

IPv4/IPv6 共存環境下におけるIXの役割

石田慶樹 馬渡将隆 (日本インターネットエクスチェンジ(株))

インターネットエクスチェンジ (IX) の役割と機能の変遷

Internet Exchange (IX) は、インターネット接続事業者 (ISP) 同士でトラフィック交換を行うために 1 カ所に集まり相互接続を行う地点として、インターネットを構成する非常に重要な要素となっている。IX は鉄道における乗換駅や高速道路におけるジャンクションに例えられることも多い。世界的に主要な IX はデータリンク層 (Layer 2) の接続を提供する L2-IX となっている。IX においては加入者が AS (Autonomous System) 番号を有していることが前提となっている。ある加入者が別の加入者と接続することをピアリングと呼び、具体的には AS 間の経路情報交換プロトコルである BGP (Border Gateway Protocol) のセッションを接続することにより、経路情報の交換を行い、トラフィックを交換する。

世界最初の IX である FIX (Federal Internet Exchange) は 1989 年に非商用の運営形態で始まり、1991 年に最初の商用 IX である CIX (Commercial Internet Exchange) が設立された。日本においては、WIDE プロジェクトによる NSPIXP (Network Service Provider Internet Exchange Point) が商用 ISP 同士を接続する IX として 1994 年に運用を開始している。商用 IX としては 1997 年に日本インターネットエクスチェンジ (株) (JPIX) が設立され同年 11 月よりサービスを開始している。その後、2001 年にインターネットマルチフィード (株) により JPNAP (Japan Network Access Point) サービスが開始されている。

IX は当初は ISP 同士が対等な立場で相互接続する場として利用されていた。その後、大手通信事業者によるインターネット接続サービスが開始され、大手事業者間が IX を経由せずに直接接続を行い、そこに流れるトラフィックが増加することとなったために、相対的に IX の地位は低下した。このような大手通信事業者は Tier1 と呼ばれ、中でもグローバルに展開していた Tier1 は 10 社程度と考えられていた。やがて、常時接続やブロードバンドサービスが普及するに伴い、コンシューマに接続サービスを提供する事業者と、コンシューマにさまざまなコンテンツを提供する事業者に分かれ、さらに FTTH (Fiber To The Home) サービスが普及するにつれてその分化は進んだ。現状においては、コンシューマに FTTH に代表されるアクセスサービスを提供する事業者 (以下、「アクセス事業者」と呼ぶ) と、コンシューマ向けにコンテンツを提供する事業者 (以下、「コンテンツ事業者」と呼ぶ) に進化した。コンテンツ事業者には、ブログや SNS (Social Networking Service) といった Web サービスを行うもの、EC (Electronic Commerce) サイト、さらには動画配信サイトなど具体的なコンテンツを保持・提供するものと、それらを集約して配信を行うことに特化しているインターネットデータセンタや CDN (Contents Delivery Network) 事業者が存在する。

この状況は国の内外を問わずに顕著であり、アクセス事業者側において集約が進んだ結果、大量のトラフィックを消費する事業者や、コンテンツ事業者側において巨大な量のコンテンツ配信を行っているところは、ハイパージャイアント (Hyper Giant)

IPv4/IPv6 共存環境下における IX の役割

と呼ばれている。ハイパージャイアントの存在が意識されるようになったのは2009年ごろであり、その後、その存在感はますます大きくなってきている。ハイパージャイアントが登場するに伴い、トラフィックの流れが何らかの形態でTier1を経由する状況から、アクセス事業者に対してコンテンツ事業者側のハイパージャイアントが直接トラフィックを流す形態に変わった。そのトラフィック交換の場としてIXが利用されることとなったために、IXは国際的にも再び脚光を浴びるようになっている。

日本においても、コンテンツ事業者側のハイパージャイアントが配信しているトラフィック量は巨大ではあるが、国内ではFTTHのアクセス回線としてのNTT地域会社のシェアは大きいもののインターネット接続サービスの提供はISPが行っていること、特に関東以西ではNTT以外のFTTH事業者のシェアも大きいこと、さらにはブロードバンドサービスの提供事業者としてのCATV(ケーブルテレビ)事業者のシェアも大きいことから、アクセス事業者側のハイパージャイアントに相当する事業者は少数でありそのインターネット接続までも含めたシェアも巨大とまではいかない。このために、IXにおいては少数のコンテンツ事業者から多数のアクセス事業者へという流れでトラフィック交換が増加する傾向が続いている。

IPv4/IPv6 共存のための技術

▶ IPv4/IPv6 共存のための技術

国内のインターネット普及率は固定回線においても3,500万回線、普及率としては世帯数全体の70%超となっている。一方、日本に割り当てられているIPv4アドレスは約2億個であり、一人あたりのIPv4アドレスの個数は1.6個となる。このようなインターネット環境ではあるが、一方でADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)回線からFTTH回線への移行が進行中であること、スマートフォンなどの新たなデバイスがインターネットに接続するようになっていること、WiMAXやLTE(Long

Term Evolution)といった新たな技術を利用したアクセスサービスが整備され始めていること、そしてクラウドサービスの隆盛によってサーバ側にも新規のIPv4アドレスの需要が発生していることにより、IPv4アドレスそのものの需要はそれほど下がってはいない。本来であれば、新たな需要に対してはIPv6により吸収すべきものではあったが、さまざまな啓蒙活動があったにもかかわらずIPv6そのものの普及が遅々として進んでおらず、結果としてIPv6による接続を準備しても通信する相手がほとんど存在していないのが現実である。

そのような現状において、2011年2月にインターネットの資源を管理する大元となっているIANA(Internet Assigned Numbers Authority)でのIPv4アドレス在庫が枯渇し、また2011年4月に日本が属しているアジア太平洋地域における資源管理団体であるAPNIC(Asia Pacific Network Information Centre)でのIPv4アドレス在庫が枯渇した。ただし、インターネットにかかわる事業者はそれぞれ内部にIPv4アドレス在庫を有しており、またこれまで使用されてこなかったIPv4アドレスについては事業者間の移転が可能となったため、事業者においてIPv4アドレスの枯渇の影響が出るまでにはさらに1~2年程度はかかるものと予想されている。

一方、IPv6の普及に関しては、より急速な普及を目指して、2011年6月12日に"World IPv6 Day"というイベントが実施された。このイベントにおいては、世界中の著名なWebサイト/WebサービスがIPv6対応を行い、IPv4/IPv6デュアルスタック化することにより問題が発生するかどうかの検証を行うことを目的としていた。このイベントの実施にあたっては、特に日本においてNTT-NGNと呼ばれているIPv6で構築された大規模な閉域網が存在しているために、何らかの悪影響が発生するのではないかということが懸念されていた。具体的な悪影響として想定されていたものは、IPv6化されたサイトへの接続不可や接続遅延であった。これを避けるために、アクセス事業者やISPにおいてはさまざまな対策が取られていた。結果的には、大き

■ 解説

な問題の発生は観測されなかったが、数%程度の割合でIPv6 → IPv4 フォールバックにおいて、何らかの原因でフォールバックせずに通信不能となったり、フォールバックに想定以上の時間がかかり通信に遅延が発生するといった問題が発生しており、今後IPv6化の普及の障害とならないように対策を実施する必要がある。根本的な対策はアクセス事業者ならびにコンテンツ事業者においてIPv6への対応を進めることとなる。

このように直近のIPv6対応の大きな課題は、アクセス側ならびにコンテンツ側でのIPv6の整備である。しかし、インターネットの拡大は新たなネットワークやデバイスが次々に登場するのに伴って、これまで以上の速度で進捗しており、国内外を問わずにIPv4アドレスの不足は必ず発生するものである。その最初の影響を受けるのは、IPアドレスの消費する割合が大きいアクセス事業者側であると筆者らは想定しており、アクセス事業者側においてIPv6のみで構築されたインターネットの登場も予想される。この場合には、次の段階としてIPv4で構築されたインターネットと、IPv6で構築されたインターネットの両者の網の共存と相互接続が課題となる。

IPv4とIPv6の相互接続については、インターネットの標準化を議論決定する場であるIETF (Internet Engineering Task Force) において、さまざまな方式についての議論が行われている。IPv4とIPv6の相互接続には、

- (1) IPv6のエンドノード間がIPv4のネットワークを介して接続する (IPv6 over IPv4)
- (2) IPv4のエンドノード間がIPv6のネットワークを介して接続する (IPv4 over IPv6)
- (3) IPv6のエンドノードとIPv4のエンドノードが

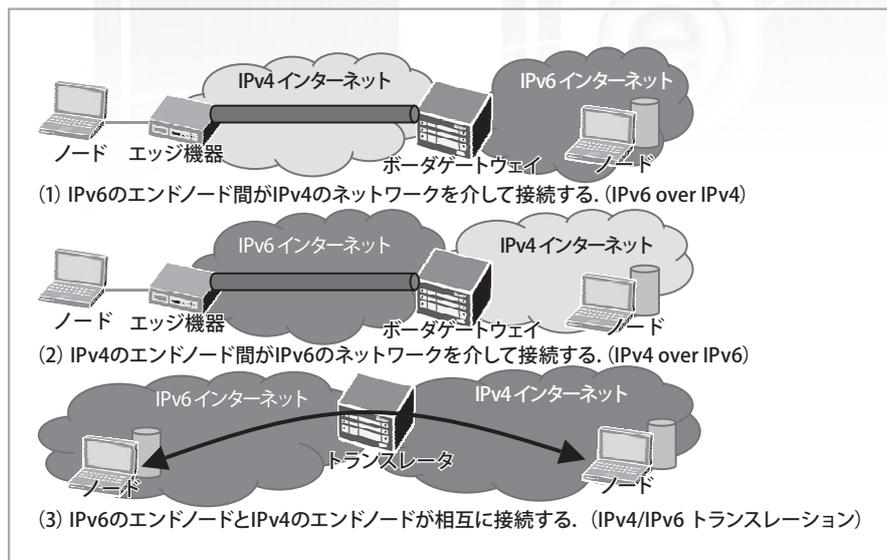


図-1 IPv4とIPv6の相互接続の形態

相互に接続する (IPv4/IPv6 トランスレーション) の3つの技術が必要となる (図-1)。このうち (1) についてはIPv6の普及を目的として、IPv4の既存網の上でIPv6の接続性を提供するためのものであり、いずれはIPv4とIPv6のデュアルスタックのネットワークあるいはIPv6のみで構築されたネットワークに置き換えられるものである。(2)の形態は今後IPv6でのみ構築された網を介してIPv4アドレスを有するエンドノードをIPv4のエンドノードに接続する技術となる。(3)の形態については、今後IPv4/IPv6の2つの網の相互接続のためIPv6からIPv4へアドレス変換を行うものである。本稿では筆者らが構築している(3)および(3)の技術を利用して(2)を実現する手法ならびにそれに関する実験の紹介をする。

(1) ~ (3)の技術において、家庭内に設置したPC等のエンドノードそれ自体がこの技術を実装する場合と、家庭内からアクセス網に接続するエッジ機器で実装する場合のいずれかの形態を取り得るが、ここではエッジ機器による実装を想定する。(1)および(2)においては、エッジ機器とボーダゲートウェイ間はカプセル化もしくはトンネル技術と呼ばれるものが用いられる。具体的には、(1)の場合にはIPv6パケットをそのままIPv4パケットのペイロードとして送受信し、(2)の場合はIPv4パケット

IPv4/IPv6 共存環境下における IX の役割

を IPv6 パケットのペイロードとして送受信する。ここでのトンネル終端装置は事業者側で用意するボーダゲートウェイでその機能を実現することを想定している。

なお、この終端装置において、状態 (state) を保持する必要があるか不要かでも区別され、標準化の議論が進められている。それぞれに対応する技術を表-1 に示す。

IPv6 網を前提としてその上で何らかの IPv4 の接続性を提供する (2) および (3) においては、1 個の IPv4 アドレスを複数のエンドノードでどのように共有するかが 1 つの鍵となっている。IPv4 アドレスを共有するためには、NAPT (Network Address and Port Translation) の機能が必要となる。すなわち、家庭内にあるエンドノードについてはプライベート IPv4 アドレスを利用し、外部との接続のためにグローバル IPv4 アドレスを利用するものである。グローバル IPv4 アドレスの不足により、複数の利用者の複数のエンドノードからの通信におけるグローバル IPv4 アドレスの共有が必要になってきており、NAPT とは IPv4 アドレスを共有するための基本要素となっている。IPv4 アドレス共有のために事業者が用意する大規模な NAPT 機器のことを CGN (Carrier Grade NAT) もしくは LSN (Large Scale NAT) と呼ぶこともある。

IPv4 アドレス共有の方法として、IP アドレス部とポート部を

- (a) 時間で分割して共有する方法
 - (b) IP アドレス部とポート部を拡張した空間と見なし分割して共有する方法
- の 2 種類が提案されている。

(a) 時間の分割による共有

NAPT 機器において、1 つの通信の流れ (セッション) ごとに通信のソースとなる IPv4 アドレスとポート番号を動的に割り当てて、1 つのセッションが流れ続ける間はその割り当てを利用し、セッションが終了するかもしくは使われなくなってある時間

	Crossing IPv4 networks	IPv6-enabled networks
Stateful Solution	RFC 5571 (L2TP)	DS-Lite
Stateless Solution	RFC 5969 (6rd)	4rd

draft-operators-softwire-stateless-4v6-motivation-02より

表-1 IPv4/IPv6 共存技術の対応表

が経ちタイムアウトになった段階でその割り当てを開放する。NAPT 機器においては IPv4 アドレスをプールして、セッションごとに IP アドレス部とポート部とともに動的に割り当てを行う。その際にセッションごとにランダムに割り当てる方法と、動的な割り当てではあるが、個々のユーザを意識してあるユーザに対してバルクでポート部を割り当て、同一のユーザのセッションに対してはブロックの中からランダムに割り当てる方法がある。IPv4 アドレスに対する多重度ならびにタイムアウトの時間の想定が NAPT 機器により提供するサービスの設計においてとりわけ重要となる。この設計を慎重に行うことにより IPv4 アドレスの利用効率は高まる。また、NAPT 機器においてはこの割り当てを状態として記憶する必要があるために stateful とする必要がある。ある時間にある IP アドレス部とポート部を利用してセッションが何であったかをログとして記録する必要がある。

(b) 拡張アドレス空間の分割による共有

IPv4 アドレスとポート番号のブロックをあるユーザに静的に対応付ける。これは、32bit の IPv4 アドレス空間と 16bit のポート番号を合わせて 48bit として、上位からの n bit (ただし n は 32 より大きい) をユーザに静的に対応させることとも言える。ただし、ポート番号については Well Known Port 番号として予約されているレンジがあるので、その部分は除外する。ユーザあたりのポート部のレンジをどの程度にするかが非常に重要なパラメータとなる。また静的な対応において、IPv4 アドレスの利用効率が低くなる可能性がある。ユーザへの対応付けのルールおよび IPv4 アドレスとポートのレンジはエ

■ 解説

ッジ機器に何らかの方法によりあらかじめ設定し、NAPT に関してはエッジ機器により行う。ボーダゲートウェイ側では単にペイロードを取り出せばよく、ステートを保持する必要がないため stateless となる。また、IPv4 アドレスとポート番号が分かれば、どのユーザかが分かるために、ログとしての記録保持も必要なくなる。

以下では、IETF において現在提案されている IPv4 over IPv6 (図-1 の (2)) 技術のうちいくつかについて、簡単に紹介する。

• DS-Lite (Dual-Stack Lite)

IPv6 ネットワーク上で IPv4 をトンネル (IPv4 over IPv6) することによって接続性を提供する。エッジ機器においてはトンネル機能を新たに実装する必要がある。NAPT はボーダゲートウェイ側で行い、CGN を必要とする。IETF においては最も標準化が進んでおり、対応する製品も販売されている。

• 4rd (IPv4 Residual Deployment)

IPv6 ネットワーク上で IPv4 をトンネル (IPv4 over IPv6) することによって接続性を提供するものであるが NAPT はエッジ側で行う。拡張アドレス空間の分割により IP アドレス共有を行う代表的なものとなっている。4rd については、実装方式に複数の提案があり、標準化にはまだ時間を要すると予想される。いくつかの実装や製品が存在している。

• SA46T

IPv6 ネットワーク上で IPv4 のトンネル (IPv4 over IPv6) を用いるものであるが、利用用途としては L3VPN を想定している。IPv6 アドレスの下位 64bit に IPv4 アドレスを埋め込み、stateless となっている。富士通 (株) より IETF に提案中であり、実装も複数ある。

▶ IPv4 と IPv6 の相互接続

相互接続が必要となる理由

グローバル IPv4 アドレスが枯渇している状況を背景に、IPv4 から IPv6 への移行の必要性を念頭に置いて、

現在、IPv6 の利用を促進させるさまざまな方策がとられているが、前述からも分かるとおり、IPv4 と IPv6 には相互互換性がないため、IPv4 アドレスだけを持つノードと IPv6 アドレスだけを持つノード同士ではそのまま直接通信をすることはできない。

IPv4 アドレスと IPv6 アドレスの両方を各ノードに割り当てデュアルスタック構成のノードにすることにより、論理上は IPv4 と IPv6 のどちらのプロトコルでもノード間での通信が可能になるが、今後とも増加し続けるインターネット上のノードの総数に対して、そもそもグローバル IPv4 アドレスの総数が不足しているため、インターネット上のすべてのノードを単純にデュアルスタック構成にすることはできない実状がある。

IPv4 Only のエンドノードが接続されている IPv4 インターネットと IPv6 Only のエンドノードが接続されている IPv6 インターネットといったように IPv4 と IPv6 でインターネットが分断されて相互通信をすることができなくなってしまう状況を回避する 1 つの方法として IPv4 Only エンドノードと IPv6 Only エンドノードの仲介役を受け持つトランスレーション技術が生み出されている。

トランスレーション技術の導入を検討するに当たり、インターネットの環境として、IPv4 の普及比率が大きい現状から IPv6 の普及比率が大きくなっていく変化の過程を予測することができるが、IPv4/IPv6 の両方が共存していく期間を共存前期と共存後期の 2 つに分けて考えることにより、どのようなトランスレーション技術が必要になるか理解しやすくなる。

IPv4/IPv6 共存前期

まず、IPv4 から IPv6 に移行していく期間の共存前期には、IPv6 クライアントと IPv4 サーバ間でのトランスレーションが重要になると予測することが可能である。理由は、FTTH の一般化およびモバイル端末の普及拡大によりクライアントのノード数の増加率がサーバのノード数の増加率よりもさらに大きくなっていく背景があり、新規に増加されていくクライアントから IPv6 に移行していくことで、

IPv4/IPv6 共存環境下における IX の役割

IPv6 の普及を徐々に推進していき、そこで節減することができた IPv4 アドレス資源をサーバなどの用途に充当するモチベーションがあるためである。

図-2 にあるとおり、IPv6 クライアントと IPv4 サーバ間でのトランスレーション導入において、クライアントの IPv6 アドレスを IPv4 アドレスに変換する場合には、クライアント群が存在するアクセス事業者のネットワークに近い位置にトランスレータを設置することが理想であり、サーバの IPv4 アドレスを IPv6 に変換する場合には、サーバ群が存在するコンテンツ事業者のネットワークに近い位置にトランスレータを設置することが理想となる。

IPv4/IPv6 共存後期

次に、IPv4 から IPv6 に移行していく期間の共存後期には、IPv4 クライアントと IPv6 サーバ間でのトランスレーションが重要になると考えられている。理由は、共存前期で、新規に増加していったクライアント群は IPv6 に移行することができたが、一方、既存のクライアント群には、まだ IPv6 に対応することができない古いソフトウェアで動いているクライアントが残存してしまうことが予測され、IPv4 クライアントと IPv6 サーバ間でのトランスレーション導入が必要とされるためである。

こちらも図-2 にあるとおり、クライアントの IPv4 アドレスを IPv6 アドレスに変換をする場合には、アクセス事業者のネットワークに近い位置にトランスレータを設置することが理想であり、サーバの IPv6 アドレスを IPv4 アドレスに変換をする場合には、コンテンツ事業者のネットワークに近い位置にトランスレータを設置することが理想となる。

インターネットにおいて、IPv6 に対応することができないノードが完全になくなる状況は当面来ないかもしれないが、トランスレーションの長所の

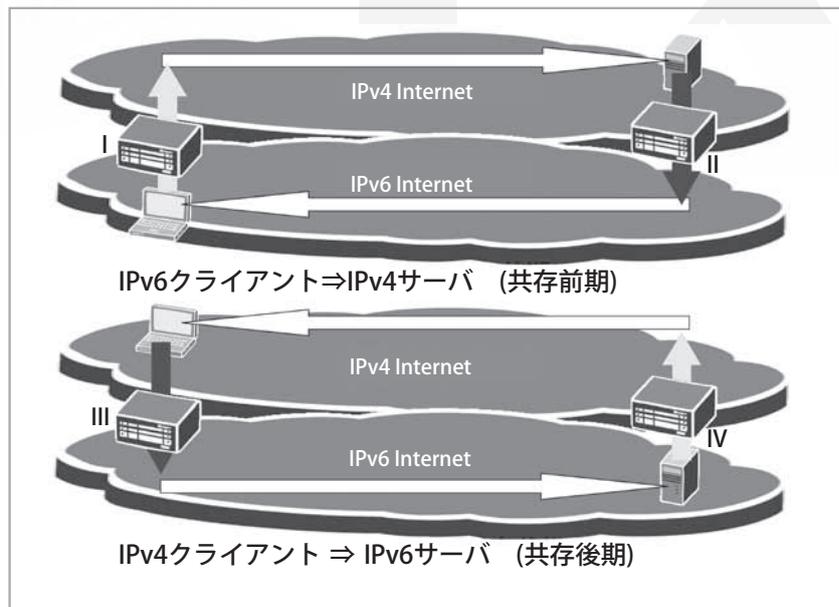


図-2 IPv4 と IPv6 の相互接続

1 つは徐々に IPv4 から IPv6 に移行をしていく目的において、さまざまなネットワーク環境に応じて、柔軟に対応することができる点がある。

現在の取り組み

(IPv6v4 エクスチェンジサービス)

▶取り組みを開始した背景

現在、JPIX の IX ポートには 130 を超える事業者が接続している。前述したとおり、それぞれ個別の事業者の状況には差はあるものの、事業者では IPv6 サービス対応と IPv4 アドレス枯渇対策の課題を抱えており、特に、地方に多い中小規模の事業者では、それぞれの課題対応に必要なリソース（コスト、スキル）の確保は難易度の高い課題となっている。そこで JPIX では、そうした事業者で抱えている課題に対するアクションとして、IPv6 サービス対応については事業者側で対応を行い、IPv4 アドレスの枯渇対策については、事業者側で CGN やトランスレーションの設備を構築・運用することなく JPIX からのアウトソース形式による提供形態（図-3）によって、事業者の IPv4 アドレス枯渇の対策をサポートするという方針で進んできた。

この方針をもとに立案された ISP への IPv4 アド

■ 解説

レス枯渇ソリューションが IPv6v4 エクステンジサービスである。

このソリューションは、ISP 内部の IPv4 アドレス未使用在庫が枯渇し、新規加入によって増加したエンドユーザに対して IPv4 アドレスを配布することができなくなった環境において、新規に増加したエンドユーザには IPv6 アドレスのみの配布を行い、その IPv6 アドレス

のみが配布されたエンドユーザに対しても IPv6 ネットワークを経由した形で IPv4 インターネットへの到達性を提供するソリューションとなっている。

▶ トランスレーション技術 (464XLAT)

JPIX の IPv6v4 エクステンジサービスで採用しているトランスレーション技術は、すでに RFC として発行されている Stateless XLATE (RFC 6145) と Stateful XLATE (RFC 6146) の組合せで実現している。それぞれの個別技術はすでに RFC になっているが、この2つの技術を組み合わせた方式についても現在、IETF の場で 464XLAT として、標準化の提案を行っている。

464XLAT では、Stateless XLATE (RFC 6145) が実装されているエンドユーザ側のトランスレータを CLAT (Customer side Translator (XLAT)) と呼び、Stateful XLATE (RFC 6146) が実装されているプロバイダ側のトランスレータを PLAT (Provider side Translator (XLAT)) と呼んでいる (図-3)。

この 464XLAT の方式の特徴は次のとおりとまとめることが可能である。

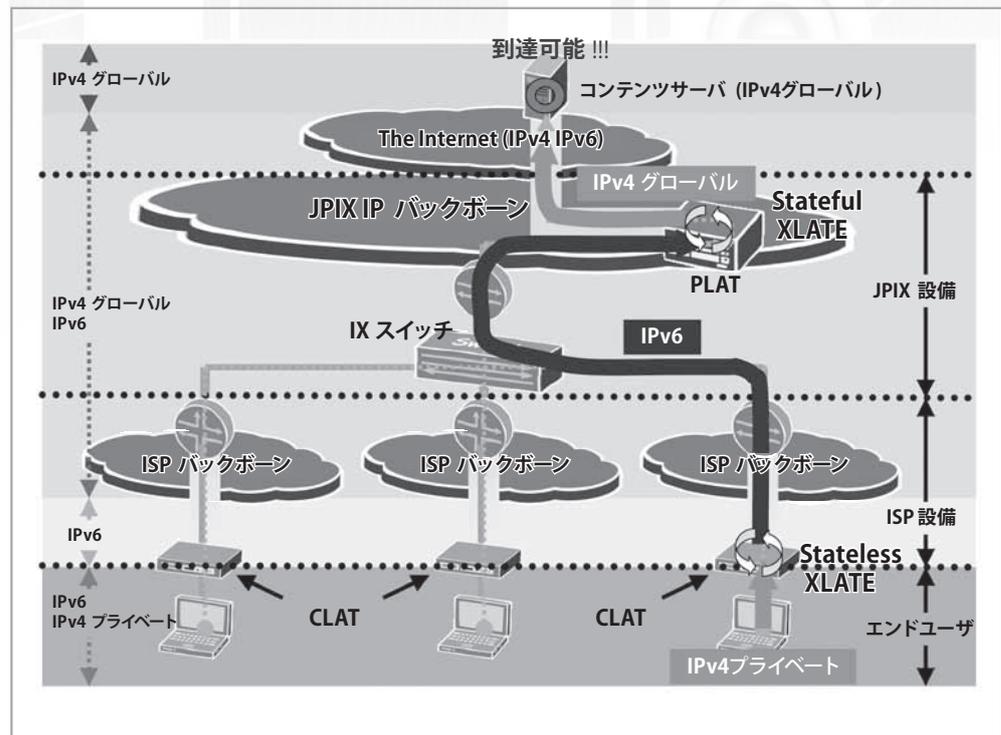


図-3 IPv6v4 エクステンジサービス概要図

1. IPv4 アドレスの量にしばられない

IPv4 アドレスの共有プールアドレスを持っているプロバイダ側のトランスレータ (PLAT) では、クライアント⇄サーバ間のセッション情報をテーブル管理する Stateful 変換を実装しているため、IP アドレスの多重度に自由度が高く、IPv6 プレフィックスの大きさや IPv4 プレフィックスの大きさによる適用制限が小さい点 (すでに IPv4 アドレスの在庫が枯渇している日本を含んだ APNIC 地域においては、重要視すべき特徴である)。

2. 変換パケットの可視性の高さ

トンネルを使用しないトランスレーション (Layer 3 のヘッダ変換) であるため、IPv4 から IPv6 にヘッダ変換された後の IPv6 パケットのヘッダ情報にある宛先 IPv6 アドレス、および、送信元 IPv6 アドレスの下位 32 ビットに埋め込まれた IPv4 アドレス部分を見ることにより、クライアント⇄サーバ間で通信をしている送信元 IPv4 アドレスおよび宛先 IPv4 アドレスが識別可能となっているため、事業者で運用している一般的なバックボーンルータのパケットフィルタによって、自律的なパケット制御が可能で

ある点。

3. エンドユーザ宅内装置の実装負荷軽減

エンドユーザ側に設置される CLAT の IP アドレス変換処理はセッション情報の管理を必要としない Stateless の変換動作であるため、既存のブロードバンドルータに対してもソフトウェアによる機能追加が容易であり、実装コストを抑えることが可能な点。

事業者のエンドユーザ宅内およびプロバイダ側での 2 カ所の IP アドレス変換によって、IPv6 ネットワークを経由した IPv4 インターネット到達性の提供が可能となる。この構成においては、DNS64[RFC 6147] を使用せず、IPv4 アドレスの共有が可能であること、また DNS64 との併用によって、IPv4/IPv6 アドレス変換対応も同時に提供可能であることもこの方式の利点となる。

▶現在の取り組み状況

JPIX では、2008 年から IPv4 と IPv6 の共存に関する取り組みの 1 つとして、IPv6v4 エクスチェンジサービスの検討を続けてきたが、2010 年 7 月から JPIX の IX ポートに接続している事業者を対象に、実証実験を開始し、実証実験に参加している事業者と JPIX との共同体制で技術的な知見・ノウハウの収集を行っている。

現在は、学会（情報処理学会、日本ソフトウェア科学会）の研究会や国内外のカンファレンスにおいて、実験成果を紹介し、本取り組みの実験成果に関して、評価を得ている。

今後は、この実証実験の結果を踏まえ、現在、事業者が直面している IPv4 アドレス枯渇問題のサポートのため、正式運用を開始することを予定している。

補足となるが、正式運用を開始するに当たり、本取り組みで使用する ISP 共用プールアドレスについて、実証実験用途から正式運用用途への追加増強を検討しているため、本稿の読者の方が所属している組織で保有している IPv4 アドレスに未使用となっている部分があれば、2012 年 4 月から JPNIC にて開始される歴史的 PI (Provider Independent) アドレスの課金導入を 1 つの契機としてご考慮いただき、

IPv4/IPv6 共存環境下における IX の役割

JPIX への IPv4 アドレス移転のご協力をご検討いただければ幸いです。

IX の今後の展開

インターネットが階層を構成しつつ相互に接続していくという形態から、ハイパージャイアントとそれ以外といった形態に変化していき、さらに世界中で利用者が広がり接続する機器も爆発的に増加している最中に、IPv4 アドレス枯渇と IPv6 への移行と共存という事態が発生しているのが現在の姿である。その状況下で、IPv4 により構築されたネットワークと IPv6 により構築されたネットワークが並存する形態は筆者らも含め多くのネットワーク技術者がここ数年～10 年以上は継続するものと予想している。その中で、さまざまなサービスを提供する事業者は、何らかの形で IPv4 と IPv6 の両方にサービスを提供することが求められている。あくまでその並存は過渡的であり、両方にサービスを提供することによりかかるコストと比較して得られる利益はわずかであるため、各事業者において IPv4 と IPv6 の両方に対して積極的に設備投資などを行っていくことは難しいという現実も存在している。

IPv6 化に向けて積極的な取り組みが行われていない理由の 1 つに、IANA および APNIC において IPv4 アドレスが枯渇したにもかかわらず、インターネットでのサービス事業者にはその影響が及んでいないことが挙げられる。IX 等いくつかのポイントでの観測によると IPv6 のトラフィック量は IPv4 に対しても 0.5% 程度でしかない。一方で、インターネットの拡大が進むにつれて、ある時点からは IPv6 を利用せざるを得なくなり、IPv6 のトラフィックも将来のいつかの時点で IPv4 のトラフィックを超えるようになる。しかし、その時点がいつになるかを予想することは困難である。また、その間は IPv4 と IPv6 のそれぞれのネットワークが並存することになる。実は、これまで IPv4 と IPv6 が並存するインターネットの形態や、その間の相互接続については十分な議論や技術開発がなされてこなかった。

■ 解説

しかし、これまでのインターネットのユーザと新たに参加するユーザのそれぞれの利便性を損ねないためにも、IPv4とIPv6のそれぞれのネットワークの相互接続は必須となる。これを実現する最も簡単な方法は、インターネットに接続されるすべてのノードがデュアルスタック化されることであるが、IPv4アドレスが不足している現実からも不可能となる。したがって、何らかの形態でIPv4とIPv6の2つのネットワークを安定的に相互接続する必要がある。

「インターネットエクステンジ (IX) の役割と機能の変遷」の章で述べたように、インターネットの形態が変わってきたことに伴って、IXの機能も、学術機関のネットワーク同士の相互接続点から、商用接続サービスの相互接続点、さらにはアクセス側とコンテンツ側への事業者の分化によるそれらの間の相互接続点といった形で変わってきている。IXにおいてはまた交換されるトラフィックが大量であればあるほど、あるいは加入者数が多いほど、その重みを増す。しかし、大手通信事業者間の直接接続や、あるいは最近のコンテンツ事業者やCDN事業者によるコンテンツキャッシュの分散配置により、トラフィックの総量の中でIXを経由する絶対量そのものは増加しているものの、全体に占める相対的な比率は低下してきている。一方、加入者については商用サービスを行っているさまざまな事業者のみならず、インターネットの基盤となっている事業者や組織も参加しており、多様な加入者が相互に接続しトラフィック交換が可能であるという側面において、量的な寄与は少ないが重要であるトラフィックの交換に寄与しているIXの重要性は減じていない。さらに、今回のIPv4アドレス枯渇という事件はインターネットの構造を大きく変化させるものであり、インターネットに分布するプロトコルスタックが変化していく中でさらにIXの機能も純粋な相互接続ポイントから機能を広げていくことが必要となる。具体的には、耐障害性の向上やグローバル化の視点からのIXの広域化や国内外のIX間での連携や協力、コンテンツのキャッシュやルーティング機能といった上位Layerでのサ

ービスの提供、さらにはIPv4/IPv6の移行と共存のための付加機能の提供を検討している。この中でも、IPv4/IPv6の共存時期においては2つの独立なインターネットが存在することから、2つのインターネットをエンドユーザにシームレスに見せるための機能を提供することについてIXに期待されていることは大きい。この認識のもとで、他者に先駆けてIPv4ネットワークとIPv6ネットワークの相互接続に取り組んでいることを本稿では紹介した。これは、インターネットの相互接続関係を円滑に行うということがIXの本来の機能であり、また大小や形態を問わない多くの事業者が加入しているIXにおいて、IPv4とIPv6の相互接続の環境を提供することは大いに意義があることと筆者らは考えたからである。IXが先に立つことにより、自らサービスするだけでなくIX加入者への展開、さらにはインターネット全体への展開を可能とすべく検証に取り組んでいる。これがIXが新たに果たすべき役割の1つとなり、これによりインターネットの継続的な発展に寄与できることを期待している。

参考文献

- 1) Labovitz, C., Iekel-Johnson, S., McPherson, D., Oberheide, J., Jahanian, F. and Karir, M. : ATLAS Internet Observatory 2009 Annual Report, http://www.nanog.org/meetings/nanog47/presentations/Monday/Labovitz_ObserveReport_N47_Mon.pdf
- 2) Common Requirements for Carrier Grade NATs (CGNs), <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-behave-lsn-requirements>
- 3) RFC 6052 (IPv6 Addressing of IPv4/IPv6 Translators), <http://tools.ietf.org/html/rfc6052>
- 4) RFC 6145 (IP/ICMP Translation Algorithm), <http://tools.ietf.org/html/rfc6145>
- 5) RFC 6146 (Stateful NAT64 : Network Address and Protocol Translation from IPv6 Clients to IPv4 Servers), <http://tools.ietf.org/html/rfc6146>
- 6) RFC 6147 (DNS64 : DNS Extensions for Network Address Translation from IPv6 Clients to IPv4 Servers), <http://tools.ietf.org/html/rfc6147>
- 7) 464XLAT : Combination of Stateful and Stateless Translation, <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-v6ops-464xlat>
(2011年12月20日受付)

■ 石田慶樹 ishida@jpix.ad.jp

1988年東京大学大学院修士課程修了後、東京大学助手、九州大学講師を経て、1998年にメディアエクステンジ(株)に入社。その後、(株)パスワードコム、KDDI(株)を経て、2007年に日本インターネットエクステンジ(株)の代表取締役社長に就任。博士(工学)。

■ 馬渡将隆 mawatari@jpix.ad.jp

2008年日本インターネットエクステンジ(株)入社。技術部に所属し、現在、IPv6v4エクステンジサービスのプロジェクトを中心に、IPv6促進に関する対応およびIPv4枯渇対策に従事している。