

# IPv4 / IPv6 Coexistence and Transition

## IPv4/IPv6 共存と移行

By Fred Baker, Cisco

本稿はFred Baker氏によるIETF Journal Volume4 Issue3 (February 2009) の掲載記事です。(訳: 編集部)  
原文は <http://www.isoc.org/ietfjournal/> よりダウンロードすることができます。

インターネット今、はIPv4からIPv6への共存・移行の時期に直面しています。本稿は、IPプロトコルとIPネットワークの将来について、IETFでの活動を元に技術者として導いた一つの見解です。

最後のIPv4アドレス空間が割り当てられてしまう時が急速に近づいています。IPv4アドレス空間の商取引や、ISPの相互接続レイヤをIPプロトコルよりも下層にスライドする案が考案されてはいますが、新たに大容量のアドレス空間を必要とするネットワークではIPv6を展開することになるでしょう。従って何らかの形で共存、及び最終的な移行は避けられません。それに向けIETFは、RFC 4213に説明されているような複数の移行メカニズムを調査してきました。

TheFreeDictionary.comによれば、移行(transition)とは、一つの形態、状態、様式、もしくは場所から別の物への過程とされています。IPv4からIPv6への“移行”は、次の2つのイベントを必要とするでしょう。

- アプリケーションサーバやサービス、及びそれらのサービスを使用、もしくは参加するピアやクライアントシステムのルーティングにおいてIPv6が有効にされなければならない。
- IPv4が少なくともネットワークの中で無効にされなければならない。

ここから2つの大きな疑問が浮かんできます。

- これらのイベントの間の期間はどの程度取られるべきだろうか？IPv4の無効化とIPv6の有効化は同時に行われるべきだろうか、もしくはIPv6を有効にし、一定期間後にIPv4を無効にするべきなのだろうか？後者である場合、どの程度の期間をあけるのが合理的だろうか？
- IPv6が有効になる前に、IPv6のデータはどのようにしてIPv4ネットワーク内を通過するのだろうか？IPv4が無効になった後に、IPv4のデータはどのようにしてIPv6ネットワーク内を通過するのだろうか？

このためのソリューションとして、2つの広義のカテゴリ(トンネリングとトランスレーション)が存在します。

## IPv4とIPv6の共存

現存のネットワークに対する最善のアプローチは、移行ではなく共存であるというのがIETFの見方です。つまり、まずIPv6を有効にして使い始め、そしてIPv4を将来のある時点、それがビジネス要件では無くなった際に無効にするのです。IETFとしては、このためにネットワーク管理者が以下のことを行うべきだと考えています。

- 現存のIPv4ネットワーク内でIPv6ルーティングを有効にする。
- 上流、ピア、及び下流のネイバーとIPv6サービスの契約を結ぶ。
- アプリケーション及びサービス、サーバー機器及びそのクライアントの両方において、IPv4に加えてIPv6プロトコルを使用する。

この過程でネットワーク管理者は、古いもしくは何らかの理由によりアップグレード不可能なソフトウェアやハードウェアに遭遇することもあるでしょう。しかし彼らは予算の許す限りそれらのアップグレードを計画するべきです。

共存をサポートしなければならない理由は明らかです。もしIPv6を有効にしていなければ(もしくは別のネットワークがまだIPv6をサポートしていなくても)、アプリケーションやサービスはIPv4でしか利用できないからです。ネットワークレイヤルーティングにおける共存環境は、以下の3つの手法のどれかで実現することができます。

- IPv4が有効になっているルータでIPv6も有効にする。
- 内部から外に見えるところに至るまで、IPv6を独立して存在する別のルータによるネットワークとして展開する。
- IPv6のネットワークを、隣接するIPv4のネットワークやユーザから直接アクセスできる形で並列に用意する。

## オーバーレイネットワーク

ネイティブなIPv6のルーティングやアプリケーションが有効になる前まで、IPv6はトンネルもしくはマルチプロトコルラベルスイッチングを使用して構築されたオーバーレイネットワークの上で使われてきました。スタティックトンネルを介してルーティングされた6BONEと6NETが最初のものですが、後に6to4 (RFC 3056)や、Teredo (RFC 4380)、ISATAP (RFC 5214)といった動的なアプローチへと発展していきました。

ブロードバンドアクセス網向けに提案された1つのソリューションは、ISPがIPv4を引き続き提供し、その上でCPE (Customer-provided-equipment: 顧客ルータ) とISPのトンネルエンドポイント間にIPv6のオーバーレイトンネルを設定するものです。このモデルではISPはネイティブなIPv6サービスを提供しません。暫定的な展開のステップとして、ISPはCPEルータにISPトンネルエンドポイントのIPv4アドレスを通知してトンネルを設定し、DHCP-PD (DHCPv6 Prefix Delegation) でIPv6プレフィックスを与えます。このことはISPのネットワーク内でネイティブなIPv6のフォワーディングまだサポートしていない箇所をIPv6が行き来することを可能にします。

IPv6の上のIPv4トンネルは、IPv4の上のIPv6トンネルに似ていますが、現段階ではスタティックトンネルのみが定義されています。

## トランスレーション(プロトコル変換)

IPv4⇔IPv6のトランスレーションは、長期的な方策として有効なものとは一般的に考えられていません。なぜならこれはアドレス空間の大きさの問題に立ち返ってしまうからです。もしIPv6⇔IPv4の変換がユーザがアクセスを必要とするシステムに対応するのに十分であるならば、現存のIPv4アドレス空間を再配分することにより問題は解決できてしまうでしょう。それでもトランスレーションは、IPv6 Onlyもしくはは

IPv4 Onlyのシステムやネットワーク同士を接続しなければならない特定のケースでは必要なものだと認識されています。トランスレーションにおいてPath-MTU(maximum-transmission-unit) Detectionに関連した問題には注意が必要です。Path-MTU DetectionはIPv4ではしばしば動作しないものとなっていますが、IPv6には必要なものです。他の問題として、クライアント・サーバ・アーキテクチャで設計されていなかったり、ファイアウォールを通過するために複雑なメカニズムが必要となっていたりするアプリケーションのサポートも挙げられます。

Stateless IP/ICMP Translation Algorithm [SIIT] (RFC 2765) はトランスレーターに実装されています。トランスレーターは1つ以上のIPv4プレフィックス(ホストアドレス)をIPv4のルーティングに広告し、1つのプレフィックスをIPv6のルーティングに広告します。そしてIPv4⇔IPv6およびICMP⇔ICMPv6の変換を行います。

NAT-PT (RFC 2766) はSIITのコンセプトをDNSのアプリケーションレイヤ・ゲートウェイを使って拡張するものです。ゲートウェイはIPv4ネットワークからやってきたAレコードを、IPv6ドメインのSIIT変換アドレスを指すAAAAレコードに変換し、SIITアドレスを持つIPv6ホストへのAレコードをIPv4ドメインに広告します。トランスレーションをステートレスに行おうとすれば、IPv6ネットワーク内ではスケーラビリティの面で問題となる双方向のホストルーティングが発生し、またIPv6アドレスの上位96ビットが固定であるために、IPv6ドメインとは名ばかりの単一の小さなLANがはるかに大きなIPv4ドメインに接続されるということにもなります。

SIITとNAT-PTには1つの問題が存在します。これらの方式はIPv4が主流であるネットワーク内に小さなIPv6の島を存在させるために設計されたものであり、IPv6を広く展開するようにスケールさせることができないのです。IETFではSIITとNAT-PT、それからCERNET-CNGI (China Education and Research Network - China Next-Generation Internet) でのIVIプロトタイプの運用経験を元に、次世代のトランスレーション技術に関する研究を行っています。これが大規模なネットワークのなかで、現存の全てのユーザがIPv6を有効にするよりも前に、IPv6 Onlyのネットワークを使用する新しいサービスを展開する助けになることが期待されています。

## 問題と異論

IPv4からIPv6への共存と移行に関連するビジネス上の問題を取り囲んで、移行にかかるコスト、プロトコルの準備とその実装、及びルーティングとアドレッシングについての大きな問題を含む、いくつかの異論が唱えられています。

## ビジネス上の問題

予想通り大規模なアドレス空間を安価に取得するためにIPv6の展開が必要になったとき、IPv6の展開ができなかった企業は新しいマーケットへの接続性を提供することができません。Geoff Huston氏らのプロジェクトでは、IPv6導入の急速な拡大の代わりに、IPv4アドレススペースのリースや販売を行うマーケットを作ろうとしています。長期的にはIPv6の接続はIPv4のそれよりも安くなるはずであり、接続サービスから得られる収益はプロトコルに関わらず一定になるはずで、また長期的に見た収益性のポテンシャルはIPv6の方が高いと言えるでしょう。

## 運用と投資のコスト

IPv6を展開する上でのビジネス上のリスクを最小化する1つの方法は、現在サービスを提供しているIPv4のネットワークから独立させておくことです。IPv4とIPv6を同時に動作させることは、どちらか片方を動作させるよりもコストがかかります。ネットワークにおいてIPv6が広く使われるようになり、IPv6が利用目的に対して十分に機能することが証明されれば、それがDNSからIPv4のAレコードとMXレコードを削除し始めるのにちょうど良い時です。IPv4サービスの使用を排除することで、IPv6の利用はさらに促進されていくでしょう。しかし、これは実際にサービスをオフラインにすることなく行われるものです。もし問題が発生した場合には、DNSレコードを復元するだけで、IPv4のサービスを元通りにすることができます。そしていつかの時点でIPv4が使われなくなり、IPv4のサポートがビジネス要件ではなくなります。

## プロトコルの実装と準備

IPv4を使用するサービスを展開するときと同様に、IPv6展開のプロセスにおいて問題が浮上することに疑いを挟む余地はありません。IPv6の展開と共存は、ゆくゆくはIPv4からIPv6への移行につながります。共存へのステップを辿る理由がある場合でも、最終的にはIPv6のサービスのみを利用するユーザが出現し、それらと通信を行うために、他のネットワークもそれらに従わざるを得ないでしょう。やがてIPv4をメンテナンスしていることが不自然になるのです。

## 今後に向けて

筆者はIPv6の展開が、現在インターネットが経験し始めており、数年後にさらに深刻化するであろうアドレス問題を解決すると信じています。筆者の視点では、共存モデルが最も痛みを伴わない移行の方法です。共存を選んだとしても金銭的成本やその他のリスクを孕んではいますが、それは他の移行メカニズムに関しても同じです。共存モデルには(IPv4が依然利用可能であるという意味で)セーフティネットを含んでいますが、他の一気に移行を進めるような方法にはそれがありません。