

おさえておきたい基本や、最新動向を解説するコーナーです。



# IPv6におけるPPPoE方式と IPoE方式とは

2018年現在、NTT東西が提供するフレッツ(Next Generation Network、以下NGN)におけるIPv6を利用した接続サービス として、PPPoE(Point-to-Point Protocol over Ethernet)を利用したものと、IPoE(IP over Ethernet)を利用したものの、 二つの方式が存在しています。今回の10分講座では、それぞれの方式について解説します。

## フレッツ(NGN)のIPv6インターネット接続方式

2008年当時、IPv4アドレスの在庫枯渇が現実的な状況となり、IPv6によ るインターネット接続が必要となる時代が目の前までやってきていまし た。サービス導入時に関係者による検討が行われた結果、NTT東西が提 供するフレッツ(NGN)ではIPv6インターネット接続機能として、二つの 接続方式が提供されることになりました。

一つは、IPv6 PPPoE方式です。PPPを使って認証し、都度IPv6アドレスを 払い出す方式です。もう一つは、IPv6 IPoE方式です。PPPoEなどのトンネ ルを使わずに、IPv6で接続点(POI)までルーティングする方式です。IPアド レスは、IPoE接続事業者(以下、VNE: Virtual Network Enabler)から預 かったアドレスを、NTT東西のNGNから割り当てる方式です。

2008年4月に、IPv6インターネット接続提供に向けた 検討の場において、ISP(Internet Service Provider) からIPv6インターネット接続機能として、案1~案3の 提案が行われました 図1。

案1は、NGNには手を入れず、既に提供されているSNI (Application Server - Network Interface)で接続し、 ISP側で終端装置を置いてNGNをトンネルする方式 です。案2は、現在で言うPPPoE方式となります。IPv6 アドレスがNGNとISPからの払い出しとで二つある状態 (マルチプリフィクス)になるので、NAT66(IPv6-to-IPv6 Network Address Translation)等に対応した「IPv6トンネル対応 アダプタ」(以下、IPv6アダプタ)が必要な方式です。これについては後 述します。案3は、NGNとインターネットをレイヤ3で直接接続し、通信 に利用するIPv6アドレスは既にNGNで東西が払い出したものを利用 する方式です。これら3案を1年以上にわたり議論した結果、案2の PPPoE方式にて開発が行われることになりました。一方で、一部の事 業者から案3をベースとしながらも、IPv6アドレスは事業者が用意し たものを利用する「案4」、今で言うIPoE方式の提案があり、こちらも 並行して開発をすることとなりました。その後、2011年6月にPPPoE 方式が、同年7月にIPoE方式が提供を開始されました。

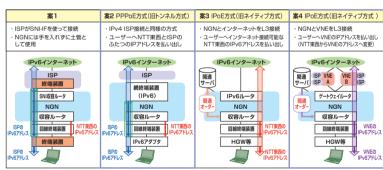


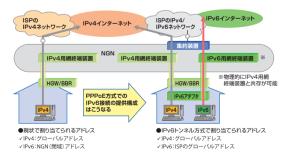
図1 2008年当時提案されたIPv6インターネット接続方式案

### IPv6 PPPoE方式について

PPPoE方式は、フレッツ・ADSL等において、当初からIPv4インターネット 接続に利用されてきた方式です。IPv6 PPPoE方式も、IPv4 における インターネット接続サービスと同様に、ISPとの接続や認証にPPPを 利用します。この際、IPv4のPPPoEトンネルとは別に、IPv6のPPPoEで トンネルを終端する装置(以下、網終端装置)に接続します 図2。

NGNとの接続はISPごとであり、網終端装置もISPごとに用意され ます。ネットワーク構成の観点からは、IPv4インターネット接続で は、NGNによる既存のサービスと同様、ホームゲートウェイ(HGW) やブロードバンドルータ(BBR)などでトンネルを終端していました。 これに対して、IPv6インターネット接続では、新たにIPv6アダプタが ユーザー宅に必要となる点が大きな違いになります。ユーザーの接続に 必要となる接続IDや接続パスワードは、IPv4インターネット接続と IPv6インターネット接続で同様の形式のものとなります。ただし、

IPv6インターネット接続は、IPv4インターネット接続とは別の、 IPv6専用のPPPoEトンネルを使用することになります 図2。



IPv4のみの場合とIPv4/IPv6デュアルの場合におけるPPPoE方式の比較

## \_

### 網終端装置の役割

網終端装置は、PPPトンネルを終端する機能を有し、ISPとの接 続点となる装置として利用されます。網終端装置は、NTT東西の NGNと接続するISPごとに用意されます。現時点(2018年9月) で装置あたりのインタフェース速度は1Gbpsです。ISPは網終端 装置と対向する接続装置のほか、ユーザー認証に必要なRADIUS 装置を用意する必要があります。ただし、この接続方式自体は旧 来のダイヤルアップ時代から大きな変更がなく、既存資産を有効

活用できるという利点もありました。このため、フレッツ開始当初 から多くのISPが、PPPoE方式(IPv4)での接続に対応してきた と考えられます。IPv4/IPv6に関わらず、ユーザーあたりのトラ フィックは増加傾向にあり、この解決に向けて、網終端装置の増 設基準の緩和や、増設基準を設けずに増設を可能にする接続メ ニューの提供が行われましたが、現在(2018年9月時点)も継続し て議論が行われています。

## 

### IPv6アダプタの役割

PPPoEトンネルを介してIPv6インターネットに接続する際は、ISP から配布されたIPv6プリフィクスを用います。これとは別にNTT 東西は、NGN上で提供されるサービスへ接続するための、IPv6プ リフィクスをNGNから配布しています。このプリフィクスはNGN 専用です。つまり、何もせずにPPPoE方式を利用すると、パソコン にはISPが配布したプリフィクスから作ったIPv6アドレスと、NGN が配布したプリフィクスから作ったIPv6アドレスの、二つが割り当 てられます(マルチプリフィクス状態)。そして、IPv6インターネット からは、NGNのプリフィクスを基にしたIPv6アドレスを宛先にした パケットは届きません。この状態で、通信先によってはNGNのプリ フィクスから作ったアドレスを送信元にして、IPv6インターネット にパケットを送信してしまうことがあります。このようなケースで は、IPv6インターネットへパケットが届かないため、通信を正しく振 り分ける仕組みがどこかに必要です。それがIPv6アダプタ※1です。 IPv6アダプタは、PPPoEを用いてISP網と接続するとともに、宅内 にISPのIPv6プリフィクスを払い出して、IPv6インターネットとの 通信を実現します。さらに、NGNの提供するIPv6を利用したサー ビスとの通信を、正常に行うようにします。

IPv6アダプタの主な機能は、次の通りです。

①PPPoEトンネル終端機能

②NGNへの接続機能:NAT66関連機能

③DNSプロキシ機能:選択的なDNSクエリの処理

④IPv4環境への対応

これらの機能について、それぞれを順に説明します。なお、詳細につ いては、NTT東西が公開している「NGN IPv6 ISP接続<トンネル 方式>用アダプタガイドライン」※2を参照してください。

#### ① PPPoEトンネル終端機能

これは最も基本となる機能です。PPPのIPv6CPとDHCP-PD (Prefix Delegation)によりISPから取得したプリフィクス情 報を、RA(Router Advertisement)として宅内に配布します (図3の左)。ただし、ISPのIPv6プリフィクス情報が取得できて いない状態の時は、宅内に対してローカルなネットワークでの 利用を前提とした、ULA(Unique Local IPv6 unicast Address: RFC4193で規定)と呼ばれるIPv6アドレスを構成するための プリフィクス情報を配布します。

### ② NGNへの接続機能: NAT66関連機能

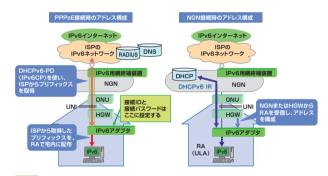
NGNへの接続機能とは、NATを利用して宅内にあるISP接続 用のIPv6アドレスを持った端末が、NGNの提供するサービスへ アクセスする機能のことです。以下に、IPv6アダプタが行うNGN への接続を行うための、情報取得といった準備やNATについて 説明します。

#### ・NGNアドレスの取得

NGNのUNI(User-Network Interface)に接続されたIPv6 アダプタは、NGNから提供されるRAによって、インタフェース にNGN用のIPv6アドレスを構成します。

#### ・サーバー情報の取得

IPv6アドレスが構成されると、次にNGNに向けてDHCPv6 のInformation-Request(DHCPv6 IR)を送信し、NGNのDNS サーバーおよびSNTP(Simple Network Time Protocol)サー バーのアドレス、およびNGN内で利用しているドメインのリストを 取得します(図3の右)。



#### 図3 IPv6 PPPoEインターネット接続時およびNGN接続時のアドレス構成

#### 経路情報の取得

IPv6アダプタは、PPPoEのインタフェースを経路表上のデフォルト ルートとして使用します。そのため、NGN上で提供されるサービスや IPoE方式を利用している端末と、網内折り返し機能を利用して通信を 行うためには、そのネットワークの情報を取得し、経路表に反映する必 要があります。この情報を提供するのが、NGN内に設置されている「経 路情報提供サーバ」です。ここから経路情報を取得します 図4。

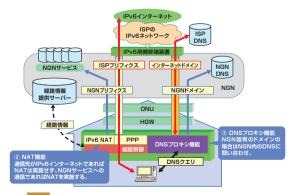


図4 IPv6アダプタのNAT機能とDNSプロキシ機能の役割

- ※1 IPv6アダプタは専用のハードウェア(BOX)である必要はありません。HGWやBBRの機能として実装も可能です。
- $\verb| \%2 https://www.ntt-east.co.jp/info-st/mutial/ngn/110721IPv6tunnel\_guide.pdf| \\$

#### NIAT機能

ISPのIPv6アドレスと、NGNのIPv6アドレスを変換する機能です。 NTT東西が提供するIPv6アダプタに実装しているNATは、チェックサ ムニュートラルなプリフィクスNATです。これは、宅内のISPアドレス を持ったIPv6アドレスを、NGNのプリフィクスを持つIPv6アドレス に、1対1でマッピングします図5。このとき、IPレイヤーだけを変換す ると、トランスポートレイヤーの擬似ヘッダーでのチェックサムに影響 が出てしまいます。これを考慮して、IPv6アドレスの末尾の16ビット で、チェックサムの再計算が要らないように調整するという方式です。

変換前IPv6アドレス ISPプリフィクス(64ビット) インタフェースID(64ビット) ISPプリフィクスを NGNプリフィクスに変換 変換後IPv6アドレス NGNプリフィクス(64ビット) インタフェースID(48ビット) 16ビット

図5 IPv6アダプタで実施するプリフィクスNATの概要

#### ③ DNSプロキシ機能

PPPoE方式では、DNSの名前解決には、ISPのDNSサーバー が利用されます。ただし、NGNのサービスやアクセス網ごとに 固有な名前解決を必須とするサービスに関しては、ISPのDNS サーバーで名前解決ができない場合があります。このため、IPv6 インターネットとNGNの両方のサービスを利用するためには、 アダプタに搭載されるDNSプロキシが端末からのDNSクエリ の内容を判断して、NGN内のDNSサーバーとISPのDNSサー バーを使い分ける必要があります 図4。

#### ④ IPv4環境への対応

IPv6アダプタ配下の端末がIPv4通信を行うことを許容するため、 IPv4のパケットとPPPoEについてはブリッジとして動作し、当該ト ラフィックをパススルーします。これにより、既存のIPv4接続環境 に影響を与えることなくIPv6インターネット環境を提供できます。

### IPv6 IPoE方式について ......

IPv6 IPoE方式では、IPoE接続事業者(VNE)と呼ばれる事業者が、 NTT東西のNGNとゲートウェイルーター(以下、GWR)を経由して接 続し、VNEが他のISPに対してローミングサービスを提供します※3。 PPPoEではISPが直接IPv6ネットワークを運用するのに対して、 IPoEではISPの代わりにVNEが代行して運用を行うという点が大 きな違いとなります。このような形態になった要因は、PPPoE方式

と違いNGNに接続できる事業者数に制限があるためです。接続可 能事業者数は、IPoE方式開始当初は3者でしたが、2012年には16者 へと拡大しています。この制限の理由については後述します。IPoE 方式では、PPPoE方式と違いマルチプリフィクスは起きません。これ は、IPoE開通の都度ユーザーに払い出されるIPv6プリフィクスを、 VNEのIPv6プリフィクスに振りなおす(以下、リナンバ)ためです。

## \_\_\_\_\_

### VNEのIPv6プリフィクスへのリナンバについて

開通させたいユーザーの回線に対し、VNFが用意した開通サーバーから開 通のための要求(以下、開通オーダー)をします。開通オーダーを受けると、 NTT東西からユーザー回線に払い出されているIPv6プリフィクスが、NGN のIPv6プリフィクス(閉域利用)からVNEが用意したIPv6プリフィクス (インターネット利用可能)に変更されます。ここでは、これを「リナンバする」 と呼んでいます。 g6 では、VNE(A社)のアドレスにリナンバしています。

リナンバされたユーザーのインターネット向けトラフィックは、GWR を経由して各VNEの網へ転送されます。この転送は、通信に用いら れるIPv6アドレスの送信元アドレスがVNFのものだった場合に、 GWRで該当するVNEのIPv6網に転送しています。この転送には、 Policy Based ルーティングを活用しています。通常のルーティング

は宛先アドレスを見て転送するため、送信元アド レスでの転送はIPoE方式の特徴の一つとなっ ています。また、GWRで転送先を判断すること から、必然的にGWRはVNE各社で同一装置を 共同利用することになります。この点もPPPoE とは大きく異なる点です。

また、リナンバされることで、IPoEユーザー間の通信 (以下、折り返し通信)が可能になります。NGNで用い られるIPv6プリフィクスは大きく分けて3種類存在 します。一つ目はNGN開通時に割り当てられるIPv6 プリフィクスです。これはNGN網内のサービス等を 利用するためのものであり折り返し通信はできま せん。二つ目はフレッツ・v6オプションを契約した

際に割り当てられるIPv6プリフィクスです。これはNGN網内サービスの ほか折り返し通信も可能となります。三つ目はIPoEを開通するとVNEから 割り当てられるIPv6プリフィクスです。この場合のみ、IPv6インターネット の利用が可能となります。これら3形態のIPv6プリフィクス間で、ユーザーの 契約に応じてリナンバされることになります。

この結果、NGNユーザー同士の通信は、インターネットを経由せずに NGN網内で行われることになります。PPPoEではユーザー同士の通 信でも必ず網終端装置を経由するのに対し、IPoEではNGN網内で 折り返すことから高速に通信が可能になるメリットもあります。一方 で、不正な通信があり対象の通信が折り返し通信だった場合、VNEだ けでは対処できず運用が煩雑になるなどのデメリットもあります。

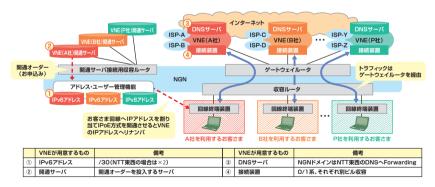


図6 VNEのIPv6プリフィクスへのリナンバの仕組み

### VNEになるために必要なもの

PPPoEと違いIPoEでは、ISPがIPv6インターネット接続をユー ザーに提供する場合、自らVNEになりIPv6ネットワークを運営す るか、VNEのローミングサービスを利用しIPv6ネットワークの運 営をVNEに委託するかの2択となります。VNEとなってNGNと 直接接続するためには、次のような要件を満たす必要があります

※3 ローミングサービス自体はIPv6やIPoFに限った話ではなく、IPv4においても広く多くのISPが採用しているビジネスモデルです。

- ① IPv6インターネット接続を全国で提供可能とする/30のIPv6アド レスの取得(東西それぞれと接続する場合は/30が二つ必要です)
- ② 開通サーバーの開発
- ③ DNSサーバーにNTT東西のドメインをフォワーディングする設定
- ④ 冗長構成としてそれぞれ別ビルでの接続

①のIPv6アドレスは、VNE数に限りがあることから、全国をカバーす る必要があるためです。③のDNSフォワーディング設定については、 NGN網内サービスを利用可能とするためです。PPPoE方式では IPv6アダプタがDNSプロキシ機能により提供していましたが、IPoF 方式ではDNSのフォワーディングにより実現しています。④の冗長 構成は、GWRをVNE各社で共同利用するため大規模な装置となっ ていて(GWRは10Gbps/100Gbpsが多ポートあります)、多くのユー ザーのトラフィックを1台の装置でカバーすることから、より一層の信 頼性が求められるためです。GWRに大規模な装置が適用可能なの は、PPPoE方式での網終端装置のトンネルを終端するという処理と 比較し、GWRでの処理が容易なためです。このため、現時点では IPoFはPPPoFと比べて、輻輳が起きにくい状況にあります。

#### -3 NGN、VNE等におけるIPv6プリフィクスごとの通信制御について

通常は、NGNではすべての回線に対し、NTT東西のIPv6アドレスを割り 当てています。開涌オーダーを投入し、IPoFインターネットを開涌させた 回線では、VNFのIPv6プリフィクスにリナンバレています。図7 にあるよ うに、NTT東西のアドレスではインターネットに通信できません。これは 送信元アドレスで判定していますが、その他にNGNではNGN網内の装置 への不正な通信や不要な通信を遮断するため、セキュリティ確保のため、 フレッツ・v6オプション未契約のユーザーの折り返し通信を遮断するた め等通信を制御する用途のために、収容ルーターでさまざまなフィルタを 設定しています。このフィルタは新たなVNEが増えると、新たなIPv6アド レス帯がNGN網内に流入するため、VNEの数に合わせて増加します。

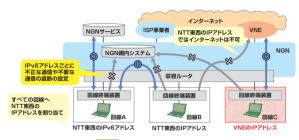


図7 NGNでのIPv6通信制御

## 

#### VNE数の制限について

IPoFインターネット接続開始当初は3者だったVNFの上限は、現在16 者まで拡大されています。先述の通り、不正な通信等を遮断する等の目 的で収容ルーターにフィルタを設定していますが、このフィルタはVNE のIPv6アドレス帯が追加されるたびに増えていきます。当然ながら収容 ルーターのフィルタリソースにも限界があり、無限にフィルタを設定でき るわけではありません。結果として、この収容ルーターのリソースがネッ クとなり、現在は16者という制限が設けられています。これを解決するに は、例えば全国にあるNGNの収容ルーターを新たな高性能な装置に更 改することなどが考えられますが、全国津々浦々まで展開されている

NGNの装置をすべて更改するのは一朝一夕でできるものではないため、 結果として16者の制限をさらに緩められる目途はたっていません。

このため、2018年3月にVNE各社が中心となって、「NGN IPoE協 議会」が発足しました。同協議会では、「IPoE方式とそれを提供する 事業者について広く知っていただくと共に、利用が容易なIPv6に よるインターネット環境を提供するためのさまざまな活動を行い、 未来に向けた産業やライフスタイルを具現化する」を理念に掲げ、 IPoE方式IPv6インターネットのさらなる普及に努めています。

# 

#### IPv6 IPoF方式でのIPv4への対応について

IPv6 PPPoEでは、既存のIPv4接続環境に影響を与えないようIPv6ア ダプタが、IPv4のパケットとPPPoEについてはブリッジとして動作させ ていました。IPoEではマルチプリフィクス状態が発生しないことから、 ユーザー宅内にIPv6アダプタのような新たな装置を設置する必要があ りません。このため、IPv6接続環境でも従来から利用されているIPv4環 境(PPPoE接続)が、そのまま利用できるという利点もあります。

一方で、IPv4はPPPoE、IPv6はIPoEとなることで、IPv4通信は PPPoE側の網終端装置を経由することになります。ユーザーの通 信が両方式にまたがって通信することで、IPv4は自社、IPv6は VNEに委託になる等運営が複雑になること、トラブル時のユー ザー対応が煩雑になることなどのデメリットも考えられます 図8。 このため、VNE各社ではIPv4通信もIPv6 IPoE側で運ぶため、

MAP-E (Mapping of Address and Port with Encapsulation, RFC 7597)やDS-Lite(Dual-Stack Lite, RFC6333)などのIPv4 over IPv6方式を提供し、この問題を解決しています。

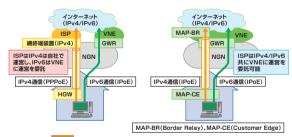


図8 IPoE方式でのIPv4通信 (MAP-Eでの例)

### おわりに

IPv6 PPPoE方式、IPv6 IPoE方式のどちらの方式においても、こ のままインターネットトラフィックの激増が続けば、各事業者が設 備投資を適切に行えるかどうかは不透明です。既に、インターネッ トは電話を超える社会基盤と言っても過言ではありません。社会 基盤としてのインターネットを継続して維持していくため、今後も 増え続けるインターネットトラフィックに対応して、ユーザーに負担

をかけずにどのように対応していくかは、ネットワークの中立性問 題と同様に業界全体の課題でもあります。今後もユーザーに快適 なインターネット環境を提供していくためには、両方の方式に関し て今後も継続して活発な検討が必要だと考えます。

(東日本電信電話株式会社山口ただゆき)