

# IPv6 only での運用を可能とするバックボーンネットワーク構築技術

松平 直樹

富士通株式会社 〒211-0041 川崎市中原区下小田中 2-12-5

E-mail: matsuhira@jp.fujitsu.com

あらまし IPv6 導入の基本技術は IPv4/IPv6 双方をサポートする Dual Stack だが、運用コストの面から見ると必ずしも安いとはいえない。本稿では、IPv4/IPv6 のホストをサポートし、なおかつバックボーンネットワークを IPv6 のみで運用できるような技術を提案する。本技術の特徴は、少ない設定数で IPv6 only のバックボーンネットワークを構築できることであり、運用コストを安価に済ませることができる。

キーワード IPv6, 移行, IPv6 only, 運用コスト

## IPv6 only backbone network solution

Naoki Matsuhira

Fujitsu Limited 12-5 Shimokodanaka 2-Chome Nakahara-ku, Kawasaki 211-0041, Japan

E-mail: matsuhira@jp.fujitsu.com

**Abstract** Basic strategy of IPv6 deployment is based on dual stack technology, but when watching it from a respect of an operational cost, it may not be cheap. This report describe IPv6 only backbone network solution, that support IPv4/IPv6 host and enable operation of backbone network only in IPv6. The characteristic of this technology is realizing IPv6 only backbone network with number of little setting, so can keep operational cost cheap.

**Keyword** IPv6, Deployment, IPv6 only, Operational cost

### 1. はじめに

IPv6 は多様なプロダクトでサポートされ、導入も進み、各種サービスも提供されるなど、徐々に普及が進んでいる。そして、IPv6 のメリットを活用したプロダクトやサービスの本格的な展開が期待されている。今後は、IPv6 の本格展開を支えることが可能な運用技術が、ますます重要となろう。

IPv6 の導入に関する基本技術は Dual Stack 技術である。これは IPv4 及び IPv6 の双方を機器がサポートすることにより、既存の IPv4 通信をサポートし、なおかつ、IPv6 もサポートする技術である。

しかし、Dual Stack 技術では、IPv4 と IPv6 の両方をサポートするが故に、運用コストが高くなるとの不安が持たれている。従来の IPv4 運用コストに加え、IPv6 運用コストが加算されるからである。一方、IPv6 が普及し IPv4 のサポートを打ち切れる状況になった際には、IPv6 運用コストのみ必要となる。この際には、豊富なアドレス空間のメリットや Plug & Play のメリットを十二分に享受できる期待が持たれている。つまり、IPv6 に移行完了し、IPv4 の運用を停止できる状況になれば IPv6 のメリットを享受できるものの、それまでは IPv4/IPv6 双方の運用が必要であり、移行中であるが故

に、運用コストが高くついても止むを得ないと考えざるを得ない。従って、運用コストは高くつくが、それを如何にして下げるかという考え方が重要になろう。

本稿では、IPv4/IPv6 のホストをサポートし、なおかつ、IP バックボーンネットワークを IPv6 のみで運用できるような、バックボーンネットワーク構築技術について述べる。本技術により、少なくともバックボーンネットワークの運用を IPv6 のみ対象にすればよくすることが可能になり、その分、運用コストも下げることが可能になる。

### 2. IPv6 導入技術

IPv6 の導入技術は大きく分類すると(1) Dual Stack、(2) トンネリング、(3) IPv4-IPv6 変換として検討されている[1]。インターネット、あるいは IP ネットワークの基本要素はホストとルータとして分類すると、Dual Stack 技術はホスト及びルータ双方に必要な技術だが、トンネリングは IPv6 の到達性を、既存の IPv4 ネットワークインフラを活用しながら構築するものであり、孤立ホスト、つまり、IPv4 ネットワークに孤立して存在する IPv6 ホストが IPv6 通信を行う場合を除くと、ルータが対象と言える技術である。

これら、導入技術を用いて IPv6 をサポートするためには、IP ネットワークを Dual Stack で運用するのが最も単純である。しかし、IP ネットワークの L3 機器全てを一度に入れ替えるのは現実的でなく、段階的な導入を可能とするために、IPv6 over IPv4 スタティックトンネリングなどのトンネリング技術が検討されている。

しかし、IPv6 over IPv4 スタティックトンネリング技術は、一本のトンネルあたり、トンネルの端点の 2 箇所毎に設定が伴うため、運用コストは安くない。特にトンネルの数が増えると設定数が増え、その管理がたいへんになると同時に、トラブル解析も難しくなるデメリットがある。

長期的に、将来 IPv6 が普及し、IPv4 の運用が不要になると、IPv6 only でネットワークの運用が可能になる。この際は、IPv4 アドレスの制約、つまりグローバルアドレス数が必要十分で無いとか、プライベートアドレスの重複が必要十分で無いとか、プライベートアドレスの重複が必要十分で無いとか、発生する可能性があるとか、ホスト数を意識したアドレス設計をしなければならない等の制約が無くなり、IPv6 が持つ、豊富なアドレス空間のメリットを十二分に享受できるといった期待も持たれる。

### 3. IPv6 導入技術の運用コストからの評価

上記で述べた技術を、運用コストの面から定性的に評価し、その性質を図 1 に示す。

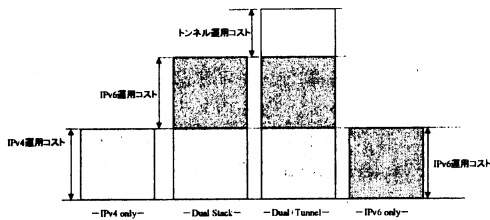


図1: 運用コスト比較

現 IPv4 ネットワークの運用コストをベースにすると、Dual Stack による運用コストは、大まかに言って IPv6 の運用コストが加算されるものになる。トンネルを用いると、さらに運用コストが増加する。IPv6 only にできれば、IPv4 及びトンネルの運用コストは不要になる(この図では、単純化のために IPv4 と IPv6 の運用コストはほぼ同等と仮定した)。

この傾向から、機器コストへの投資を行わなければ運用コストが上がり、運用コストを下げたければ機器への投資が必要といったトレードオフの関係があることがわかる。また、バックボーンネットワークとスタ

ブネットワークの境界のルータ間でフルメッシュにトンネルを設定することを想定すると、ルータ数  $N$  に対してトンネル設定数は  $2N(N-1)$  と  $N$  の 2 乗が必要となり、大きなネットワークになればほどほど、トンネルの運用コストは膨大となる。

いずれにせよ、長期的に見れば、IPv6 対応機器の導入は欠かせないため、機器への投資は避けられない。このような前提に立てば、機器コストは同等で、運用コストを低くできる技術が望ましい。運用コストを最も低くできる手段は IPv6 only である。アプリケーションやホストまで含めると現実的でないかもしれないが、バックボーンネットワークのみを IPv6 only で運用に可能にするアプローチは有望と考えられる。

### 4. 要件

図 2 に前提とするネットワークを示す。ネットワーク全体を、バックボーンネットワークとスタブネットワークの 2 階層に分け、その境界を接続する機器をエッジサービスルータ(ESR)と呼ぶことにする。バックボーンネットワークはルータやスイッチなどのネットワーク機器で構成され、スタブネットワークにはホストが含まれるものとし、ネットワーク機器はあっても無くても良い。

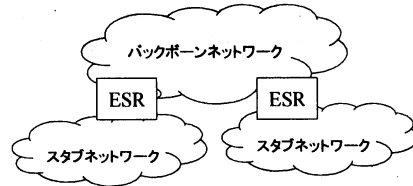


図2: ネットワーク構成

このようなネットワークでの、エッジサービスルータに対する要件を以下に示す。

- (1) バックボーンネットワークを IPv6 only で運用できること
- (2) IPv4 only、IPv4/IPv6 混在、IPv6 only のスタブネットワークを収容できること
- (3) 運用コストを増やさないため、エッジサービスルータでの設定が少なくできること

### 5. 実現技術

#### 5.1. IPv6 only 化技術

IPv4 パケットをカプセル化によって、IPv6 パケットとすれば、全てのトラフィックを IPv6 にできる。従っ

て、エッジサービスルータで、IPv4 パケットを IPv6 パケットでカプセル化すれば良く、IPv6 only のバックボーンネットワークを構築することが可能になる。いわゆる、IPv4 over IPv6 トンネリング技術である。

整理すると、エッジサービスルータでは、IPv4 パケットは IPv6 ヘッダを付与して IPv6 パケットにカプセル化し、また、IPv6 パケットについてはそのまま転送することにより、要件の(1)(2)を達成できる。

## 5.2. エッジサービスルータでの設定簡略化技術

先に述べたように、IPv6 over IPv4 スタティックトンネリングはトンネル一本毎の設定が必要となり、その数はエッジ部のルータ数の 2 乗となり、スケールしない問題がある。

5.1 で示したように、エッジサービスルータにてカプセル化を行うが、そのための設定を簡略化することが課題であり、その解決はスケーラビリティの向上に繋がる。

一般に、IPv4 over IPv6 トンネリング技術は、デカプセル化する機器の端点を IP アドレスで指定し、IPv4 パケットを格納していることを、IPv6 ヘッダの Next Header 領域で表示する。必要な情報は、この 2 種類だけである。従って、端点到パケットが届くようにすることと、IPv4 パケットを格納していることの表示を簡略化できることが目標だが、後者の IPv4 パケットを格納することの表示は、カプセル化一般に関わることであり、設定にほとんど影響が無い。つまり、デカプセル化する機器に、如何にパケットを届けるかが課題である。

一般にトンネリングでは、デカプセル化する機器を IP アドレスにより、エンドノードとして指定する。しかし、パケットを通過させるという立場で見れば、これは経路制御で解決可能である。これは、トンネルの端点を指定して届けるという発想から、トンネルの端点を通過させるという発想に転換したものと言える。

本論では、経路制御による解決手段として、IPv6 アドレスを工夫することによる解決を提案する。具体的に、IPv4 パケットを格納していることを識別できる情報と IPv4 アドレスを組み込んだ IPv6 アドレスである。本論では、IPv4 パケットを格納していることを識別できる情報を、「IPv4 オーバレイネットワーク識別子 (O-ID)」とする。IPv6 アドレスは 128 ビットと広大な空間を有するために、IPv4 アドレスの組み込みが可能となる。なお、本方式は、IPv4 ネットワークを IPv6 only バックボーンネットワークにマッピングする、一種のオーバレイネットワークである。

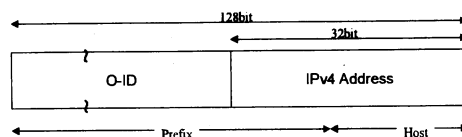


図3: アドレス形式

技術的なポイントを以下に示す。本技術によりカプセル化されたことを「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」で示し、区別可能とする。バックボーンネットワークで相互接続されたスタブネットワーク上のホスト間の通信、つまり、IPv4 パケットのアドレスから、本形式のアドレスを生成する。これにより、バックボーンネットワークからスタブネットワークに転送されるパケットは、エッジサービスルータで IPv6 ヘッダを外すことにより、元の IPv4 パケットを復元できる。一方、エッジサービスルータでは、バックボーン側に、IPv4 アドレスのプレフィックス迄含んだ経路を、IPv6 ネットワークの経路として広告する。IPv4 アドレスのプレフィックスまで含むことにより、接続されるスタブネットワークが区別でき、目的とするスタブネットワークが接続されるエッジサービスルータに経路選択される。

「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」は、バックボーンネットワークに閉じたアドレスであり、インターネットに広告する必要は無い。従って、どのような値を用いても方式としては問題ない。しかし、工事ミス、あるいは設定ミス等、何らかの事故により、このアドレスがインターネットに流出してしまう事態など運用に伴うトラブルを避けるためには、そのユーザに割り当てられたグローバルアドレス空間の一部を用いるのが安全と考えられる。

このようなアドレスに関し、IPv4 のネットワークアドレス部の境界で経路を広告する。これにより、RIP や OSPF などの通常のダイナミックルーティングプロトコルで十分である。

なお、ホスト間の IPv6 通信は、そのまま通信させれば良い。

## 6. 具体例

バックボーンネットワークを介し、10.1.1.0/24 のスタブネットワークと 10.1.2.0/24 のスタブネットワークが接続され、そこに、接続される 10.1.1.1 のホストと 10.1.2.1 のホスト間での通信を例に説明する。

「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」として、このユーザに割り当てられたグローバルアドレス空間から、subnet ID が FFFF の空間を使用するものとする。

この値を<GlobalAddressPrefix>:FFFF/64 と表す。つまり、O-ID の値は<GlobalAddressPrefix>:FFFF::/96 となる。この値を簡略化するために、<O-IDPrefix>::/96 とする。

ネットワークのエッジ部の機器は、バックボーンネットワーク側に、それぞれ、<O-IDPrefix>::10.1.1.0/120、<O-IDPrefix>::10.1.2.0/120 の経路を広告する。10.1.1.1 から 10.1.2.1 に送信されるパケットは、宛先アドレスとして 10.1.2.1、発信アドレスとして 10.1.1.1 が格納されるが、ネットワークのエッジ部の機器により、IPv6 ヘッダが付与され、その宛先アドレスとして <O-IDPrefix>::10.1.2.1、発信アドレスとして <O-IDPrefix>::10.1.1.1 が設定される。このパケットは、<O-IDPrefix>::10.1.2.0/120 の経路にマッチするため、10.1.2.0/24 に接続されるネットワークのエッジ部の機器にルーティングされる。この機器では、IPv6 ヘッダが取り除かれ、10.1.2.0/24 の IPv4 サブネットワークに転送、10.1.2.1 のホストに転送されることになる。

逆の流れも、同様の仕組みで転送される。

## 7. 評価

本方式を、設定数で評価する。本方式で設定が必要なのは、「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」のみである。この設定は、エッジサービスルータ毎に一つ必要となる。エッジサービスルータの数が N の場合、設定数は N となり、機器を 1 つ追加する際には、追加する機器でのみ 1 つ設定すればよい。しかも、設定値は同一の値で良く、設定ミスの可能性も大幅に削減できる。

IPv6 over IPv4 Tunneling の場合、設定数は  $2N(N-1)$  と N の 2 乗で必要となり、また、機器を 1 つ追加する際には  $2N$  個必要となる。これは、追加する機器に加え、既存の機器全てで設定追加が必要となる。

「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」は本来値は何でも良い。機器で値を決め打ちにしまえば、設定そのものがなくなる。

そのほかのメリットとしては、以下のようなものがある。

- IPv6 only で運用できることから、バックボーンネットワーク内で IPv4 アドレスを消費せずに済む
- 経路のエントリ数も増加しない

## 8. 応用

本方式は、一種のオーバレイネットワークであり、VPN としての利用も可能である。「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」の値を変えることにより、論理的に異なるオーバレイネットワークを、ひとつのバック

ボーンネットワークで実現できる。

例えば企業ネットワークなどでは、ネットワークの統合などでプライベートアドレスが衝突する場合は考えられる。この際、抜本的な統合策は、プライベートアドレスをリナンバリングすることであるが、IPv4 では仮想的に異なるオーバレイネットワークとし、IPv6 の導入の際にグローバルアドレスを使用することにより、IPv6 通信で統合するというシステムインテグレーションの選択肢も提供できる。

また、ネットワークサービスを行う立場では、「IPv4 オーバレイネットワーク識別子」を、その顧客ごとに異なる値を用いることによって、VPN として使うことも可能である。これまで説明したメリットに加え、特別なシグナリングプロトコルなどが不要といったメリットもある。

## 9. IPv6 導入方針について

IPv6 over IPv4 Tunneling は方式的には任意の機器間で設定できるため、柔軟性があるが、自由度がありすぎるが故、導入計画が立てにくい場合もあり得る。

本方式は、エッジをこの機能を備えた機器で統一するという制約はあるが、バックボーンのコアから段階的に拡大するなどの導入方針が立てやすいと考えることもできる。

現在運用中の機器をなるべく触りたくないという運用ポリシーがある場合は、IPv6 only のバックボーンを小さく作り、そこで運用経験を蓄積しながら段階的に拡大していくという方針が現実的である。つまり、既存の IPv4 ネットワークをスタブネットワークと位置づけ、バックボーンネットワークを IPv6 only で作り上げ、徐々にエッジサービスルータに近い、スタブネットワーク内の機器を、IPv6 対応にする際、バックボーンネットワーク側に再配置しながら置き換えていくという考え方である。

新しくネットワークを構築するような場合は、当初から IPv6 対応させるのが現実的なソリューションであるが、その際、Dual Stack で運用するか、IPv6 only で運用するかは一考の価値があると考えられる。

## 10. まとめ

IPv6 導入方法の一つの選択肢となりうる方式を提案した。

本方式は、運用コストを安価に済ませるという観点で、バックボーンネットワークを IPv6 only、つまり IPv4 の運用を不要にするアプローチに特徴がある。

IPv6 only バックボーン境界の機器で IPv4 パケットを IPv6 にカプセル化するが、その際の設定数を、IPv6 の広大なアドレス空間を利用して削減する技術

が核であり、特に拠点数が多い場合に効果的である。

現実のネットワークは、その構成や運用ポリシーなど様々で、どの方針が最適かは、それぞれ異なると考えられるが、本方式は、そのひとつの選択肢を提供するものである。

### 文 献

- [1] RFC2893 Transition Mechanisms for IPv6 Hosts and Routers. R. Gilligan, E. Nordmark. August 2000.

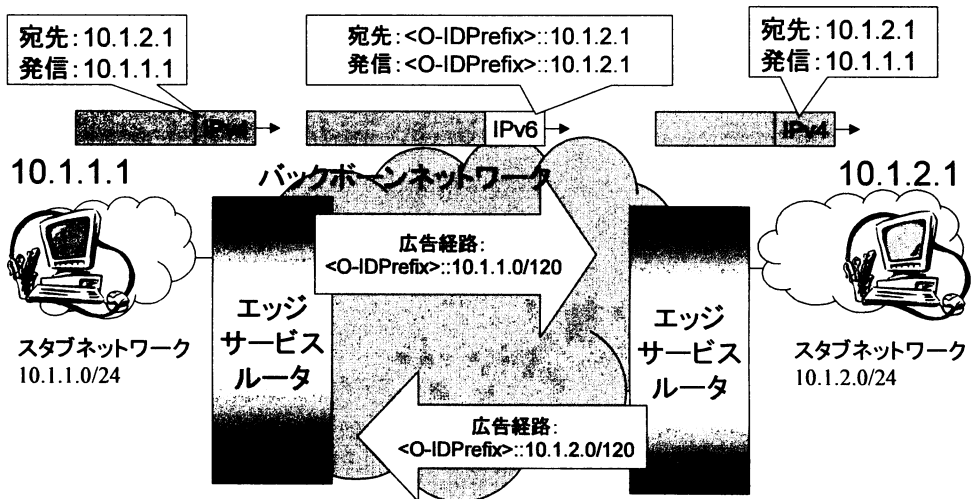


図4: 動作