

IPv4/IPv6 デュアルスタックアクセス サービス提供方式についての検討

松本 存史^{†1} 南 正樹^{†1} 藤崎 智宏^{†1}

IPv4 の枯渇を目前に控え,ISP や企業ネットワーク等において,ユーザに IPv6 での接続性を提供する方式が検討されている. エッジやバックボーンに至るまでデュアルスタックにする方法や,一部をシングルスタックにしたまま,トンネルなどを用いてオーバーレイで他方のプロトコルをルーティングする方法などがある. 本論文では,IPv6/IPv4 デュアルスタックアクセスサービスの提供方法として,トンネルに基づく方法とトランスレーションによって一方のプロトコルを他方のプロトコルに変換して扱う方法について比較検討を行う.

Considerations on deploying IPv4/IPv6 dual-stack access service

ARIFUMI MATSUMOTO,^{†1} MASAKI MINAMI^{†1}
and TOMOHIRO FUJISAKI^{†1}

As the IPv4 depletion approaches, several mechanisms are studied to provide IPv6 network access service to users in ISP and enterprise network. One mechanism aims to deploy dual-stack network all through the network from the edge to the backbone, and another aims to keep single-stack network and to deploy the other protocol over the base network. This paper studies and compares two mechanisms to deliver IPv6 and IPv4 dual-stack network access services, one of which is based on tunneling technology and the other is translation based technology.

1. はじめに

IPv4 アドレスの枯渇により,IPv6 への移行や導入が ISP, 企業網, またコンテンツ事業者など, 様々な組織のいて検討されている. 当初,IPv6 導入の方法としては, エッジやバックボーン問わず,IPv4 と IPv6 のデュアルスタックネットワークを構築することが想定されていたが, その導入コストやオペレーションコストの高さから, アクセスネットワークなどの部分を IPv4 または IPv6 によるシングルスタックにし, その上を他方のプロトコルをオーバーレイで展開し, ユーザ端末にデュアルスタックサービスを提供するという構築方法がいくつか提案されている. IPv4 ネットワークの上に IPv6 ネットワークを構築する手法としては, softwire¹⁾, 6rd²⁾, 6to4³⁾, Teredo⁴⁾, ISATAP⁵⁾ といった方法がある. 逆に IPv6 ネットワークの上に IPv4 ネットワークを構築する手法としては, 同じく softwire, DS-Lite⁶⁾ 等の方法があり, またこれらの方法以外に汎用的なトンネルプロトコルを用いる方法がある.

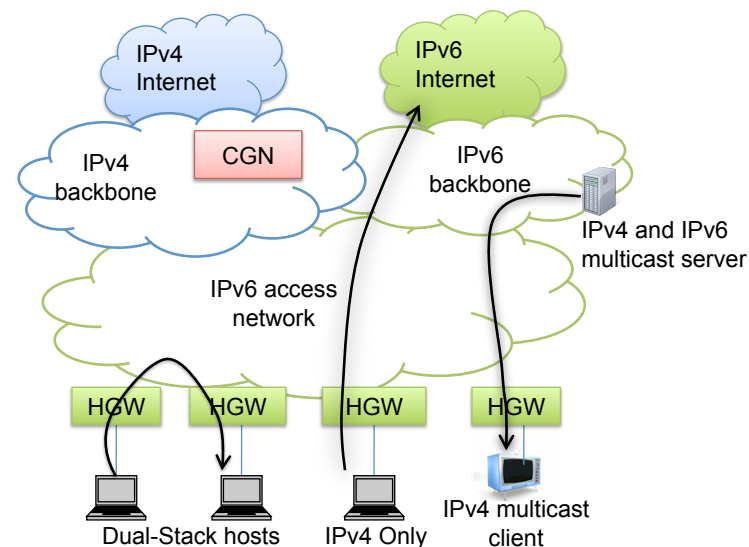


図 1 ISP ネットワークの構成と課題

^{†1} NTT 情報流通プラットフォーム研究所
NTT Information Sharing Platform Laboratories

IPv4, IPv6 どちらのプロトコルをベースにネットワークを構築するかについてはそれぞれ

れ一長一短があり、環境に依って適した方法を選択すべきではあるが、本稿では将来的には IPv6 が主流となるとの見地から、IPv6 をベースとしたネットワークを想定し、そのネットワーク上で IPv4 アクセスサービスも併せて提供する方法について検討する。

さて、アクセスネットワーク部分を IPv6 のみで構築した際の ISP/企業ネットワークの大まかな構成と、ISP や企業のネットワークに現在または今後求められるであろう技術的課題について図 1 に示した。その技術的課題について列挙すると、下記ようになる。

- IPv6 においても、また IPv4 においても、ユーザ間のトラフィックはできる限り最短経路で折り返すルーティングを行うことにより、レイテンシの低下を避け、網全体で処理するトラフィック量を低減するようにする。
- ユーザが IPv4 のみに対応したホストを使用し続けている、また逆に IPv6 のみに対応した製品を使用している場合に、これらの端末でも IPv6 及び IPv4 ホストと通信できるようにする。
- マルチキャスト通信をサポートし、ユーザが IPv4 及び IPv6 それぞれのマルチキャスト通信を受信できるようにする。
- IPv4 アドレスが枯渇し、十分なグローバル IPv4 アドレスが用意できなかった場合に、網内で CGN(Carrier Grade NAT)⁷⁾ などを用いることにより、グローバル IPv4 アドレスの節約ができるようにする。
- ISP 等の商用サービスにおいてはサービスの無停止運用が望ましく、トンネルまたはトランスレーション装置がシングルポイントオブフェイラーとなることを避け、また負荷が特定の装置に集中することを極力避けるようにする。

本稿では、IPv4 と IPv6 のデュアルスタックアクセスサービスを展開するに当たり、IPv6 のみのアクセスネットワークを構築し、その上で IPv4 アクセスサービスを展開する方式の検討を行う。ここで、既存のトンネル技術をベースとした方式と異なる方式として、IPv4/IPv6 トランスレーション技術⁹⁾ を利用することについて着目し、これらを比較しながら詳細方式について検討し、上記の技術的課題の解決度合いという観点からそれぞれの方式の評価を行う。

2. トンネル方式とトランスレーション方式

2.1 トンネル方式

トンネル方式の概要を図 2 に示す。トンネル方式ではユーザ宅内のゲートウェイ (HGW: Home GateWay) と、バックボーンに設置したトンネルルータ (TR: Tunnel Router) との間で、IPv4 over IPv6 トンネルを生成する。この時、ユーザから IPv4 インターネットへの通

信は、図示した通り TR 及び IPv4 バックボーンを経由する。ユーザ間の IPv4 通信は、一度 TR を経由する折り返し通信で行われることになる。また、IPv6 通信については、トンネルの影響を受けることなく、IPv6 アクセスネットワークをネイティブにルーティングされることになる。

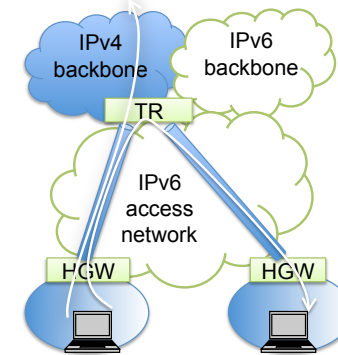


図 2 トンネル方式

software で検討されている Mesh モデル⁸⁾ では、全てのトンネル処理を行うルータ間でトンネルを生成する、即ちここでは全ての HGW 間でトンネルを生成することになるが、大規模なネットワークでこのような方式を適用すると、TR が全ユーザ数分の経路を持つこととなり現実的ではない。

また、本方式をベースとしたネットワーク上で IPv4 マルチキャスト通信を行う場合、マルチキャストパケットがトンネル上を流れることになり、IPv6 アクセスネットワーク中のルータにおいてマルチキャストパケットとして扱われない。そのため、実質ユニキャスト通信と同等の通信を行うことになってしまい、マルチキャストのメリットを享受することができない。

2.2 トランスレーション方式

一方、トランスレーション方式の概要は図 3 のようになる。トランスレーション方式では、ユーザ端末が送信した IPv4 パケットを、HGW で IPv6 パケットに変換し、通信相手が同一 ISP/企業の他ユーザであった場合は、そのユーザの HGW まで通常の IPv6 パケットと同様にルーティングし、HGW によって逆の変換処理を行い IPv4 パケットに戻して宛先ホスト

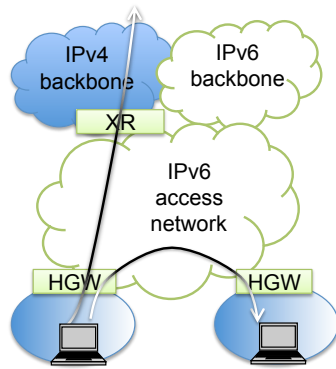


図3 トランスレーション方式

まで到達することとなる。ISP/企業外への通信であった場合は、XR(Translation Router)がIPv4パケットに戻す変換処理を行い、IPv4インターネットへと転送する。

ここで用いる変換処理は、SIITと呼ばれるRFC2765⁹⁾で定められたIPv6/IPv4変換ルールを用いることができる。本RFCを用いるNAT-PT¹⁰⁾と呼ばれるトランスレーション技術は、いくつかの問題が指摘され¹¹⁾、現在Historicつまりその使用が推奨されないというステータスになっているが、本方式ではIPv6/IPv4変換処理を二度行うため、エンドホストには透過的であり、ここで指摘された問題のほとんどは当てはまらない。

また、本方式をベースとしたネットワーク上でIPv4マルチキャスト通信を行う場合、IPv6アクセスネットワーク中を通過する際にIPv6マルチキャストパケットに変換して転送することで、IPv6アクセスネットワークにおいてマルチキャスト通信を行う事が可能となる。

続いて、このトランスレーション方式の具体的な実現方法について、その詳細を説明する。

3. トランスレーション方式詳細

3.1 アドレスフォーマット

図4に本方式で用いるIPv6アドレスフォーマットの例を示す。ISPや企業は/24以上の大きさのIPv6アドレスブロックを取得するものとし、各ユーザに割り当てたIPv4アドレスを続くフィールドに埋め込む。このようにして生成される/56のアドレスブロックが各ユーザに割り当てられる。

IPv4パケットをIPv6パケットに変換する場合は、IPv4アドレスを上記のようにIPv6ア

ドレスに埋め込み、またSubnetをゼロ、Interface Identifierを1とするアドレスをIPv4アドレスマッピング用のIPv6アドレスとして利用するものとする。

Prefix (~24)	IPv4 (32)	Subnet (8)	Interface Identifier (64)
--------------	-----------	------------	---------------------------

図4 IPv6アドレスフォーマット

3.2 通信方法の詳細

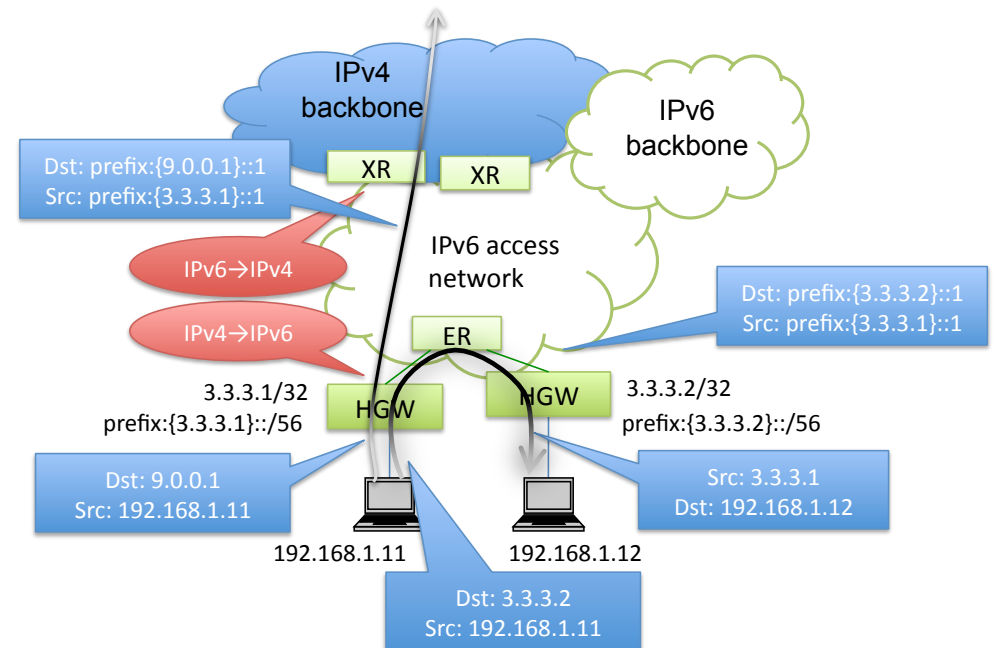


図5 トランスレーション通信の詳細

通信方法の詳細を図5に示す。ここでは、各ユーザにIPv4グローバルアドレスが1つ付与され、HGW配下でIPv4プライベートアドレスを使用し、HGWでNATを行う環境を想

定した。

HGW は配下のホストが送信したパケットの宛先アドレスがどのようなアドレスであっても、上述のマッピングルールに則って、IPv4/IPv6 トランスレーションを行う。この時、変換に用いる IPv4 の送信元アドレスは HGW に付与される IPv4 グローバルアドレスである。IPv6 に変換されたパケットは、IPv6 アクセスネットワークにおいてルーティングされ、同一 ISP/企業のユーザが宛先である場合は、直接当該ユーザの HGW まで転送される。パケットを受信した HGW は、IPv6 アドレスフォーマットからそれが IPv4 から IPv6 にトランスレーションされたパケットであることを判断し、IPv4 パケットに変換を行い、配下のホストに転送する。

宛先が同一 ISP/企業内でなかった場合は、IPv6 アクセスネットワークと IPv4 バックボーンとの境界に位置する XR(Translation Router) までパケットがルーティングされ、XR によって IPv6 から IPv4 へのトランスレーションが行われ、IPv4 バックボーンを経由して IPv4 インターネットへパケットが転送されることになる。

3.3 経路制御

XR が IPv6 アクセスネットワークに広告する経路情報は、ISP や企業が取得した IPv6 アドレスブロック、すなわちここでは prefix::/24 となり、各ユーザに付与した IPv6 アドレスブロックの経路は、IPv6 アクセスネットワーク中の ER(Edge Router) 等で集約して、IGP ルーティングを行うことになる。また、XR は複数台設置が可能で、IPv4/IPv6 トランスレーションは 1 対 1 変換であり、それぞれの XR でステートを保持したり、ステートを交換したりする必要が無く、動的に XR を使い分けることも可能である。XR を複数設置した場合は、それぞれの XR から同一の経路情報 prefix::/24 を広告し、ルーティングにおける最も近接した XR を経由して IPv4 バックボーンにパケットを転送することができる。

これにより、IPv6 アクセスネットワーク内で交換される経路数は、最も効率的にネットワーク構築を行えた場合には、ER の台数に XR の台数を足したものとなる。

3.4 マルチキャスト通信

IPv6 アクセスネットワークでは、IPv6 マルチキャスト通信が利用可能な状態になるとする。この時、IPv4 マルチキャスト通信は、IPv6 アクセスネットワークを通過する際に IPv6 にトランスレーションし、そして HGW において IPv4 に逆変換するという、ユニキャスト通信と同等の処理を行うことで実現できる。

ただし、マルチキャストに用いるグループアドレスについては、IPv6 マルチキャストアドレスのグループアドレスの一部を、IPv4 マルチキャストのグループアドレスにマッピングす

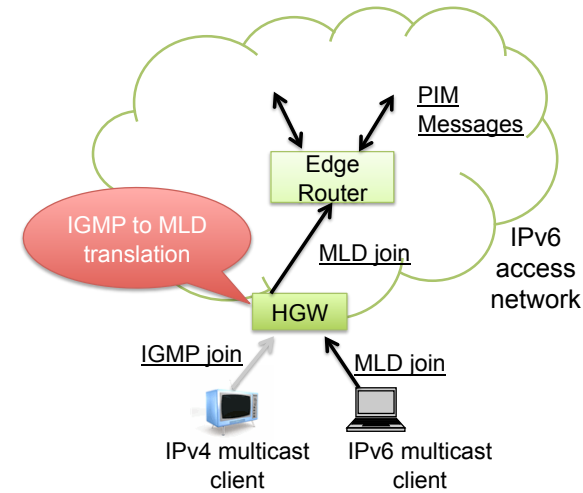


図 6 マルチキャスト通信

る必要があり、このマッピングルールを定義し、HGW に設定をする必要がある。

また、IPv4 マルチキャストを行うためには、IPv6 マルチキャストパケットの送信元アドレスは、IPv4 に変換可能なアドレスフォーマットに設定しておく必要がある。

HGW におけるマルチキャスト関連機能としては、PIM のルーティング機能が、もしくは図 6 に示すように、IGMP パケット及び MLD パケットを上流ルータに送信するプロキシ機能が必要となる。本方式では、IPv4 のマルチキャストグループ管理プロトコルである IGMP パケットを MLD に変換し、上流のエッジルータに MLD パケットを転送する機能が必要となる。

4. 評価

1 章で述べた技術的課題に関して、トンネル方式及びトランスレーション方式の評価を行ったものが、表 1 である。

2.1 節で述べたように、既存のトンネル方式では、全ての通信がバックボーン等に設置されるトンネルルータ経路になり、ユーザ間通信も折り返し通信となるか、または HGW において膨大な経路情報を扱うこととなり非現実的であると言える。

マルチキャスト通信は、トンネル方式だと IPv4 over IPv6 トンネル内で行われることと

表 1 トンネル方式とトランスレーション方式の評価

	トンネル方式	トランスレーション方式
ユーザ間通信	△トンネル装置で折り返し	○直接通信
マルチキャスト	×ユニキャスト通信と同等	○実現可能
IPv4→IPv6通信	×実現不可	○実現可能
IPv6→IPv4通信	×実現不可	○実現可能
冗長性確保 負荷分散	○単一IPでのフェイルオーバー, ユーザ毎にTR装置振分け	○IGPルーティングによる 障害回避/負荷分散

なり、実質 IPv4 のユニキャスト通信と同等になってしまい、マルチキャスト通信のメリットを活かすことができない。

IPv4 のみ対応、または IPv6 のみ対応したホストのための、IPv4 IPv6 変換、IPv6 IPv4 変換サービスについては、トンネル方式ではパケット変換機能を別途実装する必要があるのに対してトランスレーション方式ではパケット変換処理は、ベースとなるトランスレーション機能を利用することができる。ただし、IPv4 IPv6 変換、IPv6 IPv4 変換サービスでは、ユーザが利用する DNS キャッシュサーバにおいて、IPv4 アドレスを IPv6 アドレスにマッピングする、または逆に IPv6 アドレスを IPv4 アドレスにマッピングする機能が必要であり、その機能を HGW や ISP/企業ネットワーク内の DNS キャッシュサーバに実装する必要がある。

トンネル装置、トランスレーション装置の冗長性確保、負荷分散という課題については、両方式で特性が異なるが、トンネル方式では HGW に設定するトンネルルータの IP アドレスは 1 つであり、この 1 つの IP アドレスを用いてトンネルルータの冗長性を確保する L2 等の技術が必要となる。また負荷分散はユーザ毎に用いるトンネルルータを振り分けるなどの方法が用いられると考えられる。一方、トランスレーション方式では、IGP のルーティングによって、トランスレーション装置の冗長性確保や負荷分散が可能であり、より少ない制約条

件であると思われる。

また、本表には記さなかったが、CGN の導入という技術的課題に関しては、両方式とも同程度の親和性を持っていると考えられる。CGN の導入に際してのデメリットとしては、ユーザ間での直接通信が損なわれることが挙げられる。

5. 終わりに

本稿では、ISP や企業ネットワークにおいて、IPv4 と IPv6 のデュアルスタックアクセスサービスを提供する方式について、トンネル技術に基づく方式とトランスレーション技術に基づく方式の二方式について比較検討を行った。ISP/企業ネットワークが現在、また今後抱えるであろう技術的課題に照らし合わせて、両方式を評価してみると、トランスレーション方式に優位性が認められることがわかった。しかしながら、IPv6/IPv4 トランスレーション技術は各種トンネル技術に比べて一般に使用されているとは言えず、従って運用の経験の蓄積等も十分に進んでいない。これらの理由により、トンネル技術に基づくデュアルスタックアクセスサービスの構築方式がより注目されているというのが現状である。今後は本稿での評価内容を基に、実装による評価などのより多角的な分析を行い、標準化や実ネットワークへの展開などを行って行く予定である。

謝辞 トンネル方式とトランスレーション方式の比較に関する議論にご参加頂いた、Comcast 社 Alain Durand 氏、インターネットマルチフィード社 外山勝保取締役技術部長、NTT 東日本の岩佐部長、水越部長、並びに三宅延久グループリーダをはじめとするグループ員の皆様に、謹んで感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) B. Storer, C. Pignataro, M. Dos Santos, B. Stevant, L. Toutain, J. Tremblay, RFC 5571: *Software Hub and Spoke Deployment Framework with Layer Two Tunneling Protocol Version 2(L2TPv2)*, Jun. 2009, IETF softwire working group, <http://www.ietf.org/dyn/wg/charter/softwire-charter.html>
- 2) W. Townsley: *IPv6 via IPv4 Service Provider Networks*, IETF softwire working group, draft-ietf-softwire-ipv6-6rd-00,
- 3) B. Carpenter, K. Moore: RFC 3056 *Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds*, IETF, Feb. 2001
- 4) C. Huitema: RFC 4380 *Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs)*, IETF, Feb. 2006
- 5) F. Templin, T. Gleeson, M. Talwar, D. Thaler: RFC 4214: *Intra-Site Automatic*

Tunnel Addressing Protocol (ISATAP), IETF, Oct. 2005

- 6) A. Durand, Ed.: *Dual-stack lite broadband deployments post IPv4 exhaustion*, IETF software working group, draft-ietf-software-dual-stack-lite-01, Jul. 2009
- 7) T. Nishitani, I. Yamagata, S. Miyakawa, A. Nakagawa, H. Ahida: *Common Functions of Large Scale NAT (LSN)*, IETF, May 2009
- 8) J. Wu, Y. Cui, C. Metz, E. Rosen, RFC 5565: *Softwire Mesh Framework*, IETF software working group, Jun. 2009
- 9) E. Nordmark: RFC 2765 *Stateless IP/ICMP Translation Algorithm (SIIT)*, IETF, Feb. 2000
- 10) G. Tsirtsis, P. Srisuresh: RFC 2766 *Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)*, IETF, Feb. 2000
- 11) C. Aoun, E. Davies: RFC 4966 *Reasons to Move the Network Address Translator - Protocol Translator (NAT-PT) to Historic Status*, IETF, Jul. 2007