

# INTERNET

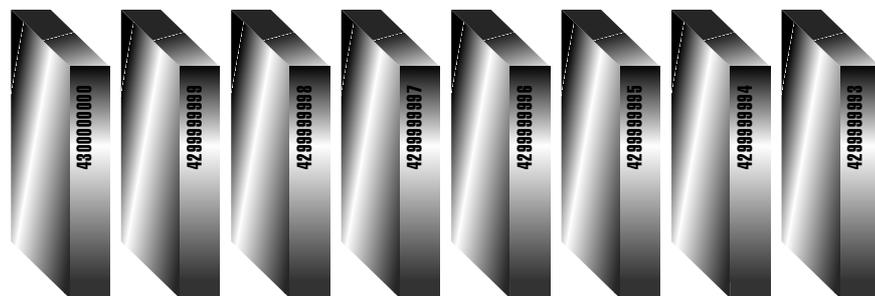
## ● インターネット最新テクノロジー : 第14回

ホスト増加に伴うIPアドレスの不足を解消する

### IPv6 (Internet Protocol version 6)

インターネットを支えているプロトコルTCP/IPを今後も使い続けていくためには、IPアドレスが足りなくなるといった問題を解決する必要がある。このために考え出されたのがIPv6というプロトコルで、IPv6と表記される。IPv6が実用化されれば、IPアドレス不足の問題を解決するだけでなく、ネットワークの利用者や管理者をIPアドレスの設定などのわずらわしさから解放してくれるという。IPv6について語るとき、一言でいいつくせないほどの技術がそこには詰まっているが、今回はその利点に簡単に触れてみる。

山本 和彦 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科



#### IPアドレスが枯渇する

ある技術が当初の見込みを越えて普及した場合、技術者は利用者の拡大から引き起こされた問題を解決し、混乱を最小限に抑えながら新しい技術に移行する手立ての模索をせまられることがある。身近な例として数年前東京の電話番号が9桁から10桁に変わったことを思い出す人も多いだろう。歴史は繰り返すというが携帯電話の番号も不足することが予測されている。最近の携帯電話は表示画面が11桁以上あり、来るべき移行の際の混乱を最小限に抑えようとしている工夫を見てとれる。

インターネットも「自身の成功による犠牲者」と表現されることがある。電話器に電話番号が付いているのと同様にインターネット

につながらるコンピュータにはアドレスが付いている。アドレスの総数は約43億であり、このままインターネットの利用者が増え続けると21世紀の早い時期にすべてのアドレスは割り当てられ、新たな利用者への割り当ては不可能になる。このインターネットの「終わりの日」を前にして自分たちの知恵と力でインターネットを救おうと努力する人が現れるのはごく自然な成行きだろう。

#### アドレスの拡張だけではない

IPマルチキャストの父として知られるステーブ・ディアリングが新しいインターネットを探求している人々のリーダである。彼が1992年に提案した方式は1994年に正式に次世代

のIPとして承認された。現在のIPv4 (IPバージョン4) と区別するためにIPv6 (IPバージョン6) と呼ばれる。

通信という技術革新の激しい分野で20年間も実用に堪えたIPv4はとても優れた技術である。IPv6はその長所を引き継ぐべきであるが、単にアドレスの数を増やすに留まったのでは不十分であろう。20年間の経験をもとにさらに効率を高め、現在や将来のニーズを満たすような改良が必要である。事実IPv6にはプラグ&プレイやセキュリティ、マルチキャスト、モバイルなどの機能が取り込まれている。以下ではIPv6に関するアドレスの拡張とプラグ&プレイについて解説する。今回はインターネットの3つの「魔法の言葉」 - セキュリティ、マルチキャスト、モバイル - にはこれ以上立ち入らないことにする。

#### 十分にあるIPアドレスの数

世界人口より少ない43億個では不十分とすぐに分かるが、それでは一体いくつアドレスがあればよいのだろうか。43億というのは実は4バイト (32ビット) で表現できる数字である。コンピュータに都合のよいバイト数を考えるなら次は8バイト (64ビット) であり約1845京の数を表現できるので、これで十分だと主張する人も多かった。しかし、十分であっても柔軟であるとは限らない。また「これで十分」という見込みが裏切られることも多い。最終的にはさらに倍の16バイト (128ビット) が選択された。これは $3.4 \times 10^{38}$ もの数を表現でき、アドレスの数としては十分であることは疑いようがない。また、16バイトがいかに柔軟にプラグ&プレイの機能を実現するか以降の説明で理解できるだろう。

#### 歯科医の憂鬱と管理者の悪夢

プラグ&プレイの大切さを語るときIPv6に関係する技術者は、2つのたとえ話を持ち出す。それは歯科医の憂鬱と管理者の悪夢である。

歯科医は患者の情報を管理するため数台のコンピュータを購入し、イーサネットをつなぐと計画している。歯科医は医学博士号を持つほど高学歴であるがネットワークに関する知識はあまり持ち合わせていない。コンピュータ同士をハブで接続すれば当然データをやりとりできると信じている。もし、アドレスとは何か、マスクとは何かなどを理解しないと使えないなら、おそらく彼は紙と鉛筆の世界に留まるだろう。

ネットワーク管理者はよく夢を見る。月曜日に届くはずのコンピュータが金曜の夕方になってやっと届いたのだ。しかも100台である。週明けまでにはインターネット中のコンピュータと通信可能にしなければならない。すべてのコンピュータを箱から取り出してネットワークにつなぎ終えたのは日曜深夜。ネットワークの設定をしまわるには残された時間はあまりにも少ない。管理者は悪夢にうなされてはっと目を覚ます。

## イーサネットアドレスを使って リンクローカルアドレスを生成

歯科医が気軽にコンピュータを購入できるようにするにはどうすればいいだろうか。まず、アドレスが自動的に生成され、コンピュータに付けられる必要がある。しかも、そのアドレスは少なくともイーサネットの中では一意でなければならない（なぜなら同じ電話番号が2つ存在すると困るように、アドレスも同じものが2つあってはならない）。IPv6ではローカルのネットワーク内のみで一意性を保証すればよいアドレスとしてリンクローカルアドレスを定義している。

イーサネットでリンクローカルアドレスを生成するには、ネットワークカードに初期状態で割り振られているイーサネットアドレスを利用できる。イーサネットアドレスは6バイト（48ビット）であり、世界中で一意であることが保証されている。IPv6でのアドレスの自動生成では6バイトのイーサネットアドレスが

らある規則に従った8バイト（64ビット）の識別番号を生成する。IPv6のリンクローカルアドレスでは識別番号を下位の8バイトに埋め込む。そして、上位の8バイトのうち先頭の2バイトを「fe80」、残りの6バイトを0で埋める（図1）。

世界中で一意な番号をもとにしたリンクローカルアドレスはおそらくイーサネット内で一意であろう。しかし、万が一の場合のためにアドレスが重複していないか調べる。つまり、自分が生成したリンクローカルアドレスに対して「このアドレスを持つ人はいますか」と問いかけるのである。もし誰も答えなければそのリンクローカルアドレスはほかのコンピュータのアドレスと衝突していない。

この時点で数台のコンピュータはイーサネットの中でそれぞれ一意なアドレスを持つので、お互いに通信が可能になる。つまり、歯科医が憂鬱な気分になることはないのだ。残念ながらこの機能はIPv4にはなかった。

## ルーターからの情報を使って グローバルアドレスを生成

それでは、ネットワーク管理者が枕を高くして眠るためにはどんな機能が必要であろうか。リンクローカルアドレスの自動生成ではイーサネット内ではしか通信できない。インターネット全体と通信するためには、インターネット全体で一意なアドレスを持つことと外に出ていくための出口のルーターを知る必要がある。インターネット全体で一意なアドレスはグローバルアドレスと呼ばれている。

IPv6のルーターはイーサネット上のすべてのコンピュータが聞き耳を立てているアドレスに対し、定期的に世界的に一意な番号をアナウンスする（この一意な番号をルーターに教

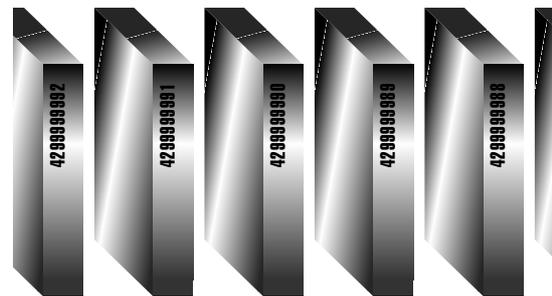


図 2-1 グローバルアドレス(1)



図 2-2 グローバルアドレス(2)



えるのは、ネットワーク管理者の手作業であるが、これも自動化しようとする試みがある。グローバルアドレスに採用された経路集約型アドレスでは、ルーターから上位8バイトを得る。また、下位8バイトをリンクローカルアドレスと共有してグローバルアドレスを生成する(図2-1)。また、出口のルーターはアナウンスを行っているルーターを選択すればよい。この時点でイーサネット上のコンピュータはインターネット中のコンピュータと通信が可能になる。

ネットワーク管理者はあらかじめルーターを設定しておく必要があるが、100台のコンピュータは単にそれぞれの部署のイーサネットにつなぐだけでよい(日曜の深夜には安眠できる)。IPv4にも同じような機能としてDHCPがあ

るが、少なくとも2つの点でIPv6のほうが優れている。(1) IPv4ではルーターに加えてDHCPサーバーを設定する必要があり、管理者の手間を増やしている。(2) IPv4ではDHCPサーバーが提供されているとは限らないので利用できない場合がある。一方、IPv6ではこの機能は必須であり、必ず利用できる。

### プライベート部分で 組織内のネットワークを管理

経路集約型アドレスの上位8バイトは実は2つの部分から構成されている。2つの部分のうち上位6バイトがパブリックであり、残りの2バイトがプライベートである(図2-2)。プライベートの部分は組織内で管理できることが保証されている。つまりIPv6ではある組織内に6万5000程度のネットワークを構築して接続できる。これはIPv4でいうところのクラスAに相当する。さらに多くのアドレスが必要なら、IPv6ではアドレスは多量にあるから、プライベート以下を複数割り当ててもらっても可能だろう。もはや大企業がアドレス不足に悩まされることはない。

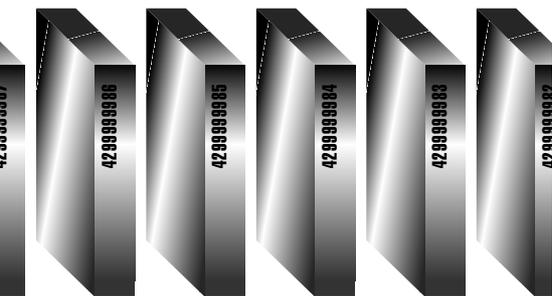
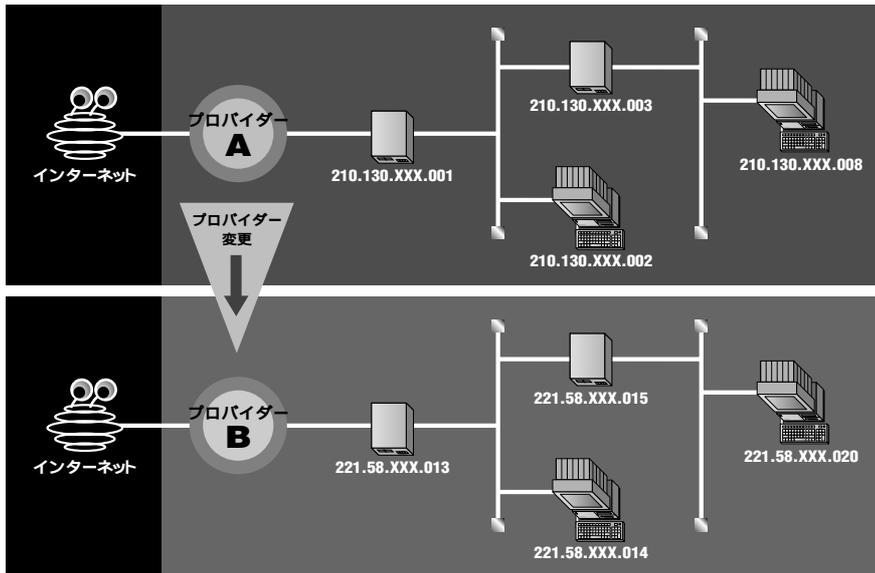


図3 リナンバーリングの発生する場面



プロバイダーを変えると組織内のコンピュータのIPアドレスを全て変更しなければならない

### 「浮気」から発生する リナンバーリング

ネットワーク管理者の悪夢を説明したが、実は彼らは頭の痛い問題をもう1つ抱えている。それは、俗に「浮気問題」と呼ばれている。現在のIPv4のアドレスは、ある組織の所有物ではなく、接続しているプロバイダーの管理下にある。プロバイダーAに接続している組織が、もっと料金の安いプロバイダーBに浮気するには、すべてのコンピュータをプロバイダーAのアドレスからプロバイダーBのアドレスに設定し直さなければならない。この作業はリナンバーリングと呼ばれる(図3)。リナンバーリングは大変な作業であるため鞍替えを躊躇する組織は多く、結果として公平な市場原理が働かない可能性が高い。

## サイトローカルアドレスを使って リナンバリング問題を解決

リナンバリングを困難にしている原因は2つある。1つはアドレスの付け替えそのもの。もう1つはアドレス付け替え中の組織内の通信である。IPv6では、前者の問題をルーターのリナンバリングに絞ることができる。ルーターさえアドレスを付け替えられれば、そのほかのコンピュータは上記の枠組みでのグローバルアドレスが付け替わる。ルーターのリナンバリングについては現在さかんに研究されているので、おそらく将来解決されるだろう。

IPv6では後者の問題をサイトローカルアドレスを定義することで解決している。つまり、サイト内で一意なアドレスを用意し、サイト内での通信はこのアドレスを用いるのである。IPv6のサイトローカルアドレスは、IPv4のプライベートアドレスと同等にとらえてもらってよい。サイトローカルアドレスは、「fec0」で始まり、0が4バイト続く。残りの10バイトはグローバルアドレスの下位10バイトを借用する(図4)。

## 分かりやすく柔軟なアドレス構造

これまで説明してきたように、グローバルアドレスとサイトローカルアドレス、リンクローカルアドレスでは、コンピュータの識別子となる下位8バイトを共有する。また、グローバルアドレスとサイトローカルアドレスは上位8バイトの下位2バイトであるプライベート部分を共有する。アドレス構造がこのように分かりやすく柔軟性を持つのはアドレス長を16バイトにしたおかげである。

## 現状での利用は可能

さて、現状でIPv6が利用可能かという答えは“ Yes ”である。ルーターメーカーでは日立製作所や東芝、富士通、海外ではベインネットワークス、シスコシステムズ、3Comな

どがIPv6を開発している。日立製作所とベインネットワークスはすでに製品を出荷している。BSD系のUNIXやLinuxではフリーのコードが利用できる。サン・マイクロシステムズはSolaris 2.7にIPv6を組み込むそうである。ウィンドウズ95用のIPv6スタックはFTPソフトウェアが販売している。マイクロソフトはウィンドウズNT4.0上でIPv6を開発中である。

現在IPv6の実験に参加している組織を接続した6bone (<http://www.6bone.net/>)が、IPv4のインターネット上に構築されている。日本でもWIDEプロジェクトが中心になって6boneを運用している。これまでWIDEプロジェクトはさまざまな雑務の発生を抑えて研究に専念するため、6boneへの接続をプロジェクトメンバーに限っていた。しかし、1997年12月にこの方針を変更し、一般組織にも開放した。もし、読者の中でIPv6に興味を持ち、6boneにつなぎたい方は<http://www.v6.wide.ad.jp/>を御覧頂きたい。

## 日本の貢献は大きい

現在の制約の厳しいIPv4アドレス割り当てに不満を感じ、IPv6に大きな期待を寄せている組織が多い。これからの2年間に実際の運用のためにIPv6を利用する組織が現れるだろう。インターネットがIPv4からIPv6へスムーズに移行する方法を確立することは、インターネットの延命とIPv6の成功の鍵となる大切な課題である。

IPv6は日本の学術研究機関や企業からの貢献が高い分野である。とくに移行に関する貢献度はきわだっているといってよい。こういった活動を支えるためにも、ぜひ読者の方にIPv6に興味を持ってもらい、理解して頂きたいと思う。



図4 サイトローカルアドレス





## [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](mailto:im-info@impress.co.jp)