

2 IPアドレス管理の最新動向と 研究開発に対するインパクト

The Leading-edge Trend of IP Address Management and Its Impact on the Research and Development

荒野高志 ((株)インテック・ネットコア)

前村昌紀 ((社)日本ネットワークインフォメーションセンター)

IPv6 技術の研究開発、標準化、普及進展はアドレス管理政策に影響を与えるだけでなく、逆に IPv4 アドレス枯渇などアドレス管理的な側面からも影響も受けている。たとえば IPv4 アドレス枯渇に伴い、従来 IETF で想定していたような IPv4 グローバルアドレスと IPv6 グローバルアドレスの共存技術だけでなく、IPv4 アドレスが不足しているという前提での共存技術が必要になっている。また、広大な IP アドレスを提供可能な IPv6 の特徴を活かした IP アドレスポリシーが制定されており、新しいシステムアーキテクチャの研究開発が進められつつある。本稿では IP アドレス管理の最新動向と、そのもたらす技術的なインパクトについて解説を行う。

はじめに

IPv4 に代わるべき新プロトコルとしての IPv6 の標準化は、元々 1990 年前半での IPv4 アドレス枯渇議論に端を発している。当時、そのままのアドレスの配分のやり方では 2005 年前後に枯渇するであろうと言われていたが、(1) IP アドレスの分割・配分の単位を細分化する、(2) プライベートアドレスや NAT (アドレス変換技術) の使用を推進するという延命策とともに、(3) 新しいアドレス体系を開発するという考え方に従い、IPv6 が開発されたのだ。以降、アドレスの配布とそのルールを決めたアドレスポリシーなどのアドレス管理の側面は、IPv6 の研究開発や普及進展に相互に影響を与え続けてきた。

本稿ではアドレス管理の最新動向を報告し、それがどのように研究開発と関係してきているかについて解説を行う。まず最初に最近、再び話題となってきた IPv4 アドレス枯渇の問題を取り上げる。2010～11 年という予測年の検証や、その影響度や対応策について、また IPv6 共存の課題について論じる。次に IPv6 アドレスポリシーを概観し、最後に IPv6 アドレスポリシーの中の 1 つの特徴、クローズドネットワークに対してもグローバルユニークなアドレスを割り当てることが可能であるという点について、その技術面、応用面からの議論を行う。

IPv4 アドレス利用の現状と枯渇に対する対応

IPv4 アドレス利用の現状と在庫枯渇

インターネットに接続するために利用される IP アドレスはグローバル IP アドレスと呼ばれ、IANA^{☆1} による源泉管理の下、5 つの地域インターネットレジストリ (RIRs^{☆2}) を通じて管理、分配されている。IP アドレス分配に関するルール、IP アドレスポリシーはそれぞれの RIR において事業者・利用者を中心としたオープンなプロセスを通じて制定されるが、5 つの大方針一意 (Uniqueness)、登録 (Registration)、集成 (Aggregation)、節約 (Conservation)、公平 (Fairness) に沿っている¹⁾。IP アドレスを必要とする者は、インターネットレジストリに対して、実際のネットワーク構築に沿った IP アドレス利用計画を提出する必要があり、インターネットレジストリではこれを精査した上で、おおむね 1 年間の需要を満たす数の IP アドレスの分配を行う。

特殊用途などを除いた分配可能なユニキャスト IPv4 アドレスは /8 (スラッシュ 8、全 IPv4 アドレス空間の 256 (2⁸) 分の 1、旧 class A アドレス相当) の数で 220 個あり、2007 年末現在で未分配の在庫が 42 個ある (図-1)。近年 IPv4 アドレスは年間 /8 10 個以上のペースで消費され (図-2)、ペースは速まる傾向にあるため、あと数年で分配可能な IPv4 アドレスの在庫がなくなるとされている。これを IPv4 アドレス在庫枯渇と呼ぶ。

APNIC^{☆3} の Chief Scientist、Geoff Huston は自身の Web サイト²⁾ で過去の割り振り履歴をもとにした独自のモデルによって IPv4 アドレス在庫枯渇時期の予測を行っており、2010 年から 2011 年に在庫枯渇が起これとされている。JPNIC では、この在庫枯渇時期予測の検証の

☆1 Internet Assigned Numbers Authority. <http://www.iana.org/>

☆2 Regional Internet Registries.

☆3 Asia Pacific Network Information Centre. アジア太平洋地域を管轄する RIR. <http://www.apnic.net/>

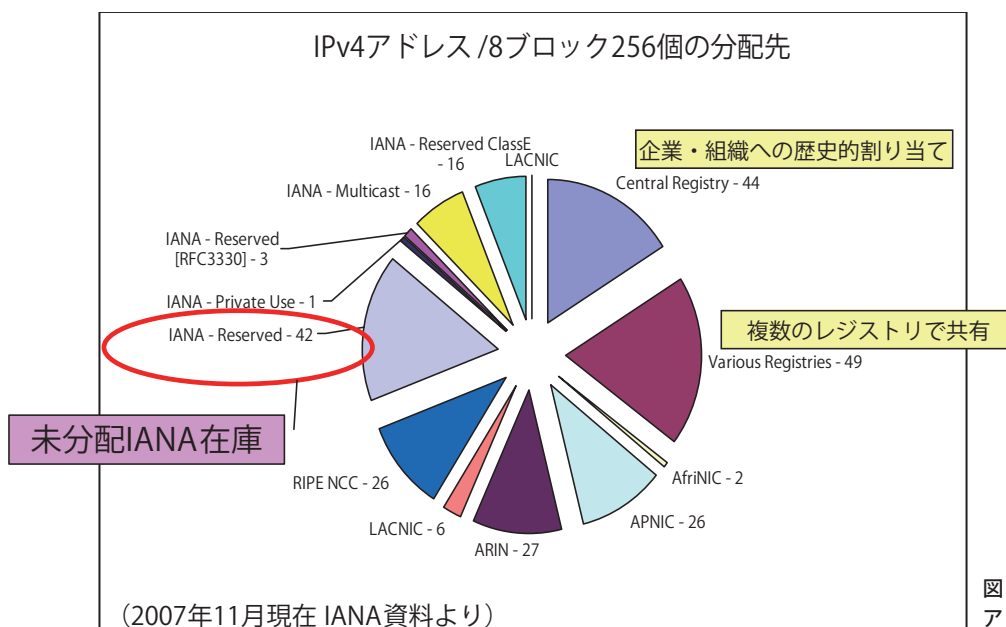


図-1 現在のIPv4アドレス分配状況

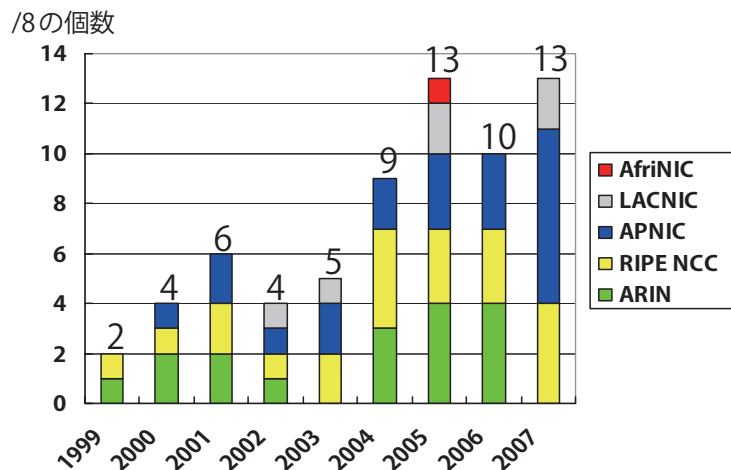


図-2 IANA から RIR への IPv4 割り振り推移 (2007年12月末現在)

ため、分配履歴に加えて経済指標を導入した独自の予測を行った。その結果、Hustonのものと同様の予測時期を得ている。

IPv4アドレスの在庫が枯渇し新規に分配されなくなると、新たなインターネット利用者や各種サービスを実現するサーバをインターネットに接続することができないため、何らかの対処が必要である。

IPv4 アドレス在庫枯渇の対応策

IPv4 アドレス在庫枯渇に対して、インターネットサービス事業者(いわゆるISP、以下「事業者」と記述)がとることができる対応策は、以下の3つからの選択・組合せに集約される。

- ①(自網内からの捻出や再分配アドレスの利用等)何らかの手段でIPv4アドレスを確保する
- ②プライベートIPv4アドレスを利用して新規利用者・

サーバを収容し、NATを介してインターネットに接続する

- ③ IPv6により新規利用者・サーバを収容する

IPv4アドレスの在庫枯渇以降、事業者が新規利用者・サーバを収容しようとする限り、これらのいずれかを採用する必要がある。いずれの対応策もコストが発生するが、事業者はそれぞれの置かれた事業環境に応じて、これらの選択・組合せを判断することになる。

①は、アドレスの捻出ができさえすれば、技術的な処置なしに展開が可能というメリットがあるが、捻出に限界があるため時限的な対応策となる。

②は、現在一部のCATV事業者でインターネット接続サービスとして提供されている形態であるが、大手事業者における展開にはスケーラビリティに課題がある。また、グローバルアドレスによるサービスに比べ利用上の制約が多いとともに、利用者がホストネームから解決さ

C/S 型通信における適用評価

サーバ クライアント	① IPv4 を調達 (既存 IPv4 サーバ)	② プライベート IPv4 アドレス+ NAT	③ IPv6 対応	クライアント側 適用評価
① IPv4 を調達 (既存 IPv4 利用者)	◎ (ネイティブ)	×	△ (クライアント側 トランスレータ)	アドレス確保の適時 性, 継続性に難あり
② プライベート IPv4 ア ドレス+ NAT	○ (クライアント側 NAT)	×	△ (クライアント側 トランスレータ)	スケラビリティに 不安がある
③ IPv6 対応	△ (クライアント側 トランスレータ)	×	◎ (ネイティブ)	トランスレータ技術 が確立していない
サーバ側適用評価	アドレス確保の適時性, 継続性に難あり	サーバに対する対応 策にならない	すべてクライアント 側で対応が必要	

表-1 対応策ごとの適用評価

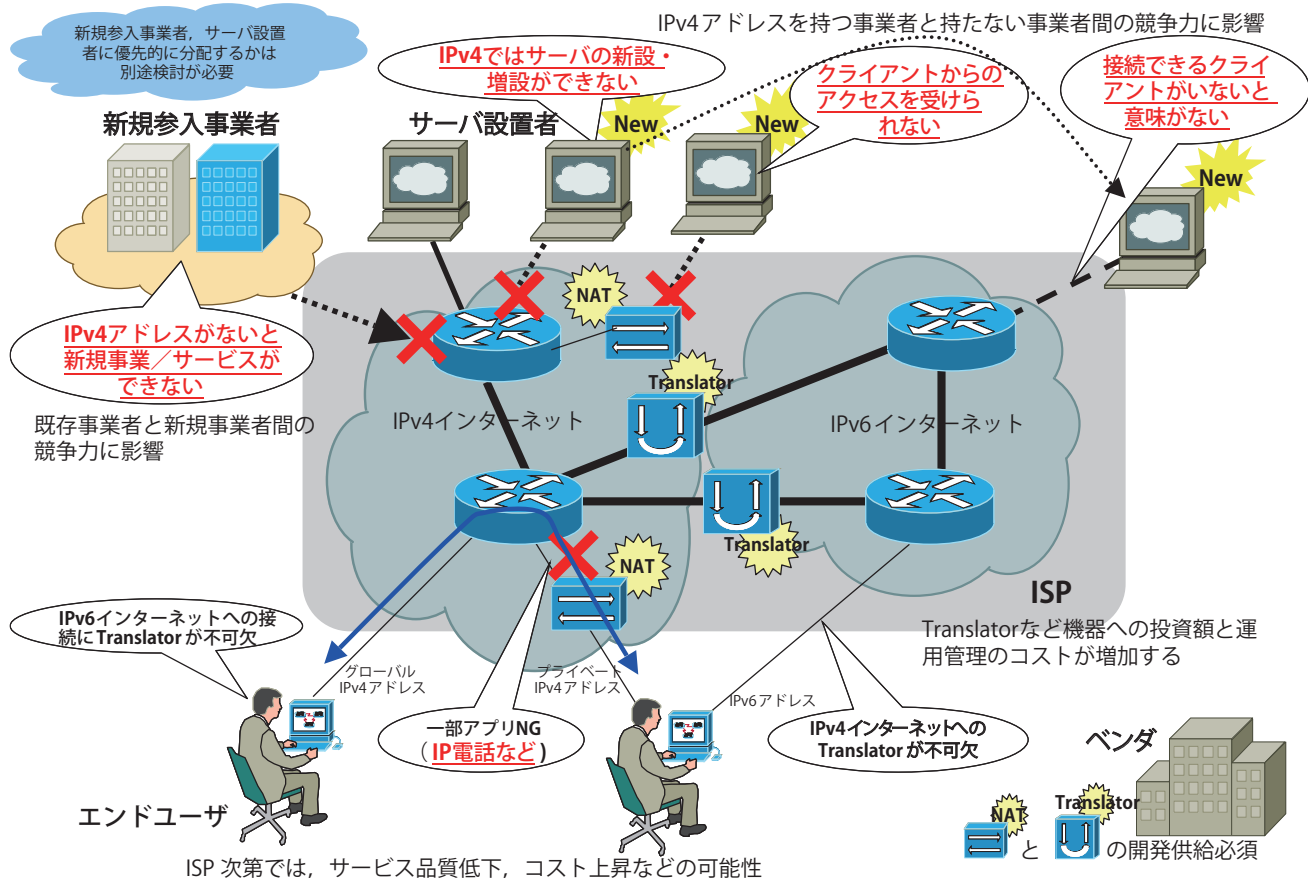


図-3 IPv4 アドレス枯渇による主な課題

れる IP アドレスで接続サーバを指定できないため、サーバに対する適用は事実上できない。

③は、IPv6 に関して運用技術としての成熟度がまだ低い、対応機器・アプリケーションが少ない、導入コストが高いなど課題が多いものの、①②のような限定性がないため永続的な対応策と言え、今後のインターネットの長期的な発展のためには唯一とり得る方法だと考えられる。

クライアントーサーバ型通信を想定し、クライアント側サーバ側それぞれの事業者がとる対応策の組合せの評価を行ったものを表-1 に示す。また、それを踏まえて技術的な課題を図-3 に図示する。

▶ IPv6 導入への課題と対応

前項で述べたとおり、IPv6 の導入には技術的な課題

の解決が必要である。基本仕様の策定は終了し、ルータなどの基本的な機器は開発されているものの、IPv4 および IPv6 が共存したときのネットワーク運用技術、セキュリティ技術や製品、周辺装置などでの実装面、運用面での課題が残っている。IPv4 ではネットワーク運用と技術開発はともに相互に影響を及ぼして、発展してきたという経緯があり、今後、IPv6 においても、今はほとんど進展していない IPv6 のネットワークが普及し、運用されていくに従って、さらに多くの課題が明らかになり、それに応えるかたちで技術や製品も成熟していき、だろうと推測する。

アドレス管理との関連で述べれば、IPv4/IPv6 共存技術に関する技術開発が急務となっている。1995 年に IETF において IPv6 の基本仕様が制定されて以来、IPv4 から IPv6 の移行技術を検討するワーキンググループとして ngtrans WG が制定されて、さまざまな標準化がなされたり、日本でも IPv6 普及・高度化推進協議会において「IPv6 移行ガイドライン」³⁾ が検討・発行されるなど、IPv4/IPv6 共存技術についてはかなりの検討が積み重ねられている。これらの検討で想定していた前提は、IPv6 はまだ IPv4 グローバルアドレスが十分入手可能な時期にある程度普及するはずであるということであった。したがって、これらの共存技術は基本的に IPv4 グローバルアドレスと IPv6 グローバルアドレスのデュアルスタックネットワークが対象となっている。

しかしながら、本章で述べたアドレス枯渇は今までの検討の一部を見直さなければならぬようなインパクトを持っている。つまり、IPv4 アドレスがもはや手に入らない環境やシナリオを想定しなければならないということであり、IPv6 only 端末/サイトが多数存在することを前提としたシナリオ、あるいは IPv6 グローバルアドレスと IPv4 プライベートアドレスのデュアルスタックの環境も視野に入れて、共存技術は検討されなければならない。このため、IPv6 普及高度化推進協議会や JPNIC などでも課題の洗い直しを進めている。

さらに、IPv6 導入に関するさまざまな情報提供や啓発といった活動も、IPv6 の普及推進を図って行く上で技術的な課題の解決同様に重要である。JPNIC がさまざまな事業者からこの問題に関する認識を調査した結果を総合すると、IPv4 アドレス在庫枯渇問題の解決のために、IPv6 を導入する必要があること自体は広く認識されているものの、実際にインターネットに IPv6 が普及していくイメージや道筋が分からず、IPv6 導入に自信を持って取り組むことができないといった様子が伺える。事業者における IPv6 導入インセンティブ向上、導入シナリオ、IPv6 導入コストの試算、導入リスクの分析などの検討が必要である。

本章における IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する内容の大部分は、JPNIC が 2007 年 12 月 7 日に公開した「IPv4 アドレス在庫枯渇問題に関する検討報告書 (第一次)」⁴⁾ を基にした。本稿に盛り込めなかった検討も多く含まれているので、ぜひご参照されたい。

IPv6 アドレスポリシーの考え方

冒頭で IP アドレスポリシーの 5 原則に関して述べたが、IPv6 においてもこの 5 原則は受け継がれている。ただし、IPv4 の 32 ビットから大幅に拡張された 128 ビットという広大なアドレス空間を背景に、5 原則の中から「節約」を重視せず、「集成」を重視する傾向があるとともに、簡素なポリシーが志向されている。現在の IPv6 アドレスポリシーのポイントを以下にまとめる。

- ① LIR (Local Internet Registry : ISP などを営み、エンドユーザに IP アドレスを割り当てる) に対する割り振りサイズは /32 を既定サイズとする (それ以上必要な場合には審議の上割り振り)。
- ② グローバルインターネットへの接続は必ずしも必要ではなく、閉域サービス提供者にも割り振りを行う。
- ③ 割り振り基準が、「200 の組織に割り当てを行う計画がある事業者」と定められている。
- ④ エンドユーザに対する割り当ては /64 から /48 までの間で、LIR の裁量で決定される (それ以上必要な場合は審議の上割り当て)。
- ⑤ 追加割り振りには HD レシオ^{☆4} が 0.94 に達した場合に認められる。

① に関しては、/32 という割り振りサイズは /64 の割り当てが約 43 億個 (IPv4 アドレス量に相当) 収容できる大きなサイズであるため、日本の場合は最大手の数社を除き、ほとんどの割り振りが /32 となっている。IPv4 の場合、割り振りサイズはレジストリの審議の上で、あくまでその LIR の所要に応じて個々に決定されている。したがって IPv6 における余裕を持った既定割り振りサイズの制定は、レジストリと事業者の双方における業務の効率化と単純化に寄与している。

② に関して、IPv4 ではわずかな例外を除いて閉域網では RFC1918 に定められたプライベートアドレスを利用するものとして、グローバルアドレスの分配は行われなかった。IPv6 では節約よりも一意性を優先するかたちで、閉域網に対してもグローバルアドレスの割り振りが可能である。

^{☆4} Host Density Ratio.

HD-ratio=log (利用済みアドレス数) / log (全利用可能アドレス数)
これに対して「利用率 (usage rate)」として追加割り振り要件に利用されるものは、利用率 == (利用済みアドレス数) / (全利用可能アドレス数) である。HD レシオに関する定義は文献 5)、HD レシオの適用に関する解説は文献 6) に詳しい。

③は割り振りを受ける LIR にある程度の規模を求めることで経路集積を目指すものであった。しかし現在、APNIC 以外の RIR ではすでに 200 という数的基準が撤廃され、APNIC でも撤廃に向けた議論が行われている段階である。この基準撤廃によって小さな LIR でも IPv6 の割り振りを受けることができ、IPv4 のネットワークトポロジに沿った IPv6 の導入が容易となる。

④に関して、かつてエンドユーザ割り当ては /48 を既定サイズとしていた。しかし過度の余裕となる懸念からこれを改め、LIR の裁量で小さなサイズの割り当てを可能とするように変更された。⑥の追加割り振り基準の HD レシオに関しては、かつては 0.8 を基準とするものであったが、0.94 に変更となった。この 2 点は単一の案件として 2006 年 9 月の APNIC22 ミーティングでポリシー提案され、コンセンサスに至っている。

これらの変更の成立は、IPv4 アドレス在庫枯渇に対して関心が高まる中で、「クラス A アドレスのような過ちを繰り返すな」という考え、つまり、現在は広大と考えられる IPv6 アドレス空間も、設計当初の想定を大きく超える利用形態の出現によって逼迫しかねないという観測から、不必要な余裕を持つべきでない、という考えがコミュニティに共有された結果と言ってよいだろう。

このほかに、PI (Provider Independent : プロバイダ非依存) アドレスの割り当てを、マルチホーム接続を行うネットワークに対しても許すポリシー提案が、同じ APNIC22 ミーティングでコンセンサスに至っている。IPv6 は開発当初から、階層的経路制御の厳格な適用を志向していたため、小さなサイトのマルチホーム接続には否定的な議論が続いていた。このような IPv6 の思想を固持したいという考えも依然根強い一方で、IPv4 インターネットと異なるトポロジで IPv6 のネットワークを展開することは難しいという事情、SHIM6^{☆5} などネットワークレイヤ以外の冗長性確保技術の仕様確定と成熟まで待てないという状況が、現実解としてマルチホーム接続向けの PI アドレス割り当ての許容に結びついたりと考えられる。

このように IPv6 に関するアドレスポリシーは、本格的展開を前にダイナミックに変化している。アドレスポリシーの現状に関しては、JPNIC や APNIC の Web サイトをご参照されたい。

IPv6 アドレッシングの新技术

前章で述べたように IPv6 はその広大なアドレス空間を活かして、IPv4 とは異なるアドレスポリシーを採用

している。その 1 つの特徴がクローズドネットワークにもグローバルユニークなアドレスを割り当てることが可能であるということである。IPv4 では特定の領域をプライベートアドレス空間として規定し、そこをさまざまなクローズドネットワークで共用していた。本章ではこのポリシーがもたらすインパクトを技術面、応用面から論じる。

まず、あげられるメリットがネットワークの統合である。企業同士の合併やその他の事由により、それぞれ独立に設計したクローズドネットワークを統合しなければならぬことが増えてきている。この際、IPv4 の場合には、どちらかアドレスリナンバリングを行うか、ネットワーク相互接続ポイントに NAT (アドレス変換機) を置くなどの対応をとる必要があった。IPv6 でグローバルにユニークなアドレスを利用して構築したクローズドネットワーク同士の相互接続においては、このような手間は必要ない。

次にアプリケーションサービスを提供するプロバイダがアドレス取得をすることにより、独自のアドレスによってサービス提供が可能であるという点があげられる。実際、家電ベンダなどいくつかの非 ISP が IPv6 アドレスを取得して、サービス提供に備えている。これはサービス提供モデルの大きな変化となる。

現在のモデルは図-4 の左側の「インターネット指向モデル」である。IPv4 においてはグローバルアドレスの絶対量が足りないため、アドレスは ISP 経由で各サイトに配布され (通常 1 つ)、それをすべてのアプリケーションプロバイダが共有する形となっている。それに対して、右側が「サービスネット指向モデル」である。IPv6 においてはアプリケーションサービスのプロバイダが自身のアドレスブロックから直接サイトにアドレスを配布し、それをを用いてサービス提供を行う。こうすることにより、サービス識別性や制御性が格段に向上する。図ではアクセス網事業者がこれらアプリケーションサービスプロバイダのクローズドネットワークをサイトまで配送するような例を示しているが、このような構成が可能である場合にはサービス識別性を活かし、QoS などの付加価値をつけることも可能となる。

このような構成をとった場合、サイト側では複数のサービスネットワークを収容することになる。サイト内では物理的なネットワークごとに分割して管理することも可能であるが、1 つの物理ネットワークを論理的に多重し、端末ごとに所属するネットワークを制御・管理することも可能である。後者を実現する技術をマルチプレフィックス制御技術と呼ぶ。図-5 にその概要を示す。技術の詳細については文献 7)などを参照されたい。

マルチプレフィックスを用いた実証実験もさまざま行

☆5 Site Multihoming by IPv6 Intermediation.

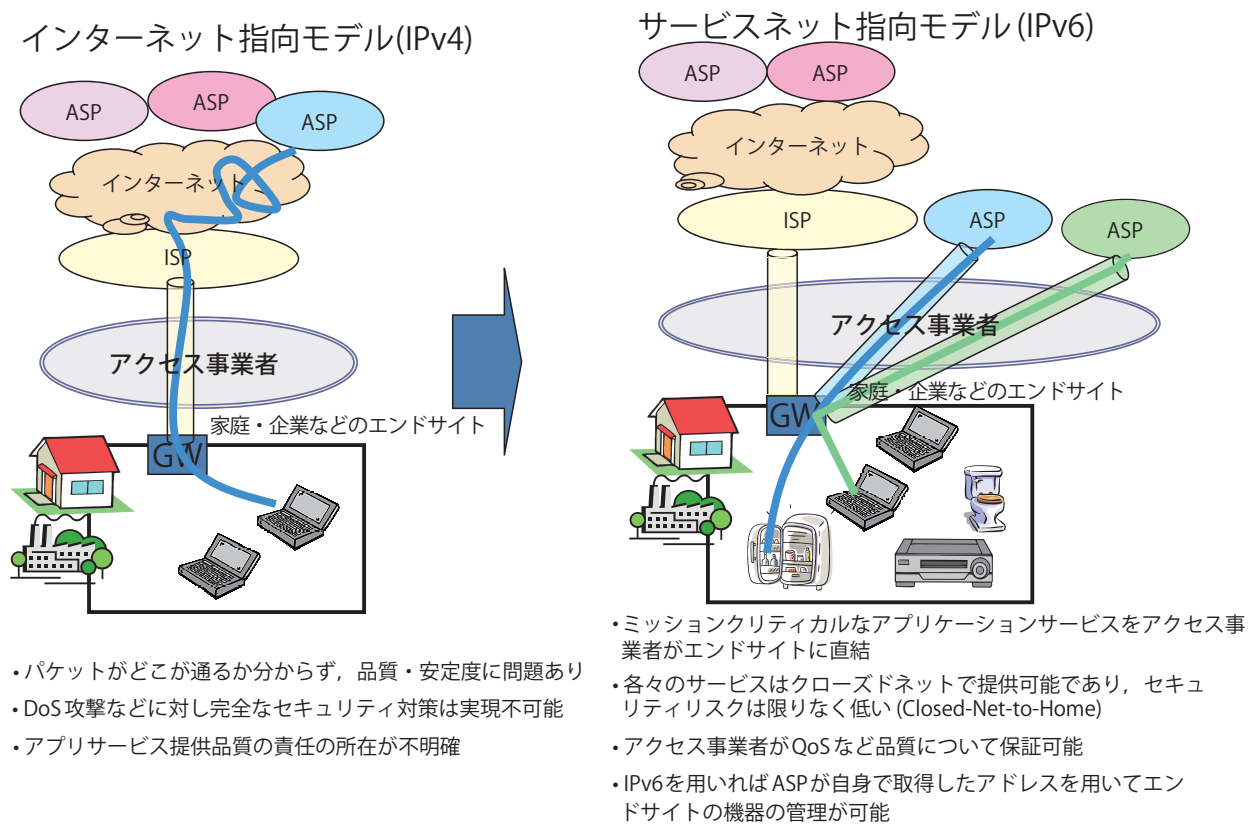


図-4 アプリケーションサービス提供のためのネットワークモデル

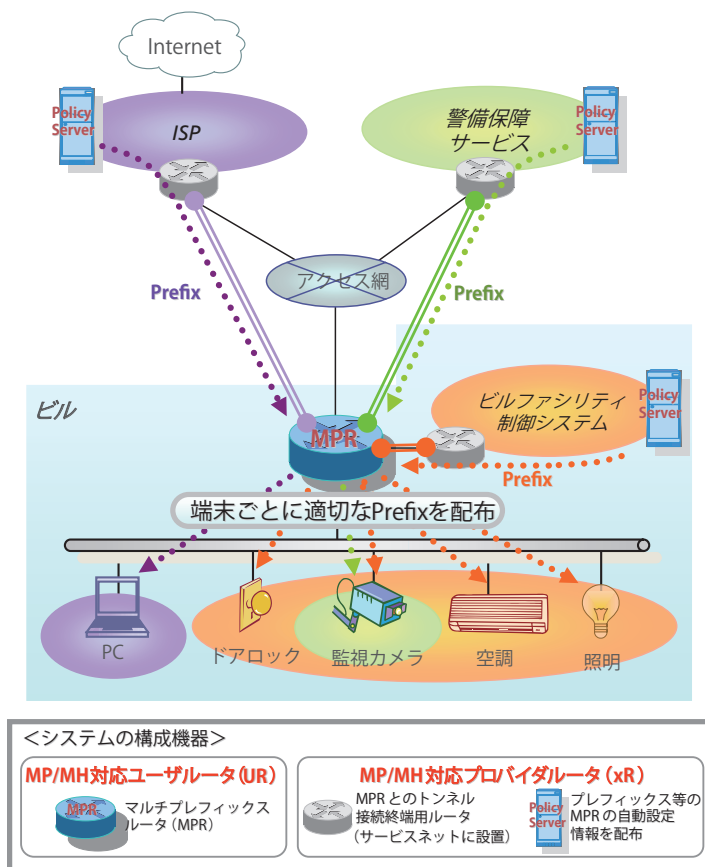


図-5 マルチプレフィックス技術を用いたシステムイメージ

われている。代表的なものとして、総務省のIPv6移行実証実験⁸⁾ではNTT東日本が防犯ソリューションに活用している。

昨今、学童などへの凶悪犯罪が増えており、街頭セキュリティの強化に関心が高まっている。街の安全を確保するためには、警察やセキュリティ会社の対応だけでなく、住民コミュニティの関心と積極的な関与・参画が大事であることが分かっている。そこで、Webカメラを設置し、その画像を住民に配信することになるわけだが、ここで問題となるのがプライバシー問題である。通常のシステムではプライバシーをとるか、セキュリティをとるのか、住民が悩むことになる。

そこで、神奈川県川崎市で実施した本ソリューションでは、以下のような複数のサービスをWebカメラから提供することとした。

- セキュリティ会社向けへの高精細動画サービス
- 住民向けに人型の部分だけをぼかした動画のサービス
- Webカメラ自体のメンテナンスサービス(動画は見れない)

本ソリューションではこれをIPv6のマルチプレフィックス機能を用いて実現した。すなわち3つのサービスのそれぞれに3つの独立したアドレスを付与し、それぞれに論理的に独立なネットワークを重畳させるようなアーキテクチャを設計した。IPv4で実現するとするならば、ID/パスワードの管理によりサービスを分けるような実現手法となるだろうが、本ソリューションはネットワークでサービスの許可・不許可を制御できるため、はるかに柔軟でセキュアなサービスが実現できた。

おわりに

以上、アドレス管理の最新動向について概観するとともに、それが与える研究開発や技術標準化に対するイン

パクトを述べた。研究開発や技術標準化はIETF、アドレス管理はICANN/各レジストリと分業体制をひいていくが、今後、IPv6が本格展開していく中で、実際の利用・応用の現場とあわせて、この3つのセクタが互いに連携し、よりよいサービスを実現していくことが求められていく。筆者らもその一翼を担うものとして情報処理学会などとも協力していきたい。

参考文献

- 1) Policies for IPv4 Address Space Management in the Asia Pacific Region, <http://www.apnic.net/docs/policy/add-manage-policy.html>
- 2) Huston, G.: IPv4 Address Report, <http://ipv4.potaroo.net/>
- 3) IPv6移行ガイドライン, IPv6普及・高度化推進協議会, http://v6pc.jp/pdf/ja-01-IPv6_Deployment_Guideline.pdf (2005).
- 4) IPv4アドレス在庫枯渇問題に関する検討報告書(第一次), 日本ネットワークインフォメーションセンター, <http://www.nic.ad.jp/ja/ipv4pool/ipv4exh-report-071207.pdf> (2007).
- 5) Durand, A. et al.: The Host-Density Ratio for Address Assignment Efficiency: An Update on the H Ratio, RFC3194, <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc3194.txt>
- 6) Wilson, P.: IPv6 Allocation Principles, <http://www.apnic.net/meetings/12/docs/ipv6principles-dist.ppt>
- 7) 金山健一: IPv6マルチプレフィックス制御技術の紹介, インテック技術ジャーナル第6号, pp.24-29 (2006).
- 8) IPv6ソリューションガイドライン, 総務省IPv6実証実験サイト, <http://www.v6trans.jp/jp/index.html>

(平成20年1月21日受付)

荒野高志

arano@inetcore.com

大手通信会社でのISPネットワーク立ち上げ等を経て2002年にインテック・ネットコア設立。アドレス管理関連ではICANNアドレス評議員副議長, APNIC Address Policy SIG議長, JPNIC理事等を歴任。またIPv6 Forum理事など国際的なIPv6普及啓蒙活動に貢献。

前村昌紀

maem@nic.ad.jp

(社)日本ネットワークインフォメーションセンター(JPNIC)IP事業部部長。IPアドレス管理に関する業務を統括。APNIC(Asia Pacific Network Information Centre)理事会議長, 国際大学GLOCOM客員研究員。

