためには、温度を測ってネットワークの上で情報を発信する機能が必要になります。そういう意味で、これは温度計でもあり、ネットワークの上ではサーバーでもあるのです。インターネットから直接アクセスできるという意味で、1つ1つがサーバーの機能を持っています。また、このなかにホームページを持つこともできます。この温度センサーを部屋の中に置いておくと、部屋の温度によって、暑ければ近所の酒屋さんがおいしいビールを持ってきてくれるようなサービスが考えられます。つまり自分の要求に合わせて何かを提供

IPv6 普及への課題

温度センサーから発信された情報はウェブ画面で表示される。



してもらおうといったサービスをネットワークで実現できないかを考えているわけです。

今までのインターネットというのはパソコンを使うことが前提で、どんなサービスを受けるにしてもパソコンの前に座って、さまざまな操作をしたうえで何らかのサービスを受けるという仕組みになっています。しかし、私がビールを飲みたいのはパソコンの前に座っている時ではなく、日常生活のなかのふとした時です。その時ネットワークの向こう側に誰かがいて、私の部屋の温度を把握できれば、たとえばビールでも持っていこうかなど考えるわけです。活用例として、たとえば商店が顧客10軒にこれを置けば、10軒分の新たなサービスが始められるかもしれません。このような機能がこのセンサーが従来のものと違う点です。今後はこうしたセンサーを家の中に数個置いて、温度に限らず、さまざまな情報の発信もできるようになるでしょう。装置自体は簡単な仕組みになっていますので、数百円程度で販売できます。

そうすると、アドレスのスペースや、それを管理する手法、セキュリティなどで、IPv4では到底追いつかなくなってしまいます。こうしたシステムを実現するにはIPv6が不可欠なのです。できれば、世の中がIPv4からIPv6に移るタイミングでこうしたサービスを広げていこうと考えています。

このセンサーは、現在は温度計にすぎません

が、ほかにもさまざまな可能性を秘めています。われわれがいくつか作っている試作品のなかで、センサーをリモコンで操作するというものがあります。つまりネットワーク経由で、エアコンやテレビなど、家庭内のいろいろな機器を制御できるようにするものです。またIPv6を利用すれば、ほかにも遠隔地の冷凍庫の各温度センサーにIPアドレスを付与し、いつでもどこからでもインターネット経由で各センサーの情報を収集できるなど、遠隔監視、管理システムをインターネットのインフラで簡単に構築できます。

インターネットの本質はEND to ENDのコミュニケーションだと言われています。そのENDとENDでアプリケーションを作れば、次々と新

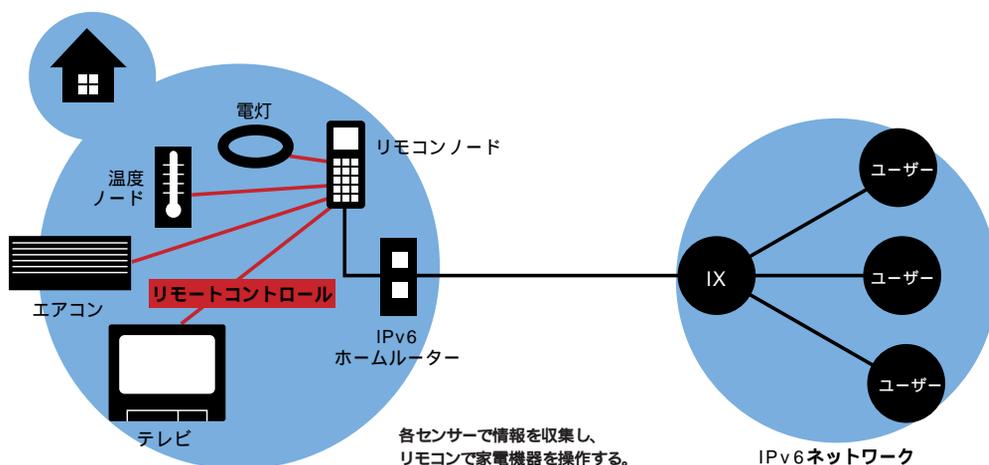
しい物ができると思います。そのため、このセンサーをわれわれはノードと呼んでいます。このノード自身がインターネットを経由して直接つながれば、互いでダイレクトなコミュニケーションができるという点が今までのコンセプトと違う所です。それを実現するためにこそ、IPv6が必要不可欠なものだと言えるのです。

なお、実証に当たっては、さらに多くの法人の参加を募って社会のインフラストラクチャーとしてのIPv6の実力の検証を行います。あらゆる機器を接続可能とし、シナジー効果を誘発させることによって、社会に無限の価値を生み出すことを目指したいと思っています。



サーバー機能も有する温度センサー。コンパクトな作りながら、これ単体で直接インターネットに接続できる。電力はケーブルから供給される。

家庭内ネットワークの未来像





[インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

株式会社インプレスR&D

All-in-One INTERNET magazine 編集部

im-info@impress.co.jp