

IPv6/IPv4 プロトコルトランスレータの評価

藤崎 智宏 松本 存史 新延 史郎

NTT 情報流通プラットフォーム研究所 〒180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

E-mail: {fujisaki.tomohiro,matsumoto.arifumi,niinobe.shiro}@lab.ntt.co.jp

あらまし 近年、インターネットの利用が拡大し、利用者の増加、利用目的の多様化が顕著である。このような拡大に対応するため、現在のインターネットプロトコル (IPv4) の後継としてバージョン 6 (IPv6) が標準化され、導入が始まっている。IPv4 と IPv6 は、プロトコル的に互換性がなく、相互に通信するためにはプロトコルトランスレータ (変換装置) が必要となる。実際に利用中の IPv6 網にトランスレータを設置し、IPv6 のみの環境でインターネット利用を実施した経験から、IPv4/IPv6 の相互変換に関する問題を述べる。

キーワード IPv6, IPv4, プロトコル変換

Experience with an IPv6/IPv4 protocol translator

Tomohiro FUJISAKI Arifumi MATSUMOTO and Shirou NIINOBE

NTT Information Sharing Platform Laboratories, 3-9-11 Midori-cho, Musashino-shi, Tokyo, 180-8585 Japan

E-mail: {fujisaki.tomohiro,matsumoto.arifumi,niinobe.shiro}@lab.ntt.co.jp

Abstract Today, the Internet is widely used in varied ways, and lots of devices are connected. To cover these advanced usage by huge number of nodes, a new version of the Internet protocol, IPv6 was standardized as a successor protocol of IPv4 and come into use. However, IPv6 is not interoperable with IPv4 and a protocol translator is needed to support communication between IPv6 and IPv4 nodes. We implemented and operated a protocol translator in our network and made our network environment as IPv6 only for several months. In this paper, we described some problems with using IPv6/IPv4 protocol translator in practice.

Keyword IPv6, IPv4, Protocol translation

1. はじめに

近年、インターネットの利用が拡大し、利用者の増加、利用目的の多様化が顕著である。このような拡大に伴い、現在のインターネットプロトコル (IPv4) で利用されている IP アドレスの枯渇が懸念されており、後継プロトコルである IP バージョン 6 (IPv6) が標準化され、導入が始まっている。

IPv6 はプロトコル的に IPv4 と互換性がなく、IPv4 対応のノードと、IPv6 対応のノードは相互に通信できない。このため、相互通信を実現するためにはプロトコル変換装置が必要となる。本稿では、IPv6/IPv4 プロトコルトランスレータを実際に使用した際に発生する問題点について述べる。

2. IPv4 アドレス枯渇とその対策

2.1. IPv4 アドレス枯渇の状況

インターネットに接続される機器を特定するための IPv4 アドレスは、32 ビット固定幅となっており、その総数は 43 億程度である。世界的なインターネットの拡大を受け、IPv4 アドレスの需要が非常に高まっており、その枯渇が懸念されている。図 1 に、インタ

ーネット資源管理団体である APNIC (Asia Pacific Network Information Centre) の チーフサイエンティストである Geoff Huston 氏が提供している IPv4 アドレス在庫枯渇予想のグラフを示す。

IP アドレスや AS 番号などのインターネット資源は IANA (Internet Assigned Numbers Authority) が一元的に管理しており、これらの資源の分配を下位組織である RIR (Regional Internet Registries: 地域レジストリ、現在、世界に 5 組織あり、アジア太平洋地域では APNIC) に委譲している。RIR では、各地域の ISP からの IP ア

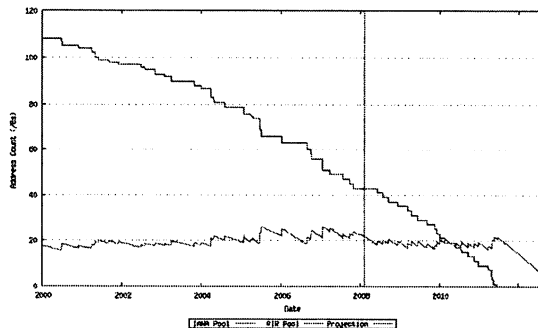


図 1 IPv4 アドレス利用予想

ドレス要求に対して、審査の上、必要量を割り振っている。Geoff 氏の予想によると、IANA における IPv4 アドレスの在庫は 2011 年 5 月になくなり、続いて RIR においても 2012 年 8 月に ISP に渡す IP アドレスがなくなる、と予測している（この予測はアドレスの使用状況をリアルタイムに反映し、日々更新されている [1]）。

2.2. IPv4 アドレス枯渇に対する対応

IPv4 アドレスの枯渇を受け、世界各地で IPv4 アドレス枯渇に対していかに対応するかが検討されている。日本においても、総務省が主導している研究会[2]、日本のアドレスレジストリである JPNIC (Japan Network Information Center)における枯渇対策検討[3]などで議論されており、対策として

- ・ NAT を利用した IPv4 アドレスの有効利用
- ・ 未使用／不要 IPv4 アドレスの回収、流通
- ・ IPv6 の導入

の 3 つが考えられるが、IPv4 アドレス枯渇に対する唯一永続的な解としては 3 点目の IPv6 の導入のみである、という見解が述べられている。

2.3. IPv6 の導入

IPv6 は IPv4 の後継プロトコルとして標準化されたが、IPv4 との互換性はなく、IPv6 を実装したノードと IPv4 ノードはそのままでは通信できない。IPv6 の導入は、インターネットにつながったノードが IPv4 と IPv6 を同時に実装したデュアルスタックノードとなり、その後、IPv6 に移行していくことが想定されていた。しかしながら、IPv4 アドレスの枯渇が目前となり、IPv4 を割り当てられなくなり、IPv6 のみのアクセスサービスを提供するプロバイダが出現する可能性や、IPv6 が導入されても、家電製品やセンサーなど、IPv6 に対応できない IPv4 機器が相当の期間残る可能性がある。このため、IPv4 ノードと IPv6 ノードの通信を可能にするプロトコルトランスレータが必要になる。

3. IPv4/IPv6 プロトコルトランスレータ

3.1. トランスレータの現行仕様

IPv6 と IPv4 のプロトコルトランスレータとして、いくつかの仕様が制定されている。

3.1.1. SIIT (Stateless IP/ICMP Translation Algorithm)

RFC2765[4]にて定義されている。IPv4 パケットと IPv6 パケットを、IP レベルで相互変換する。IP パケット及び、ICMP パケットの変換方法と、変換の際に使用するアドレス表記を定義している。IPv6 アドレス中に、IPv4 アドレスを埋め込んだ形式 (IP4 Translated Address) を利用することで、変換テーブルを持たずに

相互変換ができる反面、IPv6 ノードにも対応する IPv4 Translated Address を設定する必要があること、また、そのため、スケーラビリティに欠ける、等の欠点がある。SIIT で定義されている IPv4 パケットと IPv6 パケットの変換規則は、後述する NAT-PT でも使用されている。

3.1.2. NAT-PT(Network Address Translation - Protocol Translation)

RFC2766[5]にて定義されており、IP 層で、IPv4 と IPv6 の相互通信を実現する。IPv4 インターネットで広く利用されている NAT (Network Address Translation) が、プライベート IPv4 アドレスをグローバル IPv4 アドレスに変換するのと同様に、IP アドレスを書き換えることでプロトコル変換を実施する。IPv4 アドレスと IPv6 アドレスの対応付けは、DNS サーバと連携することにより実現される。図 2 に、NAT-PT 装置により IPv6 ノードが IPv4 ノードと通信をする様子を示す。

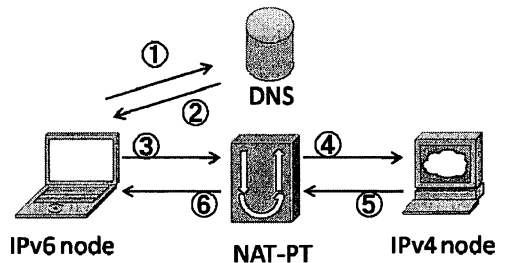


図 2 NAT-PT による通信

IPv6 ノードが IPv4 ノードの IP アドレスを DNS に問い合わせると (①)、DNS は、IPv4 ノードに対応したダミーの IPv6 アドレスを通知する (②)。IPv6 ノードは、そのアドレスに向かって通信を開始する (③)。通信パケットは、NAT-PT 装置により、ダミー IPv6 アドレスが通信相手の IPv4 ノードの IPv4 アドレスに変換され、始点アドレスは NAT-PT 装置の持つ IPv4 アドレスに変換されて、通信相手に送られる (④)。通信相手の IPv4 ノードは、通常の IPv4 通信を実施、返答する (⑤)。NAT-PT 装置は、通信相手からの IPv4 パケットを、IPv6 パケットに変換し、IPv6 始点ノードに送り返す (⑥)。

NAT-PT は、DNS と連動することで、IPv4 と IPv6 の相互変換が可能、IP レベルで変換するため、適用範囲が広い、という利点がある反面、NAT で問題になっているスケーラビリティ、性能ネック、ユーザ特定が困難、といった問題を持つ。

NAT-PT 相当の機能を実装した IPv4/IPv6 プロトコルトランスレータや、ルータで NAT-PT 機能を持つ製品が市販されており、実利用が可能である。

3.1.3. TRT (IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator)

RFC3142[6]にて定義されている。トランスポート層にて IPv6 のセッションを IPv4 のセッションに変換する。TRT 実装装置で IPv6/IPv4 のセッションを一度終端するため実装しやすいという利点がある反面、上位層での変換のため、リソースの使用量が多い、スループットをあげることが困難、IPv4 から IPv6 への変換ができない、などの欠点がある。FreeBSD6 Release などに `faithd` として実装されている。

3.2. NAT-PT の仕様上の問題点

上述のように、NAT-PT を実装したアプライアンス製品も存在し、利用可能となっているが、NAT-PT の仕様は現在、Historic (歴史的) というステータスとなっており、利用が推奨されていない。NAT-PT のステータスが変更された理由が RFC4966[7]にまとめられているが、

- パケットのペイロードにアドレスが埋め込まれる場合に対応が困難 (NAT の持つ一般的な問題点)
- セッションを維持するためには、アプリケーションレベルで Keep Alive を出す仕組みが必要となる
- IPv4 と IPv6 では、ヘッダに含まれる情報が違うため、完全に交換できない。
- パケットが断片化されている場合には、処理が難しくなる。
- SCTP などのトランスポートプロトコルに対応できない。また、マルチホーム環境での利用が困難。
- モバイル IPv6 や、マルチキャストとの親和性に問題がある。
- DNS と連携するため、設置のトポロジに制限がある。
- ダミーとして利用した IPv6 の有効時間の決定が困難

といった問題点があるとされている。現在、NAT-PT に変わるプロトコル変換技術の標準化について、IETF の v6ops WG にて議論が進んでいるが、仕様として制定されるためにはまだ時間を要すると思われる。

4. IPv6/IPv4 トランスレータの評価

4.1. 実験環境

4.1.1. 評価対象トランスレータ

IPv6/IPv4 トランスレーションプロトコルには前述のような仕様上の問題はあっても、IPv6 の導入を進

めるためには、トランスレータの設置が必要となる場合がある。そこで、IPv6/IPv4 トランスレータについて、実際にネットワークに導入し、評価を実施した。評価に使用した製品は、横河電機 (株) が販売している IPv4/IPv6 トランスレータである TTB[8]である。TTB の仕様を表 1 に示す。

変換方式	NAT-PT
同時コネクション数	30,000～500,000
対応プロトコル	TCP,UDP,ICMP
Application Level Gateway	ftp,tftp
その他	ロードバランス機能, リンクローカルアドレス変換機能 他

表 1 TTB の仕様

4.1.2. 機器・ネットワーク構成

IPv6/IPv4 トランスレータの評価を実施するため、当研究グループで日常利用している社内実験ネットワークを IPv6 only の環境とし、そこで数ヶ月間、作業を実施した。実験ネットワークの機器環境を、以下に示す。

ユーザ数 :

10 名程度

クライアントオペレーティングシステム :

Windows Vista, MacOS X, Lunix, FreeBSD

サーバシステム :

Windows 2003 Server (ファイル共有, プリンタ共有), Windows 2008 Server (リモートデスクトップ共有), FreeBSD 6 Release (メールサーバ, Web サーバ, Web Proxy 等), IPv6 対応ネットワークプリンタ

また、実験ネットワーク構成を図 3 に示す。実験ネットワークでは、IPv6 アドレス割当に、ルータ広告 (Router Advertisement) 機構を、DNS サーバのアドレスの通知に、ステートレス DHCPv6 を利用している。トランスレータは DNS を利用して動作するため、DNS サーバアドレスを DHCPv6 にて通知することで、トランスレータの使用/不使用を容易に切り替えることができる。

4.1.3. IPv4 インターネットへのアクセス

DNS サーバアドレスをトランスレータの DNS ALG とすることで、IPv4 インターネットへの通信がトランスレータ経由となる。http プロトコルの場合には、トランスレータ経由の他に、プロキシによる IPv4 アクセスも評価した。プロキシを利用する場合には、個別に Web ブラウザのプロキシ設定に、プロキシサーバの

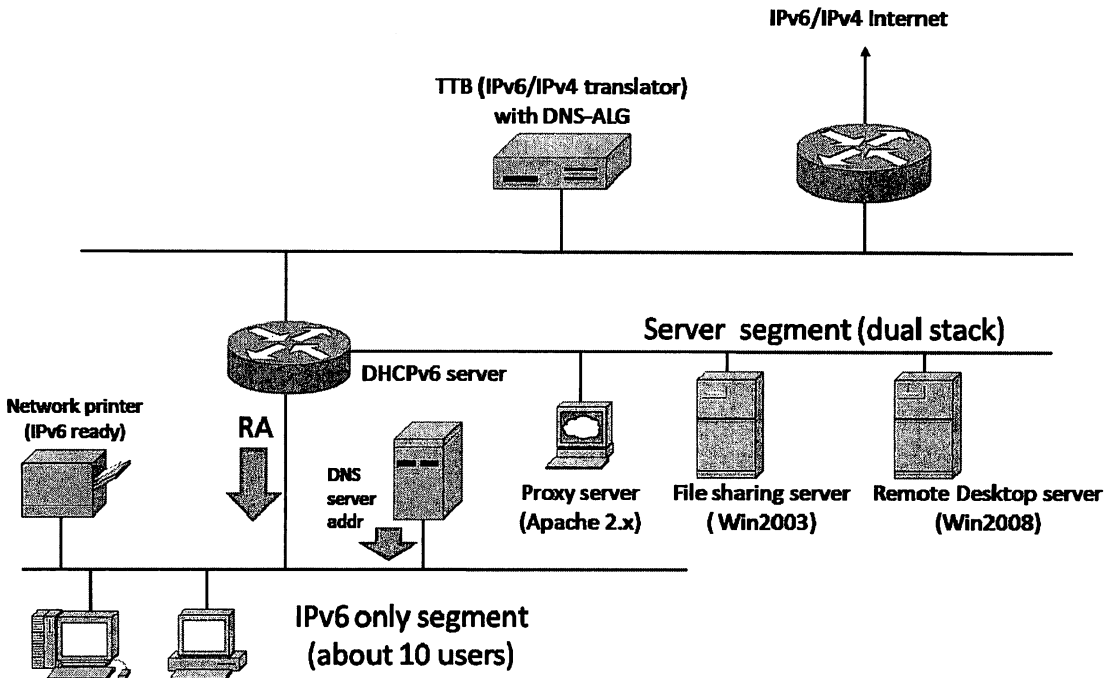


図 3 IPv6 only 生活実験環境

IPv6 アドレスを手動設定することとした。

4.2. IPv6 only 生活の評価

本章では、トランスレータを使った、IPv6 only 生活の評価について述べる。なお、トランスレータの評価については、[]にも述べられている。

4.2.1. 動作しないアプリケーションの存在

実験実施の時点（2008年2月）で、いくつかのアプリケーションはトランスレータ環境で動作しなかった。原因としては、以下の点が考えられる。

- ・ アプリケーションが通信する際、ペイロードに IPv4 アドレスを含んでいる場合
このタイプのアプリケーションとしては、MSN メッセンジャーがある。通信の際にやりとりされるデータ内に、サーバのアドレスと思われる十進表記の IPv4 アドレスを含んでいる。
- ・ アプリケーション自体が IPv6 に対応していない
いくつかのアプリケーションは、IPv4 アドレスがついていない OS 上では、通信ができなかった。これらのアプリケーションは IPv4 に依存した API を用いて実装されていると思われる（各種アプリケーションのアップデート機能や、Web からのダウンロードツールなど）。

Web プロキシを用いた場合には、MSN メッセンジャーは問題なく動作した。また、各種アプリケーションのアップデート機能においても、アップデートが可能なることは検知できたが、その後のダウンロードで失敗

するものがほとんどであった。

4.2.2. 表示できない Web ページの存在

HTML の記述に、IPv4 アドレスがそのまま表記されている場合には、そのページが表示できない。図 4 に、そのようなホームページの例を示す。

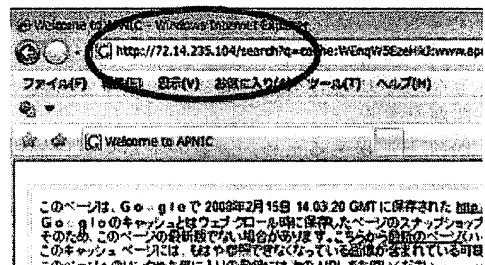


図 4 google キャッシュの出力 URL

このような、「IPv4 アドレス直書き」となっているサービスには、2008年2月現在、google cache/translation がある。Google cache の場合には、過去に存在した Web サーバ FQDN が現在も存在するとは限らないため、セキュリティ上も IP アドレスで記述する必要があるため、IPv6 の導入時には問題が大きい。その他、Web アクセス数トップ 100 (<http://www.alexa.com/>) 中の、10 のサイトで IPv4 直書きのページや、リダイレクトの際に IPv4 アドレスにて転送ページが指定されている場合こともあった。弊社の Web プロキシ(1,500

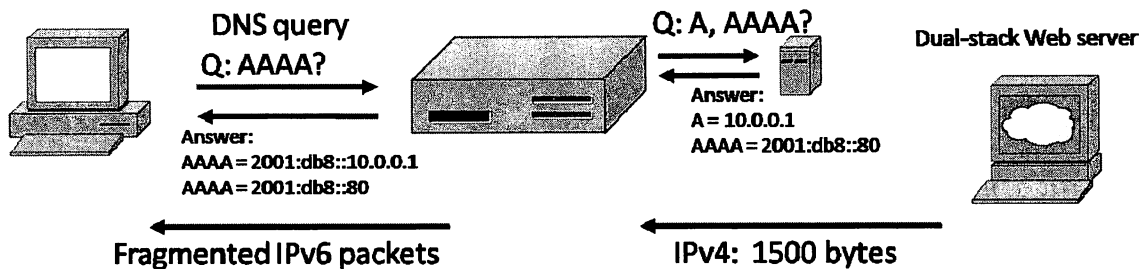


図 5 DNS プロキシと断片化

名程度が利用)のログ情報からは、総アクセスのうち、1.2%がIPv4直書きのアクセスであった。

4.2.3. DNS クエリの問題

いくつかのサイトでは、DNSの返答に不具合があり、ページが開覧できなかった。Webページを開覧する際、クライアントはサーバのFQDNから、IPv6アドレス、IPv4アドレスへの変換をするために、DNSサーバに返還要求を出す。この際、あるDNSサーバは、IPv6アドレス問い合わせ(AAAAクエリ)に対して、“権限なし”と返答得する場合があった。このような返答があった場合、TTBのDNSプロキシは再問い合わせを実施しないため、結果としてWebページの閲覧ができない。

4.2.4. アドレス選択問題

アクセスするサーバがデュアルスタックである場合、トランスレータのDNSプロキシがクライアントに対してどのように返答するかが問題となる。返答可能なアドレスは、IPv4アドレスに対するダミーアドレス、IPv6アドレス、もしくは両方となるが(図5上)、片方しか返答しない場合には、トラブル等で返答したアドレスの接続性がなかった場合には、もう片方での接続性があつた場合でも、Webページの閲覧ができなくなる。また、両方のアドレスを返答した場合、IPv6ネイティブでの接続が可能なページであるにも係わらず、トランスレータを経由したIPv4アクセスになってしまう可能性がある。

4.2.5. パケットの断片化

IPv6パケットのペイロードサイズはIPv4のものより小さいため、サーバへのアクセスの際に、取得するデータが大きい場合にトランスレータを通すことで断片化が発生する。これは、パフォーマンス上の問題になる。また、組織外にトランスレータがあつた場合、断片化パケットをファイアウォールで通過するように設定しなければならない。

4.2.6. パフォーマンス上の問題

IPv4インターネットへのアクセスがトランスレータに集中するため、パフォーマンス上の問題が発生する可能性がある。図6に、IPv4ノードがP2Pファイル共有クライアントを動作させた際の、セッション数推移のグラフを示す。横軸は時間、縦軸はセッション数である。このように、昨今のインターネットを利用するアプリケーションは、単一アプリケーションが数多くのセッションを生成する傾向があり、これらのトラフィックがトランスレータに集中した場合、変換、転送のパフォーマンスのみならず、セッション管理のスケラビリティが問題になる可能性がある。

4.3. トランスレータの他の懸念点

トランスレータは、NATが保有する問題を内在する。Webのみならず、ペイロードにIPアドレス情報を含むアプリケーションが動作しなくなる、また、トランスレータを通すことで、ユーザの特定が困難になり、トラブルシューティングや、セキュリティ問題などが発

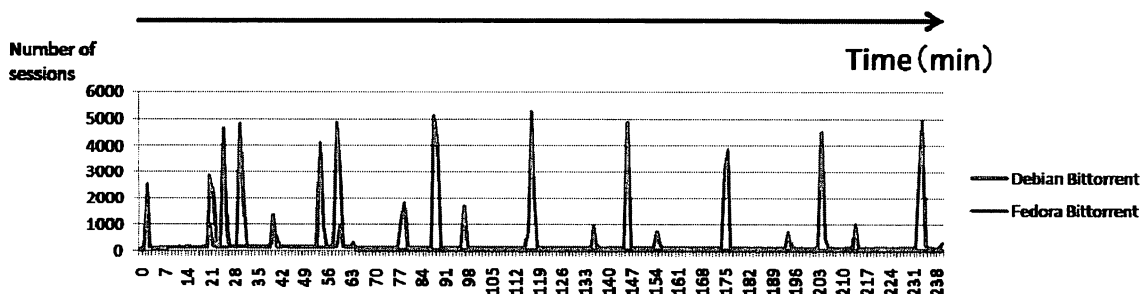


図 6 ファイルダウンロード中のセッション数推移

生した場合の対処ができなくなる。変換ログ等を取得する場合、その量が膨大になることが予想される。

5. まとめ

本稿では、IPv6 ネットワークを構築する際に必要となると思われる、IPv4/IPv6 プロトコルトランスレータについて、ユーザが使用する観点から評価を実施した。トランスレータには多くの問題点があるが、今後 IPv6 が導入されていく際、問題点を把握の上利用をしていく必要がある。

文 献

- [1] <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/>
- [2] 総務省, 「インターネットの円滑な IPv6 移行に関する調査研究会」, http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/chousa/ipv6/index.html
- [3] JPNIC, 「IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する検討報告書(第一次)」, <http://www.nic.ad.jp/ja/ip/ipv4pool/ipv4exh-report-071207.pdf>
- [4] E. Nordmark, “Stateless IP/ICMP Translation Algorithm (SIIT)”, RFC2765, February 2000.
- [5] G. Tsirtsis, P. Srisuresh, “Network Address Translation - Protocol Translation (NAT-PT)”, RFC2766, February 2000.
- [6] J. Hagino, K. Yamamoto, “An IPv6-to-IPv4 Transport Relay Translator”, RFC3142, June 2001.
- [7] C. Aoun, E. Davies, “Reasons to Move the Network Address Translator - Protocol Translator (NAT-PT) to Historic Status”, RFC4966, July 2007.
- [8] TTB, <http://www.yokogawa.co.jp/ipnet/ttb/>
- [9] 阿部幹雄他, “企業ネットワークの IPv6 専用網化-トランスレーター-”, 2005 信学全大, 通信 2 Page 526