



3 キャリア IP ネットワークの最新動向

小林清澄 西日本電信電話（株） 技術部

光プレミアムネットワーク構築の背景とねらい

NTT 西日本では現在、光アクセス^{☆1}・サービスメニューとして「光プレミアム」を提供している。この光プレミアムは IPv6 を利用して構築しており、マルチキャスト機能、QoS 機能を具備している。

光プレミアムの検討は 2002 年にさかのぼる。当時、NTT 西日本では、光アクセスメニューとして B フレッツシリーズ（ファミリー 100、ビジネス、ベーシック）をすでにサービスしていたが xDSL の速度競争全盛時代であり、ADSL 技術の速度上昇が急速に進んでいた。これに伴って、光サービスとして、ADSL との差異の明確化が求められていた。

差異化のポイントとして、技術的な違いを基に、ADSL より広帯域かつ安定していることを売りにした「光ならでは」のサービスが構築できないかと模索していた。ADSL は光ファイバーを使う伝送方式に比べて伝送品質が不安定で、場所によって帯域性能が大きく異なる。場所条件に左右されず安定した広帯域アクセスを提供するには、ADSL だけでは不十分である。ADSL が不得意な性能・品質条件は市場から求められる有意な性能領域であるということを、証明してみせる必要性を感じていた。

初期の地域 IP 網は、フレッツ・ISDN サービス向けに設計・構築したネットワークで、ISDN（ユーザあたり 64kbps）のアクセス速度の想定しかなかった。その後アクセスラインの高速化に際しては抜本的なデザイン変更

は行わず、同じデザイン・技術を使った設計変更で対応してきた。しかしながら、数百万回線以上の規模で本格的に光アクセスが一般ユーザに浸透し、相応の利用が進んだ場合、高速化に伴う新たな利用スタイルにネットワークが対応していけるかどうか不安があった。そこで、光アクセスの能力を十分に引き出すべく、ネットワークのデザインを根本的に見直すこととした。

デザインの見直しにあたり、(1) アクセスラインとして「光」を使う必要があるような利用スタイル（帯域・品質）想定で(2)スケールドネットワークとして(3)廉価で提供可能であることをねらいとした。

現在の光プレミアムの概略

光プレミアムの現状を簡単に紹介する。

光プレミアムサービスの概略

フレッツ・光プレミアムのサービスは現時点で 3 種類のアクセスメニュー（ファミリー、マンション、エンタープライズ）と、主としてコンテンツ配信を想定した ASP（Application Service Provider）向けの局内接続メニュー（v6 キャスト）、ISP 接続のための ISP 向け局内インタフェースを展開している。エンタープライズタイプは 1Gbps の UNI（User Network Interface、ユーザ網インタフェース）で、ファミリー／マンションタイプは 100Mbps の UNI となっている。さらに、本格的な常時接続との位置付けから、セキュリティ対策機能とテレビ電話機能を基本機能として提供している。

また同時に、フレッツ・ADSL と B フレッツ各サービス向けに IPv6 コネクティビティを付加サービスとして追加し、光プレミアム・シリーズと同じ IPv6 を使ったアプリケーション機能群（v6 アプリ）を利用できるようにした（図-1 参照）。

☆1 アクセス：利用者とは局舎の物理区間を指す。この区間に設置される、主としてレイヤ 2 の機能を持った通信機器をアクセス装置と呼ぶ。使用するアクセス装置や利用構成により提供される機能や性能が異なり、その違いが事業者が提供するサービスの主な特徴となっているサービス・メニュー群を「アクセスメニュー」と呼ぶ。

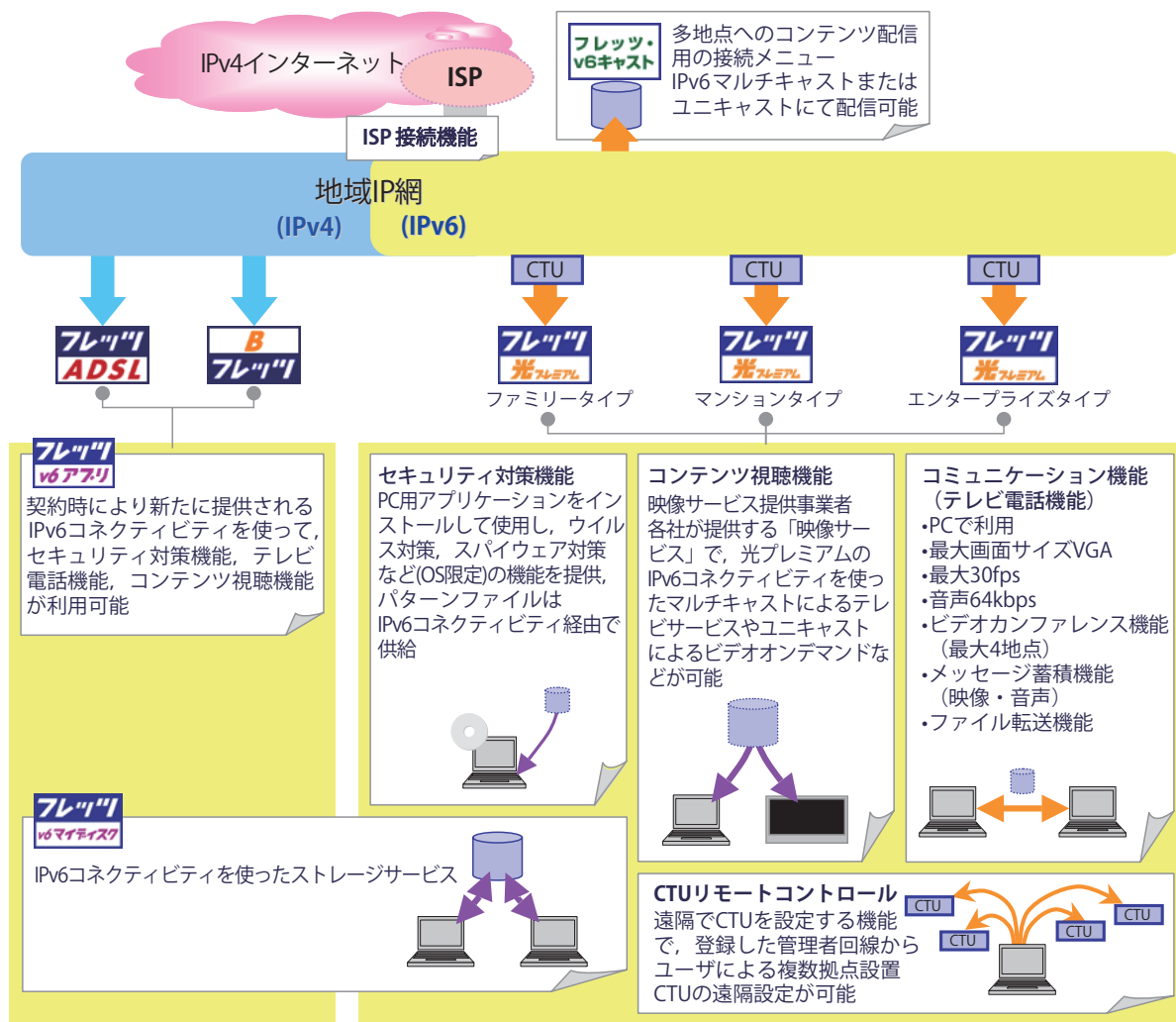


図-1 フレックス・光プレミアムサービス概要

光プレミアムネットワークの概略

フレックス・ISDN以降Bフレックスシリーズに至るまでの各サービスは「地域IP網」(以下、地域IP網(v4)と表現)で実現している。光プレミアムの各サービスは「地域IP網」をIPv6化した「地域IP網(v6)」上で実現している。

IPv4とIPv6いずれの地域IP網も基本的にはレイヤ3ネットワークとしてデザインしている。地域IP網(v4)のアクセス部はレイヤ2ネットワークとしてデザインしている。光プレミアムのために拡張した地域IP網(v6)では、ユーザ宅内にCTU^{☆2}(Customer Terminal Unit)を配置し、アクセス部も含めたレイヤ3ネットワークとしている(図-2参照)。

☆2 CTU：加入者終端装置。宅内で回線終端装置の直下に接続するIPv6ルータ装置。QoS動作を行い、トンネル終端機能等のブロードバンドルータ相当の機能も持つ。

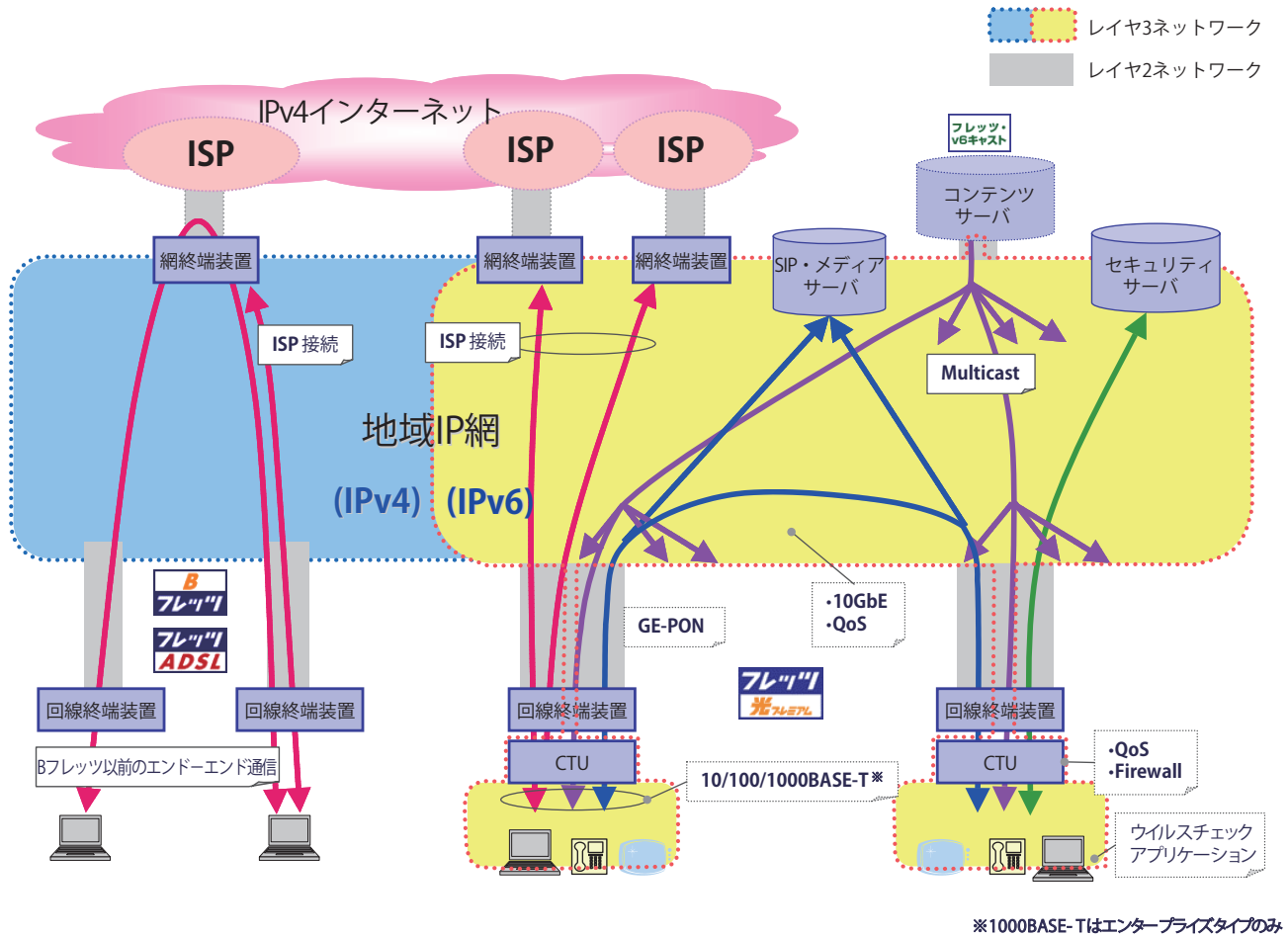
光プレミアムネットワークのコンセプト

光プレミアムネットワークの主なコンセプト・考え方について紹介する。

「使い勝手」についての考え方

各回線が発生させる想定トラフィックパターンについては、ユーザの個人差が大きいことと、依然として利用スタイルの変化が激しく、かつそれがトラフィック側面でも大きな変化を伴っているため、議論が絶えない。そもそも想定可能なのか、あるいは想定することは妥当か、という論点もある。

転じてこの話題には、「みんなが使うと混みあって使えない」のはどの程度許されるか、あるいは許されないか、といった「程度」議論がある。このような目標品質は、集線率の決定や、ネットワークデザインに影響するため、何らかの答えを出しておく必要がある。



※1000BASE-TIはエンタープライズタイプのみ

図-2 光プレミアムネットワークの概略構成

設備およびサービスの寿命を相対的に長く設定したデザインとするには、想定する利用スタイルを思い切って単純化する(たとえば、ヘビーユース側に倒した)割り切りが必要である。単純化するかどうかは、混んでいて「使えない」状態の出現について割り切るか、極力出現しないようにするかの判断ともいえる。光プレミアムのデザイン時は、「使えない」状態を極力出現しないようにするべきだと考えた。

機能配備の考え方

地域 IP 網 (v4) では、收容局等に設置されるエッジ装置にトンネリングや各種フィルタリング等の機能を集約して実装してきた。実は、このアーキテクチャだと、ユーザあたりの帯域が数百 kbps 程度以下で、新機能追加等の要求頻度が少ないケースではコストメリットが得られたものの、広帯域化の要求や多様化する新たなニーズに応えるための機能要求に柔軟かつ低コストで対応するには限界があった。

そこで、地域 IP 網 (v6) では收容局のエッジ装置への機能要求を簡素化することで、コストパフォーマンス向

上あるいは広帯域化することを目指した。具体的にはトンネル終端やフィルタリングといったネットワーク機能の一部を宅内装置 (CTU) に具備することとした。このデザインにより CTU の CPU リソースを有効に活用し、柔軟な機能拡張が可能になると考えた。

装置実装に対する考え方

地域 IP 網 (v6) は地域 IP 網 (v4) 同様、標準的なプロトコルの組合せによる方式、比較的入手が容易で選択肢のある装置で構築されている。

サービスの継続性を考慮すると、使用する装置が長く使い続けられること、あるいは、同等以上の機能を有する装置で置き換え可能とすることは、キャリアにとって至上命題である。しかも、これらは低コストで実現できなければならない。そのためには、標準的なプロトコルの採用と、普及した実装を組み合わせるネットワークアーキテクチャを採用し、汎用度を確保することが重要であると考えた。

光プレミアムネットワークを支える 技術要素

光プレミアムネットワークを構成する主な技術要素・特徴について紹介する。

IPv6 の採用

光プレミアムネットワークで IPv6 を採用した理由は、主としてアドレスが豊富に利用できるためである。

IPv6 であれば、個人ユーザに対しても、ホームネットワーク全体に利用できる 1 つまたは複数サブネット分のアドレスを割り当てる^{☆3} ことができる。各装置へのグローバル IPv6 アドレスの割り当ては、アドレスの節約を目的とした NAT^{☆4} (Network Address Translation) 等の処理制約をなくし、エンドーエンド・コミュニケーションの断絶を回避可能にする。このことは IPv6 の技術的優位性を意味する。

また、IPv4 の経験を踏まえ、IPv6 では実装や運用を考慮したデザイン（固定長ヘッダやサブネット設計を不要とする下位 64bits 空間）がなされており、装置・運用コストを抑えられる可能性がある。現在の IP ネットワーク利用形態においても、今以上にネットワークアプリケーション（パソコン用途や IP 化機器）が増加した場合でも、IPv4 と同等かそれ以下のコストでサービスを実現できるであろうと考えた。

光プレミアムではインターネットを含め汎用的な IP ネットワークの用途（アプリケーション）拡大と整合するよう、IPv6 のみでネットワークを構成するコンセプトを基本とした。

雑多なコネクティビティニーズに対し、個々にネットワーク条件の自由度を認めると、相互の干渉を防ぐための機能・装置追加や、提供リソースを個々に確保するこ

とが必要となる場合があり、分割損による帯域のコストパフォーマンス悪化等が懸念される。コストを抑えた広帯域なネットワークの実現には、1 つの IP ネットワーク上で皆が Pure-IP^{☆5} (Native-IP とも言われる) を使う場合が最も有利となる。Pure-IP としての IPv6 採用は、この点の改善の意味もあった。個別なネットワーク条件は、基本的に Pure-IP 上で VPN^{☆6} (Virtual Private Network) 技術により実現する方向性とした。

それまで、フレッツの主たる機能であるトンネルによる接続では、トンネル終端点より手前でネットワーク内を折り返すことができず、必ずトンネル終端点までいったん届けられていた。このため、最終的に同じフレッツユーザに到達するパケットであっても必ず網終端装置を経由しなければならず、転送効率を上げることができなかった。これを改善するにはパケットが最適な経路を通るようにするしかなく（図-3 参照）、光プレミアムでは IPv6 で、トンネルベースではない Pure-IP をベースネットワークとして構成し、最短経路転送を可能とした。さらに、マルチキャストによるさらなる通信の効率化（後述の「IPv6 マルチキャスト」参照）と常時接続・固定アドレスの採用（後述の「常時接続・常時固定アドレス」参照）、トンネルのアーキテクチャ変更（後述の「トンネルのアーキテクチャ変更」参照）などを行った。

光プレミアムでは可能な限り IPv6 を採用した。エンドーエンドで通信する IPv6 通信（高品質テレビ電話、ファイル共有、セキュリティソフトのアップデート等で使用）のほか、コアネットワーク内のルーティングプロトコル、DNS、トンネルプロトコル、マルチキャストプロトコルは IPv6 ベースで実現している。

IPv6 のスケールがもたらすオペレーションコストの抑止

大規模加入者収容ネットワークで IPv4 をユーザ（加入者）に割り当てる場合、サービスの開始以降、徐々に加入者数の増加傾向に地域格差が出てくる。グローバル IPv4 アドレスを使う場合はアドレス利用率を高く維持する必要があり、ネットワーク事業者は加入数の増加にあわせてアドレスのリナンバリングを実施することになる。

キャリアの視点からは、IPv6 だとサービス開始当初から比較的まとまったグローバルアドレス空間を使用できるため、オペレーションにインパクトの少ないアドレス設計が可能という点も大きなメリットである。具体的には、アドレス利用率を向上させるためのアドレスリナンバリング等プロビジョニングと運用にかかわるコストを低減できる点が挙げられる。また、固定的なアドレス割り当てが可能となるため、アドレスによるユーザ管理への道が開ける。加入回線単位で管理する場合は割り当て

☆3 アドレスを割り当てる：あるアドレス空間から 1 つまたはサブネットと呼ばれる部分アドレス空間を、特定の利用者ないしは装置（群）が専有的に利用するものとして区別して管理する行為。これに対して、アドレスを「払い出す」行為は、「割り当て」られたアドレスのすべてまたは部分を、実際に装置に伝える行為を指す。「割り当て」と「払い出し」を同義として使う場合もあるが、本文では区別して使用している。

☆4 NAT：インターネットに接続する家庭や企業などで、1 つのグローバルアドレスを複数の装置（コンピュータ）で共有するために作られた技術。家庭や企業内部でのみ使用するローカルアドレスをグローバルアドレスに付け替えることでインターネット上の装置との通信を可能にする。アドレスに加え、TCP や UDP のポート番号を変換する NAPT (Network Address Port Translation) という技術もある。本文の「NAT 等」は NAPT を含む。

☆5 Pure-IP：トンネルなどの冗長な技術を用いない IP コネクティビティ。たとえば、物理インタフェースとして Ethernet を使っている場合は、Ethernet プロトコル上で IP プロトコルが動作している状態を指す。

☆6 VPN：仮想私設通信網。あるネットワーク上で構築される、論理的に独立したネットワーク。

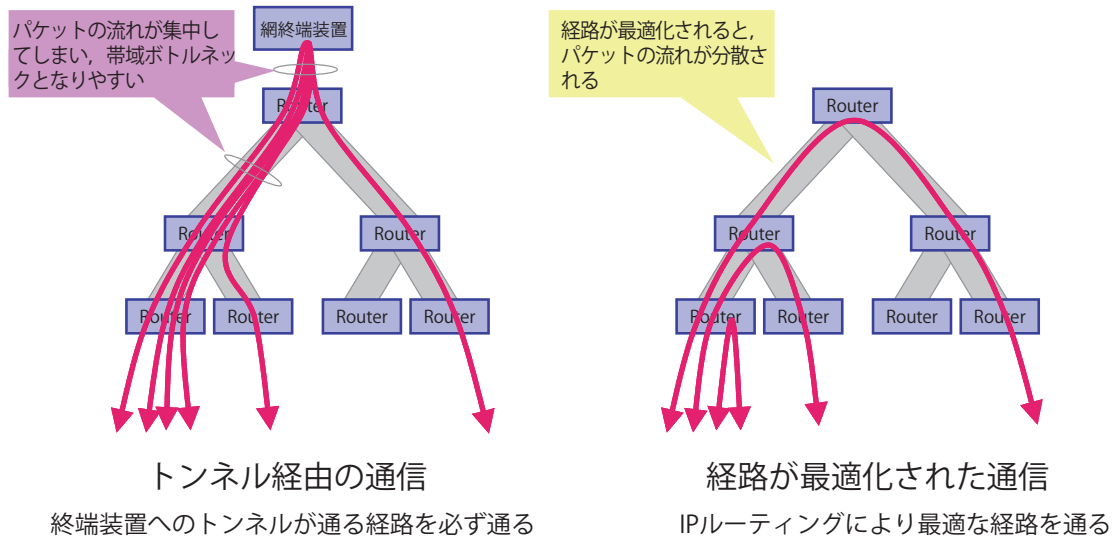


図-3 経路最適化のメリット

たプレフィクス単位で識別し、さらに装置単位の管理には下位 64bits を含む 128bits 全部を固定設定したアドレス運用を行うことで、回線と装置の階層化管理が可能となる。アドレスによるユーザ管理が可能になれば管理コストの低減も期待できる。

ホームネットワーキング

IPv4 ではユーザネットワーク内のサブネットのデザインと割り当てたアドレスをキャリア側から把握することは困難である。IPv6 ならばプレフィクス単位でアドレスを払い出すことにより、事実上ユーザネットワークのサブネット構成に関して、IPv4 よりキャリア側のアドレス管理を大幅に軽減することができる。IPv6 ではサブネット空間の大きさや数を気にする必要は少なく、家庭用であっても複数のサブネットを構築することが容易である。また、回線につながれたユーザネットワーク上の複数の機器を識別し、遠隔からサービスを提供しようとする場合、ユーザネットワーク内部で潤沢なグローバルアドレスが利用できる IPv6 が望ましい。

IPv4 で NAT (1:n 型) 越しにエンドーエンド通信すること自体は技術的には可能であり、ユーザサブネットにグローバルアドレスを割り当てる必要はないという意見もある。しかし、NAT 実装が対応していないプロトコル(様式)では、正しい通信のマッピングができないといった問題が発生する。通信を成立させるには、そのつど NAT 装置に機能を追加し、NAT が上位レイヤの通信プロトコルを認識できるようにする必要がある。それでもなお、NAT の動作上、プロトコル利用に制約が残る場合がある。NAT では対応可能なプロトコルに制限があり、実質的にアプリケーション実装の自由度が奪われてしまう。プレフィクス単位でのアドレス払い出し^{☆7}は

DHCPv6-PD (Prefix Delegation)²⁾を用いて実装している。IPv6 では 1 サブネットが 64bits 長(以下、サブネット長を "/64" などと表記する)だが、これより短いプレフィクス長でアドレスを割り当てることにより、複数のネットワークアドレス数をまとめて払い出し、ユーザネットワークで利用することが可能となる。

光プレミアムでは当時のインターネットレジストリの IPv6 アドレスに関するポリシーに則り、回線あたり "/48" でのアドレス割り当てを行うこととした。

網内では宅内装置である CTU に対して収容局設置ルータから DHCPv6-PD により "/48" の払い出しを行っている。"/48" を受けた CTU は、IPv6 の NDP (Neighbor Discovery Protocol)¹⁾ により LAN ポートに接続した装置群にそのうちの 1 つの "/64" をネットワークアドレスとして通知する。さらに、CTU の LAN 側ポートに DHCPv6-PD リクエストを行う IPv6 ルータを接続することで "/52" のサブネット払い出しを行い、サブネットを多段に追加することも可能である。ユーザは複数の IPv6 アドレス、複数のサブネットを利用可能だが、キャリアは回線ごとに割り当てている "/48" を管理するだけで、それ以上の細かなアドレス管理は必須ではない。

IPv6 ルータとして動作する CTU は、ホームネットワークの出入り口として、基本的なパケットフィルタリング動作が可能である。SPI^{☆8} (Statefull Packet Inspection) 動作も可能で、ホームネットワーク全体の保護を目的とした基本的なフィルタ動作を実行できる。

☆7 「払い出し」：前出の「アドレスの割り当て」脚注を参照。

☆8 SPI：双方向にパケットをやりとりする通信プロトコルでは、一連のパケットに順序性がある。この順序性に着目して通す/通さないといったフィルタリング制御を行うこと。

常時接続・常時固定アドレス

Web 閲覧のような、サーバクライアント形式以外のアプリケーション、特に双方向通信アプリケーションを利用しようとする場合、常時接続ネットワークか、あるいは必要時に接続機器とネットワーク側機器の双方から接続する機能（かつてのダイヤル・アップとダイヤル・アウト）^{☆9} が求められる。また、前提として、ピア側が接続先アドレスを知っている必要がある。このことから、双方向型アプリケーションによるネットワーク利用を促進するためには、常時接続であり、不変のアドレスを持つネットワークコネクティビティが望ましい。

アドレスについては常時固定した場合、セキュリティ上の問題、特に DoS (Denial of Service) アタックを受けやすいという指摘がある。しかし、相手の指定には実質的に恒常的なラベルが必要であるため、DoS 攻撃を完全に防ぐことは困難であり、DoS 攻撃しにくいような仕組みを用意することで脅威の度合いを下げるしかない。

アドレス割り当てについて、固定と非固定という方向性の異なる 2 つの要件に対し、利便性あるいはコスト面の現実性を考慮すれば、アドレスを「固定」として使えるようにしつつ必要に応じてアドレスを変更して「非固定」的に使うことが 1 つの案として考えられる。幸い IPv6 の下位 64bits という空間はそれが可能なデザインとなっている。プレフィクスは(ある程度)固定的に割り当てておき、残りの下位アドレス部の使い方を工夫することで固定～非固定的な使い分けが可能となる。セキュリティ強化の向上には Firewall など他の技術の適用も重要であり、何よりポリシーの定義と運用が肝要である。これらのことから、光プレミアムでは固定的なプレフィクス割り当て方針を採用し、「常時固定アドレス」を用いた運用が可能となるようにした。

従来のフレッツサービスで、利用者が接続時に使用するプロトコルである PPP や PPPoE でも、理屈の上では「張りっぱなし」とすることで常時接続にできる。しかし、常時接続では接続・切断といったセッションの性質を使わないため、PPP/PPPoE を利用するメリットは少なくなる。また、PPPoE は IP over Ether 並みに実装が普及しているが、歴史的に「無通信時などは切る」という実装オプションも普及している。実は、事業者の観点から見れば、このオプションの存在のため、レイヤ 3 として「回

線が切れているかどうかの状態判断」を行うことが難しく、ADSL や光系の PON (Passive Optical Network) 装置等アクセス装置^{☆10} が持つレイヤ 2 までの状態把握機能を使わざるを得ないという側面がある。そのため、故障時の切り分けにおいて、簡単にレイヤ 3 の状態を確認することができず、下位レイヤを含む複数の状態監視をつなぎ合わせて推測することになる。このように、常時接続としてより安定して使いたいケースでは、PPP はトラブル時の切り分けや状態管理では余計なハンドリングコストが必要であり、認証機能以外は本質的に PPP パケットを作る処理コストが冗長となってしまう。光プレミアムでは以上を総合的に考え、これらのコストや冗長性を排除可能な IP over Ether を基本とするデザインを採用した。

IPv6 マルチキャスト

広域にマルチキャストが利用可能な大規模ネットワークは過去にはあまり例がない。IPv6 ではアドレスが潤沢なためマルチキャストが利用可能な大規模ネットワークを構築運用しやすい。マルチキャストルーティングプロトコルには PIM^{3), 4)}、DVMRP⁵⁾ などがあり、マルチキャストグループへの参加離脱要求には MLDv1⁶⁾、MLDv2⁷⁾ が用いられる。プロトコルを選択する際、実装が成熟しているか（あるいは早期に成熟しそうか、業界標準になりそうか）どうかも実ネットワーク設計の際には重要な要素であるが、光プレミアムでは PIM-SSM と MLDv2 を採用した。

PIM には PIM-SM³⁾ と PIM-SSM⁴⁾ がある。それぞれ ASM (Any Source Multicast)、SSM (Source Specific Multicast) とマルチキャスト方式が異なる。さらに IPv6 では ASM と SSM でマルチキャストのアドレススコープが異なり使用すべきアドレス空間そのものが異なる。MLDv1 と MLDv2 もそれぞれ ASM、SSM モデルに基づいたデザインとなっている。ごく最近まで多くの PC に搭載されている OS は MLDv2 をサポートしていなかった。このため当時の実装状況のみを考慮すると PIM-SM と MLDv1 の組合せが自然な選択肢であった。

しかしながら、SSM ではソースアドレスとグループアドレスのペアでチャンネルを表現できるため、ASM と比較してチャンネル表現の自由度が高いという利点がある。またネットワーク内部の事情として、PIM-SM では RP (Rendezvous Point) というマルチキャストの送信側と受信側の分水嶺という重要な役割が必要となる。RP は転送処理上ボトルネックとなるケースが多い。またマルチキャスト配信における配送ルートの 2 重化という観点でも、RP の 2 重化はオペレーション面で困難が多い。他方 PIM-SSM ではマルチキャストの送信側アドレスも

☆9 ダイヤル・アップとダイヤル・アウト：電話網を経由して接続サーバ装置(リモート・アクセス・サーバ)に接続する際、接続クライアントから「発信」して接続する行為を「ダイヤル・アップ」、接続サーバから「発信」して接続する行為を「ダイヤル・アウト」と呼ぶ。ダイヤル・アウトは機能・概念としては存在したが、ほとんど利用されなかった。

☆10 アクセス装置：前出の「アクセス」脚注を参照。

ルーティングプロトコルとして一緒に伝えられ RP が不要であるためスケールおよびオペレーション面で有利であった。

以上のような事情と、商用サービス開始後のプロトコル変更は膨大なコストがかかり困難を極めること、IPv6 マルチキャストでは PIM-SSM と MLDv2 が将来ポピュラーな実装になるとの予測に基づき、当時の実装状況においてはチャレンジングな選択を行った。

QoS

光プレミアムネットワークでは QoS 機構として優先制御 (Priority Queuing) と公平制御 (Fair Queuing) を実装している。優先制御は地域 IP 網 (v6) コアとレイヤ 2 アクセス網に、公平制御はレイヤ 2 アクセス網に実装している。

優先制御により混雑時でもクリティカルなパケットがほぼ落ちなくなり、ネットワークの安定性を向上させることができる。優先制御は Diffserv を採用している。

レイヤ 2 アクセス網はアグリゲーションが初期段階でリソースを共有する回線数が比較的少ない。合計の回線使用率がある程度以上だと統計多重効果が十分に働かず、この区間では回線間相互の影響が大きくなり得る。このような状況では加入者が享受するネットワークのパフォーマンスが不確定で、場合によっては共有回線数分の 1 の帯域も使えない状況が発生し得る。このようなトラフィック同士の競合への対処として、レイヤ 2 アクセス網に公平制御を実装し、最低でも共有回線数分の 1 の帯域を享受可能とする(すなわち最低保障帯域)ことで、回線間の性能の偏りがある程度にとどめている。

レイヤ 2 アクセス網では優先制御も実装しているが、これは加入回線内で優先制御 (VLAN 内 PQ (Priority Queuing)) を行い、加入回線間では公平制御 (VLAN 間 FQ (Fair Queuing)) を適用する構成をとっている。FQ の配下に PQ を構成することで、PQ の利点を活かしつつ FQ による明確な性能品質管理が可能となる。

アクセス帯域設計～広帯域アプリケーションへの備え

2003 年前後にネットワークを使った放送や VoD サービス (いずれも標準テレビ画質 SDTV 想定が主) が話題になった。光プレミアムもこれらが可能なデザインを目指した。当時は MPEG-2 でレートが 4Mbps 程度の映像品質が流せるべきだと考えられていた。この映像レートをネットワーク上で実際に流すとするとパケットレベルでは約 4.5Mbps (MPEG-2 TS) の帯域となる。ネットワーク設計時はジッタや多少のバースト性を考慮すると 4.5Mbps+ α で考える必要がある。

当時の光プレミアムネットワーク検討ではマルチキャストでもユニキャストと同様に帯域を消費するレイヤ 2 アクセス網区間で、上述の MPEG-2 がどのような状況でも少なくとも 1ch 分は流せる帯域設計となるよう、収容設計を考えた。

光プレミアムネットワークでは、最大収容状態かつ最大利用状態 (いわゆるワースト条件) で品質を評価する。実際の設備にはユーザが収容されていない回線 (空き回線) が存在し、ある程度時間をかけて収容率が上昇してゆく。収容率を上げれば設備効率が高まるが、そのような運用には限界がある。いったん収容した装置を変更するのはユーザに迷惑がかかる上、手間としても大変なため、可能な限り避けるような運用を行っている。

トンネルのアーキテクチャ変更

フレッツサービスで提供している ISP 接続や CUG^{☆11} (Closed Users Group) など数々の VPN 形態による IPv4 コネクティビティは、IPv6 上で実装されるトンネルによりオーバーレイネットワークとして動作させることとした。

それまで ISP 接続などのインタフェースとして採用されていた PPPoE はレイヤ 2 プロトコルであり、単体では LAN セグメントを越えることができない。PPPoE で広いエリアから PPP 終端装置に対し広域に集約をかける場合、別のプロトコルを使用して PPP パケットを運ぶ必要があり中継処理を行う装置が必要となる。この装置で回線あたり PPPoE を複数本張れるようにするには、たとえ張らない状態でもそれに応じた能力を用意しておく必要がある。結果的に PPPoE のセッション処理能力が装置の利用可能な能力を決めることが多く、PPPoE を中継する集約装置の非効率性の原因となっていた。

光プレミアムでは、トンネルも IP 上で動作させることとしたが、当時、PPPoE の代わりとなるほどに普及した適切な IP ベースのトンネルプロトコルがまだなく、加入者側のトンネリング終端は CTU で行うことにした。実際にやってみて、トンネル終端のような処理を CTU として回線個別に分散してリソース配置する方式は、集約した装置を置く方式より設備効率が良いことが確認できた。

10GbE の採用

今現在では 10GbE (10GigabitEther) は一般的であり、広く利用されているが、光プレミアムネットワーク構築当初はこのインタフェース採用いかんは議論対象だった。1Gbps のアクセスインタフェース (GE-PON) を集約して

☆11 CUG: 特定の利用者だけが利用可能な情報サービス。転じて、グループ外に知られずに情報のやりとりが可能な利用者グループや、そうした通信サービスも指す。

1Gbps のリンク速度へ流そうとした場合、享受できる統計多重効果には限度がある。リンクアグリゲーションを使い n 本の 1Gbps としても、フロー単位で捉えればピーク帯域は 1Gbps である。1 フローでの帯域消費が大きい場合やあるリンクにトラフィックが集中してしまった場合では、10Gbps のリンク速度は 1Gbps に比べ相対的に統計多重効果が大きく、レイテンシなどの品質の向上が期待できる。

1 フローでの帯域可能消費を考慮すれば、ピークが 1Gbps クラスのアクセスメニューを提供するには、1Gbps のリンク区間が多いと品質の維持が難しくなる可能性がある。

最終的に非常に多くの回線を収容することを想定すれば、いずれ増速が必要なタイミングがくる。10GbE のコストが n 本分の GbE 相当だとすると、それまでは必要以上の設備投資となるが、増速の工事作業コストがしばらくかからないこと、相応の帯域管理監視コストが軽減されること、ファイバー（ないしは波長）数が少なく済むなどのメリットも多く、十分検討の余地がある。NTT 西日本ではネットワークの構築規模が大きく、プロビジョニングコストも大きな負担となるため、光プレミアムのコアネットワークはすべて 10GbE で構成した。

終わりに

本稿では、キャリアの現ネットワークとして、光プレミアムサービスのインフラである地域 IP 網 (v6) のデザインを、検討段階の議論を交えて紹介した。

光プレミアムの検討・構築・運用を通じて、(1) 広域かつ大規模ネットワークに IPv6 は有利であること、(2) ネットワーク性能として高性能・広帯域は重要な要素であり技術革新によりコストの低廉化が可能であること、を実感できた。キャリアネットワークにおける IPv6 のメリットは十分にあるといえる。

IPv4 ではアドレス利用効率が至上課題だが、IPv6 ではその潤沢さゆえ、アドレス設計が容易であった。(動的に払い出すなどして) 利用率を高くした場合ネットワークとしてのアドレッシング作業・管理と付随する経路マネジメントに負担がかかる。IPv6 ではそれが軽減される。また、固定割り当てしたアドレスによるユーザ管理、階

層化アドレッシングによるネットワーク管理が実現でき、レイヤ 3 での統一的なオペレーションが展望できた。

さらに、ユーザの利用度合いの個人差による影響を排除してゆくことにより、可能な限りプロビジョニング要素を少なくした。以上のような要素によりオペレーションコストの削減可能性を広げることができた。

IPv6 マルチキャストを含め、実用的な帯域余力を持ったネットワークコネクティビティを提供できたことで、より安定した映像配信がサービス可能なプラットフォームとして提供できた。

IPv4 ベースのアプリケーション、サービスを完全に救済しながら IPv6 ベースのネットワークを構築できることが証明できた。また、IPv6 で常時接続環境を提供するにあたり、CTU に Firewall 機能を具備、OS 限定ではあるがパソコン用ソフトによるウイルス等チェック機能を提供し、高速広帯域の特性を活かすべく IPv6 で動作する高品質映像コミュニケーションソフトを用意した。

今後の技術テーマとしては、常時接続に対応したホームユースにふさわしい Firewall 機能、セキュリティ機能のさらなる強化や、高性能、広帯域要求への対応 (エンドエンドで全リンクの Gigabit 化とジャンボフレーム対応) が考えられる。また、広がりつつある IPv6 環境を活かしたアプリケーションの登場にも期待したい。

参考文献

- 1) Narten, T. et al. : Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6), RFC2461, IETF (1998).
- 2) Troan, O. et al. : IPv6 Prefix Options for Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) version 6, RFC3633, IETF (2003).
- 3) Estrin, D. et al. : Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM) Protocol Specification, RFC2362, IETF (1998).
- 4) Bhattacharyya, S. : An Overview of Source-Specific Multicast(SSM), RFC3569, IETF (2003).
- 5) Waitzman, D. et al. : Distance Vector Multicast Routing Protocol, RFC1075, IETF (1988).
- 6) Haberman, B. et al. : Source Address Selection for the Multicast Listener Discovery (MLD) Protocol, RFC3590, IETF (2003).
- 7) Vida, R. et al. : Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6, RFC3810, IETF (2004).

(平成 18 年 9 月 14 日受付)

●小林清澄 | kiyosumi.kobayashi@west.ntt.co.jp

西日本電信電話(株)技術部技術部門長。1981年東京大学工学部電子工学科卒業。同年、日本電信電話公社に入社し、1982年より技術局交換部門デジタル交換担当にて D60、D70 形デジタル交換機の実用化開発に従事。1999年日本電信電話(株)ネットワークサービスシステム研究所にて新ノード交換機の実用化開発に従事。2000年より西日本電信電話(株)技術部、2001年より現職。IP ネットワークの開発導入に従事。

