

2014年度 博士論文

インターネットにおけるIPv6導入に関する考察
～IPv4からのプロトコルマイグレーションの実現～



KEIO MEDIA DESIGN

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

藤崎 智宏

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
博士(メディアデザイン学) 授与の要件として提出した博士論文である。

藤崎 智宏

指導教員：

加藤 朗 教授 (主指導教員)
砂原 秀樹 教授 (副指導教員)
古川 享 教授 (副指導教員)

審査委員：

砂原 秀樹 教授 (主査)
岸 博幸 教授 (副査)
江崎 浩 教授 (副査, 東京大学)
中村 素典 教授 (副査, 国立情報学研究所)

インターネットにおける IPv6 導入に関する考察 ～IPv4からのプロトコルマイグレーションの実現～

内容梗概

インターネットは、ARPANET (Advanced Research Projects Agency) を原点としており、誕生当初は数台のコンピュータのみで構築されていた。1980年頃、現在も利用され続けている IP(Internet Protocol) が導入された。このネットワークが、今日では世界中で莫大な数の機器が接続され、IP (Internet Protocol) という単一のプロトコルを利用して相互通信を実施している巨大なネットワークとなった。同一のプロトコルが四半世紀にわたって利用され続けているということは、そのプロトコルの設計が優れていたことを示している。

今日では世界中に普及し、社会に必要なインフラストラクチャの一つとなったインターネットであるが、その規模の拡大によっていくつかの課題が発生している。最も大きな課題は、接続される機器数の増大による、インターネットに接続するために必要な識別子の絶対数の不足である。インターネットで利用される識別子は IP アドレスと呼ばれ、電話網における電話番号に相当する。従来から広く使われているプロトコルバージョンである IPv4 では、IP アドレスが 32 ビットの固定幅であり、数にして 43 億個ほどしかなく、この数は現在の世界の人口より少ない。事実、2011年2月3日に、世界的な IP アドレス等インターネット資源の管理組織である ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) は、IPv4 アドレス在庫をすべて配布し終わったことを宣言している。

また、課題の一つとして、インターネット上の末端機器どうしが通信するために中継機器で保有する必要がある経路情報の肥大化が挙げられる。経路情報は、末端機器に付与された IP アドレスが、インターネット上のどこに存在するかを記録している情報であるが、インターネットの地理的な拡大、機器数の増加等の要因から経路情報は増加の一途をたどっており、中継機器に性能的な問題も出始めている。

IPv4 アドレス不足、経路情報肥大化などの課題に対応し、インターネットの継続的な発展を支えるため、IPv4 の後継のプロトコルである IPv6 が標準化され、1990年代後半には商用利用も始まっている。IPv4 アドレス数の不足に伴い、IPv6 の早急な普及が必要であるが、2014年現在に到っても、導入は順調ではない。

これまで、インターネットは、プロトコルの標準化に関連する技術的な検討、IPアドレスのようなインターネット資源管理ポリシー検討の2つの検討軸が相互に影響し合いながら発展してきており、今後のIPv6の導入、インターネットの発展にも、この2軸の同時検討が必要である。また、技術的、ポリシー的内容を検討する際、インターネットのグローバル性と、地域や国における技術・ポリシーのローカライズに関して検討が重要である。

本研究では、IPv6の導入について、この2軸の観点から執筆者の実施してきたことを中心に整理し、更に今後実施すべきことについて検討する。特に、技術、ポリシーの双方において、グローバル性とローカル性の整合を取り実施した標準化、及びポリシー制定について述べる。また、アジア太平洋地域において、インターネットのアドレス配布ポリシーを議論しているコミュニティを対象とし、IPv6の導入、IPv4アドレス不足対応に関し、提案してきたポリシーに関する議論を通し、当該コミュニティの特徴を整理し、ポリシー提案を成立させるために実施した内容から、コミュニティに対して果たした役割を検討、コミュニティによるポリシー議論の活性化に向けた提言を実施する。

キーワード

インターネット、アドレスポリシー、IPv6普及推進、IPv4アドレス枯渇、インターネット資源管理

慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科

藤崎 智宏

Deploying IPv6 into the Internet: How to achieve protocol migration from IPv4

Abstract

The Internet was based on a network, named ARPANET (the Advanced Research Projects Agency Network). At the beginning of the Internet, only a few computers were connected. Currently, innumerable terminals are connected to the Internet all over the world. The Internet uses a unique protocol, IP (Internet Protocol), for communication. This protocol was introduced around 1980s. The fact that a single unique protocol has been used for almost quarter of a century is evidence of the excellency of its design.

Today, the Internet is used all over the world, and its infrastructure is of critical importance. However, because of its expansion, issues have occurred. One of these relates to the limitations of its identifier, the IP address. IP addresses are analogous to telephone numbers in a telephone network, and every terminal needs a unique IP address when connecting to the Internet. The protocol version used from the beginning of the Internet is IPv4 (Internet Protocol version 4), and its addresses are 32 bits long. The total number of possible addresses is therefore only 4.3 billion, which is much smaller than the current world's population. In fact, in February 2011, the Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, which manages Internet number resources, announced that they finished distributing their IPv4 address stock.

An expanding routing-table is yet another problem with the current IPv4 version. Intermediate nodes in the Internet must store routing information (i.e., the routing table) to keep track of the locations of IP addresses. Because of the worldwide deployment of the Internet, the routing information has become massive, and it is increasing monotonically. As a result, the stability of the Internet is at risk.

To resolve such problems, a new successive Internet protocol, IPv6 (the Internet Protocol version 6), has been standardized. IPv6 was used commercially during the late 1990s. However, despite the limitations to IPv4 addresses, IPv6 has not yet been deployed widely.

Until now, the Internet has been deployed with the following two aspects: protocol standardization and resource management. To further deploy IPv6, these two aspects must be considered simultaneously. In addition, to addressing these two aspects, it is important to consider some of the global aspects of the Internet, along with its situation at the regional and national level.

This paper describes the deployment of IPv6 from the perspective of these two aspects, and discusses what is required in order to further deploy IPv6 from a global and regional perspective. Moreover, the paper describes the author's activities in the Internet's number-resource management community, with a focus on the intractable limitations to IPv4 addresses and the potential impact that implementing IPv6 will have on this community.

Keywords:

Internet development, Internet resource management, Address policy, IPv6, IPv4

Graduate School of Media Design, Keio University

Tomohiro Fujisaki

目 次

第1章	序論	1
第2章	インターネットの運営構造とアドレス管理コミュニティ	3
2.1.	筆者の立場と研究対象コミュニティ	3
2.2.	インターネットプロトコルとIPアドレス	4
2.2.1	IPによる通信	4
2.2.2	IPアドレス	5
2.2.3	ASとAS番号	5
2.3.	インターネット管理構造	5
2.3.1	インターネットの標準化・管理構造	6
2.3.2	インターネット資源管理の構造	6
2.3.3	ICANNの役割と組織構成	7
2.3.4	インターネット資源管理とアドレスポリシー	9
2.3.5	インターネット標準化組織の構造	10
2.3.6	インターネット普及推進組織	12
2.4.	インターネット運用組織における意思決定	12
2.4.1	アドレス管理コミュニティ (RIR) におけるアドレスポリシーの策定	13
2.4.2	標準化コミュニティ (IETF) における標準策定	16
2.4.3	資源管理コミュニティ (ICANN) におけるポリシー策定	17
2.5.	本研究の対象コミュニティの特徴と目的	18
第3章	インターネットの発展とIPv6の導入	21
3.1.	インターネットの発展と発生した課題	21
3.1.1	IPv4アドレス在庫に関する予測	21
3.1.2	IPv4アドレス在庫不足の進展	23
3.2.	IPv4インターネットにて発生した課題への対応	24

3.2.1	IPv4 アドレス在庫不足への対応	24
3.2.2	IPv6 の標準化	25
3.3.	IPv6 普及の現状	26
3.3.1	IPv6 導入の状況	26
3.3.2	IPv6 導入の意義	27
3.3.3	IPv6 導入の想定と現状	28
第 4 章	IPv6 導入時の課題	30
4.1.	グローバルインターネットと地域性	30
4.1.1	インターネット資源管理ポリシーのグローバル性とローカル性	30
4.1.2	インターネット標準とローカル性	32
4.1.3	IPv6 導入と地域性	32
4.2.	プロトコル・社会システム移行事例と移行に関する要件	33
4.2.1	インターネットプロトコル関連の移行事例	33
4.2.2	他の移行事例	36
4.2.3	移行に関する具体的要件	39
4.2.4	IPv6 導入に関する対応	41
第 5 章	IPv6 導入における課題に対する技術的対応	42
5.1.	IPv6 標準化実施期における対応	42
5.1.1	6bone への参加による IPv6 実運用	42
5.2.	IPv6 導入開始, 普及初期	44
5.2.1	IPv6 実サービス提供に向けた環境整備	44
5.3.	IPv6 継続普及期	44
5.3.1	IPv6 マルチプレフィックス問題の解決	44
5.3.2	IPv6/IPv4 フォールバック問題への対応	49
5.3.3	IPv6 マルチプレフィックス問題の解決に関する国内活動	53
5.3.4	IPv6 ホームゲートウェイ国内仕様策定	53
5.3.5	IPv6 導入時に発生する課題対応	54
5.3.6	IPv6 アプリケーション作成推進対応	55
5.3.7	IPv6 セキュリティに関する検討	56
5.3.8	IPv6 Day に関する国内対応	57
5.3.9	IPv6 普及推進活動	57

5.4.	IPv6 導入における技術的課題対応に関する考察	58
第 6 章	IPv6 導入における課題に対するポリシ的対応	60
6.1.	IPv6 導入開始, 普及初期	60
6.1.1	暫定 IPv6 アドレス配布ポリシの制定	60
6.1.2	IPv6 アドレス配布ポリシ策定	61
6.1.3	IPv6 インターネットに接続されていないネットワークへの IPv6 アドレスの割り振り	63
6.1.4	IPv6 アドレス配布ポリシの調整	64
6.1.5	既存 IPv6 アドレスホルダ向けアドレスサイズ拡張	65
6.1.6	IPv6 プロバイダ非依存アドレス割り当て	67
6.1.7	最後の IPv4 アドレス配布ポリシ	69
6.2.	IPv6 継続普及期	70
6.2.1	ISP 間で共有可能な IPv4 アドレス空間定義	70
6.2.2	IPv4 アドレス移転	72
6.2.3	RIR 間 IPv4 アドレス移転	74
6.2.4	APNIC におけるアドレス移転要件変更	77
6.2.5	IPv6 アドレス割り振り基準における経路集成要件の撤廃	79
6.2.6	返却された IPv4 アドレスの配布	79
6.2.7	IPv6 普及推進目的用アドレス割り振り	81
6.2.8	IPv6 割り当てアドレスブロックの要求ベースの拡張	83
6.3.	IPv6 導入におけるポリシ課題対応に関する考察	84
6.4.	IPv6 の導入における移行要件の比較	85
第 7 章	アドレス管理コミュニティにおけるポリシプロセスの在り方	88
7.1.	APNIC 地域のアドレスポリシフォーラムにおける議論の特徴	88
7.2.	RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシ提案に関する議論	91
7.2.1	提案の背景	91
7.2.2	RIR 間 IPv4 アドレス移転提案議論の経過と結果	92
7.3.	返却された IPv4 アドレスの再配布に関する提案議論	93
7.3.1	提案の背景	93
7.3.2	返却 IPv4 アドレス再配布ポリシ提案までの経緯と結果	94
7.4.	IPv6 アドレス空間の効率的活用に関する議論	98

7.4.1	提案の背景	98
7.4.2	IPv6 割り当てアドレスブロックの要求ベースの拡張提案ま での経緯と結果	100
7.5.	その他の提案における APNIC コミュニティの状況に関する考察	103
7.5.1	IPv6 導入開始, 普及初期におけるポリシー議論	103
7.5.2	IPv6 継続普及期におけるポリシー議論	104
7.6.	ポリシープロセス改善に関する動き	104
7.7.	APNIC 地域のポリシープロセス改善に対する提言	106
第 8 章	結論	108
8.1.	IPv4 延命・IPv6 導入に関する技術的・ポリシー的取り組み	109
8.2.	アドレスポリシー策定と APNIC コミュニティ	114
8.3.	今後のインターネットの発展と IP アドレス配布に関するポリシーの 展開	119
付録 A	関連するインターネット組織における活動, 主貢献プロダクト詳細	130
A.1.	ICANN ASO/AC	130
A.1.1	ASO/AC とは	130
A.1.2	ASO/AC の構成	131
A.1.3	ASO/AC としての活動	131
A.2.	IETF Nomcom 2013-2014	133
A.2.1	IETF Nomcom (IETF 指名委員会) とは	133
A.3.	提出し, 採択されたポリシー等	134
A.3.1	prop-021	134
A.3.2	prop-035	136
A.3.3	prop-055	139
A.3.4	prop-082	142
A.3.5	prop-095	145
A.3.6	prop-096	149
A.3.7	prop-105	152
A.3.8	RFC7078	156

目 次

2.1	インターネットの管理組織構造	7
2.2	インターネットの資源管理組織構造	8
2.3	ICANN の組織構造	9
2.4	APNIC におけるポリシー制定プロセスダイアグラム	15
2.5	IETF 標準化文書 RFC のステータス変遷	16
3.1	IETF ALE WG によるアドレス枯渇予測 (1994)	22
3.2	IPv6 普及の理想と現実	29
5.1	NTTv6Net の構成 (2001 年 1 月)	43
5.2	複数サービスプロバイダとの同時接続	46
5.3	アドレス選択ポリシー配布	47
5.4	マルチプレフィックスによるマルチサービス	48
5.5	IPv6/IPv4 フォールバック	50
5.6	ICMPv6 によるエラー通知	51
5.7	機器の ICMPv6 に対する反応	52
6.1	IPv6 プロバイダ非依存アドレス割り当ての変遷	68
6.2	ISP 共有 IPv4 アドレス空間	71
6.3	IPv4 アドレス空間の配布分布	75
6.4	RIR 間アドレス移転の要件	76
6.5	IPv4 アドレス移転の状況	78
6.6	最後の /8 ポリシ用空間の割り振り推移 (2013 年 7 月)	81
6.7	返却 IPv4 アドレス再配布の状況	82
6.8	Sparse allocation によるアドレス割り振り	83
7.1	必要な割り振りサイズの分布	97
7.2	/22 割り振りにおけるプールの消費予測	98

7.3 CONFERによる意思確認の表示	105
--------------------------------	-----

目 次

3.1 IPv4 アドレス在庫の状況 (2015 年 1 月 28 日現在)	24
6.1 2004 年 8 月以前に IPv6 アドレスを取得し, 取得空間を拡張した組織	66
6.2 IPv6 普及推進対応	87
7.1 IPv4 アドレス移転の実装状況 (2014 年 11 月現在)	91
7.2 返却アドレス配布に関するサーベイ	96
7.3 Sparse allocation 導入以前のブロックからの割り振り	99

第1章 序 論

インターネットは、ARPANET (Advanced Research Projects Agency) を原点としている。誕生当初は数台のコンピュータのみで構築されていた。1980年頃、現在も利用され続けている IP(Internet Protocol) が導入された。このネットワークが、今日では世界中で莫大な数の機器が接続され、IP という単一のプロトコルを利用して相互通信を実施している巨大なネットワークとなった。同一のプロトコルが四半世紀にわたって利用され続けているということは、そのプロトコルの設計が非常に優れていたことを示している。

今日では世界中に普及し、社会に必要なインフラストラクチャの一つとなったインターネットであるが、その規模の拡大によっていくつかの課題が発生している。最も大きな課題は、接続される機器数の増大による、インターネットに接続するために必要な識別子の絶対数の不足である。インターネットで利用される識別子は IP アドレスと呼ばれ、電話網における電話番号に相当する。従来から広く使われているプロトコルバージョンである IPv4 (Internet Protocol Version 4) では、IP アドレスが 32 ビットの固定幅であり、数にして 43 億個ほどしかなく、この数は現在の世界の人口 (2014年11月現在、約72億人) より少ない。実際のところ、2011年2月3日に世界的な IP アドレス等インターネット資源の管理組織である ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) は、IPv4 アドレス在庫をすべて配布し終わったことを宣言している。

その他にも課題の一つとして、インターネット上の末端機器どうしが通信するために中継機器で保有する必要のある経路情報の肥大化が挙げられる。経路情報は、末端機器に付与されたの IP アドレスが、インターネット上のどこに存在するかを記録している情報であるが、インターネットの地理的な拡大、機器数の増加等の要因から経路情報は増加の一途をたどっており、中継機器に、性能的な問題も出始めている。

IPv4 アドレス不足、経路情報肥大化などの課題に対応し、インターネットの継

続的な発展を支えるため、IPv4の後継のプロトコルであるIPv6 (Internet Protocol Version 6) が標準化され、1990年代後半には商用利用も始まっている。IPv4アドレス数の不足に伴い、IPv6の早急な普及が必要であるが、2014年現在に到っても、導入は順調ではない。

これまで、インターネットは、プロトコルの標準化に関連する技術的な検討、IPアドレスのようなインターネット資源に関する管理ポリシーの検討という2つの検討軸が相互に影響し合いながら発展してきており、今後のIPv6の導入、インターネットの発展にも、この2軸の同時検討が必要である。

本研究では、IPv6の導入について、この2軸の観点から筆者の実施してきたことを中心に整理し、更に今後実施すべきことについて検討する。特に、技術、ポリシーの双方において、グローバル性とローカル性の整合を取り実施した標準化、及びポリシー制定について述べる。

また、アジア太平洋地域において、インターネットのアドレス配布ポリシーを議論しているコミュニティを対象とし、IPv6の導入、IPv4アドレス不足対応に関し、提案してきたポリシーに関する議論を通し、当該コミュニティの特徴を整理し、ポリシー提案を成立させるために実施した内容から、コミュニティに与えた影響を検討、コミュニティによるポリシー議論の活性化に向けた提言を実施する。

第2章では、本稿を理解するために必要な基礎知識となる、インターネットとIPアドレス、インターネットを運用管理している組織構造、インターネット運用組織における意思決定方法、本研究の対象とするコミュニティについて述べる。第3章では、IPv4インターネットに対し、IPv6の導入が必要となった背景、及びIPv6普及における課題について述べる。第4章では、インターネットにおいて、技術、ポリシーを検討する際に必須となる、グローバル性、ローカル性について検討し、IPv4からIPv6への移行と比較するために、過去に実施されたプロトコルやシステムの移行事例について述べ、移行の成功に必要な要件について述べる。第5章では、筆者が実施してきた、IPv6導入に関する課題への対応のうち、技術的な対応について述べる。第6章では、筆者が実施してきた、IPv6導入に関する課題への対応のうち、インターネット資源管理ポリシー対応について述べる。第7章では、インターネットのアドレス管理コミュニティにおける意思決定の在り方について、筆者が実施してきたコミュニティへの対応、影響、及び結果と今後に向けての方策について述べる。第8章にて、本研究の結論を述べる。

第2章

インターネットの運営構造とアドレス管理コミュニティ

本節では、本研究を実施するにあたっての筆者の立場、及び、研究対象のコミュニティについて述べる。また、インターネットの運営構造、インターネットにおける意思決定方法、及び、IPv4 アドレス在庫の不足と IPv6 の導入の経緯等を理解するために必要な項目、背景について述べる。

2.1. 筆者の立場と研究対象コミュニティ

筆者は、電気通信キャリアの研究所に所属し、インターネット技術の研究開発に従事している。これまで、インターネットの普及を支えるための新プロトコルである IPv6(第3章)に関する技術開発を中心に実施してきた。IPv6 の導入にあたり、日本国内インターネットにおいて発生する可能性のある課題の解決を目的とした標準化、自組織を含む国内プロバイダが IPv6 インターネットを利用するための資源管理ポリシー策定に等取り組んできた。

特に、インターネットの資源管理で利用される資源配布ポリシーの策定において、2004年から2010年まで、日本における資源管理ポリシーを議論する JPNIC オープンポリシーフォーラムのチェアとして、2008年から現在まで、アジア太平洋地域で資源管理を実施している APNIC において、コミュニティから選挙で選出され、グローバルインターネットにおける資源管理ポリシー策定を監督する ASO/AC(A.1)のメンバーの一人として、活動を実施してきた。これらの委員活動に関連し、国内のポリシーフォーラム、APNIC のポリシーフォーラムにて資源管理ポリシーを提案、コミュニティにて合意を得られた提案は、インターネットの資源管理に利用されている。

本研究においては、グローバルポリシー策定を監督する ASO/AC という立ち位置から、APNIC 地域の資源管理ポリシープロセスの在り方についても検討を実施した。検討対象は、APNIC において資源管理ポリシーを決定する過程の中で、大きな位置を占めるオープンポリシーミーティング参加者とした。このミーティング参加者の詳細等は、第 2.5 節に述べる。

2.2. インターネットプロトコルと IP アドレス

IP (Internet Protocol/インターネットプロトコル) は、今日のインターネットで通信の基盤として利用されているプロトコル (通信規約) である。IP が登場し広まる以前は、コンピュータベンダ、ソフトウェアベンダ等がそれぞれの通信プロトコルを策定し、個別に利用している場合が多かった。例えば、DEC 社が、自社のコンピュータどうしを接続するために開発した DECnet[1] や、IBM 社が開発した通信アーキテクチャである SNA(Systems Network Architecture)[2] などのプロトコルにより、基本的にそれぞれのプロトコルを利用したコンピュータ間の通信のみが可能であった。また、通信メディア (イーサネット、専用線、無線など) によっても、それぞれ別のプロトコルが規定されており、違う通信メディアを利用するコンピュータどうしが情報を交換することに対するハードルが高かった。現在では、多くの機器が IP を通信プロトコルとして採用しており、また、多くの通信メディア上で IP が利用可能であるため、異種の通信メディアに接続した異なるベンダの機器どうしでも IP を利用して情報交換をすることが可能となっている。

2.2.1 IP による通信

PC などのホストが Web サーバにアクセスすることを考える。ホストは、情報を得るため、Web サーバに対して、情報要求のリクエストを送信する。Web サーバでは、ホストからの情報要求に対し、必要な返答データを準備、複数の IP パケットと呼ぶ単位に分割して送信する。IP パケットは、IP ヘッダと IP データグラムから構成される。IP ヘッダには、IP アドレスや通信制御に必要な情報が含まれ、この情報を利用して、装置の特定と経路制御を実現する。異なる物理ネットワークを相互接続するために、IP ルータを用いる。IP ルータは、IP パケットを経路情報に従って転送する。経路情報とは、IP ルータが保有している情報であり、IP パ

ケットの転送先を示している。ホストでは、受信した複数の IP パケットから転送されてきた情報を再構築し、ユーザに提示する。

2.2.2 IP アドレス

インターネットに接続される機器は、「IP アドレス」と呼ばれる識別子によって区別される。全ての通信機器には IP アドレスが付与されており、通信の際に、相手の IP アドレスを指定する。IP アドレスは、IPv4 では 32 ビット、IPv6 では 128 ビットのビット列である。

IP アドレスは、ネットワークを識別するネットワーク部と、個別のノードを識別するホスト部に分割される。IPv4 アドレスでは、ネットワーク部は可変長であり、ネットワーク部とホスト部を識別するために、ネットマスクと呼ばれる 32 ビットの値が用いられる。一般的に、32 ビットの IPv4 アドレスにおいては、上位ビットがネットワーク部に、下位ビットがホスト部となり、境界が、ネットワーク部を表す上位のビット数によって指定される。例えば、ネットマスクが /24 の場合、上位の 24 ビットがネットワーク部、下位の 8 ビットがホスト部となる。

IPv6 ではネットワーク部は上位 64 ビット固定長 (ネットマスク /64) として運用されることが多い。

2.2.3 AS と AS 番号

インターネットはネットワークどうしの接続により構成されている。統一された運用ポリシーによって管理されたネットワークを自律システム (AS: Autonomous System) と呼ぶ。この AS の識別子として割り当てられている番号が、AS 番号である。AS 番号は、従来 16 ビット長であったが、インターネットの拡大に伴い、世界的に自律システム数が増加したため番号空間が不足し、32 ビット長に拡張された。

グローバルインターネットにおけるネットワーク間 (AS 間) の経路制御プロトコルには、BGP[3] が利用されており、BGP は、AS 番号と、AS が保有する IP アドレスの情報を利用して動作している。

2.3. インターネット管理構造

本節では、インターネットの管理構造について述べる。

2.3.1 インターネットの標準化・管理構造

インターネットは米国の研究プロジェクトとして開始された ARPANET がその原型である。インターネットに接続される組織が増加し、インターネット上で利用されるプロトコルは、IETF (Internet Engineering Task Force)¹ にて標準化が実施されるようになった。また、インターネット全体の方向性は、IAB (Internet Architecture Board)² により議論されている。IAB は、インターネットの世界的な普及推進を実施している団体である ISOC (Internet Society)³ と協力し、活動している。

現在のインターネット管理組織は、

- 資源管理組織
- 技術標準化組織
- 普及推進組織

の3つに大別することができる。図 2.1 に、現在のインターネット管理組織構造を示す。

2.3.2 インターネット資源管理の構造

IP アドレスをはじめ、AS 番号、プロトコル番号といった、インターネットで利用されている番号資源（インターネット資源）は、世界中で一意になるよう、管理が必要である。この管理は、非営利の国際組織 ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)⁴ に委託されている IANA (Internet Assigned Numbers Authority)⁵ により実施されている。IANA は、資源の管理を効率的に実施するために、IP アドレス、AS 番号資源の分配を下位組織に位置づけられる地域レジストリ (RIRs: Regional Internet Registries, 現在、世界に 5 組織 (北米地

¹<http://www.ietf.org>

²<http://www.iab.org>

³<http://www.isoc.org>

⁴<http://www.icann.org>

⁵<http://www.iana.org>

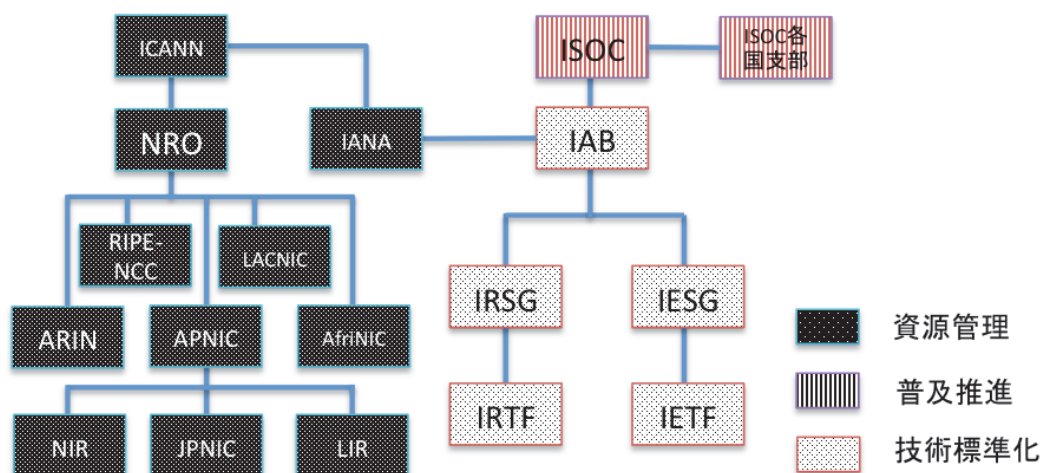


図 2.1 インターネットの管理組織構造

域の ARIN(American Registry for Internet Numbers)⁶, ヨーロッパ地域の RIPE-NCC(Réseaux IP Européens Network Coordination Centre)⁷, アジア太平洋地域の APNIC(Asia Pacific Network Information Centre)⁸, 南米地域の LACNIC (Latin American and Caribbean Internet Addresses Registry)⁹, アフリカ地域の AfrinIC (African Network Information Center)¹⁰ 存在する) に委譲している. RIR は, 各地域の ISP 等の LIR (Local Internet Registry) からのインターネット資源要求に対して, 必要量の資源を割り振っている. 地域によっては, 国別インターネットレジストリ (NIR: National Internet Registry) が存在し, 資源要求を中継している. JPNIC (Japan Network Information Center) は, NIR の一つである. 図 2.2 に, インターネット資源管理構造を示す.

2.3.3 ICANN の役割と組織構成

ICANN の役割は, 一義的にはインターネット資源の管理である. ICANN の定款 [4] には, ミッションとして,

⁶<http://www.arin.net>

⁷<http://www.ripe.net>

⁸<http://www.apnic.net>

⁹<http://www.lacnic.net>

¹⁰<http://www.afrinic.net>

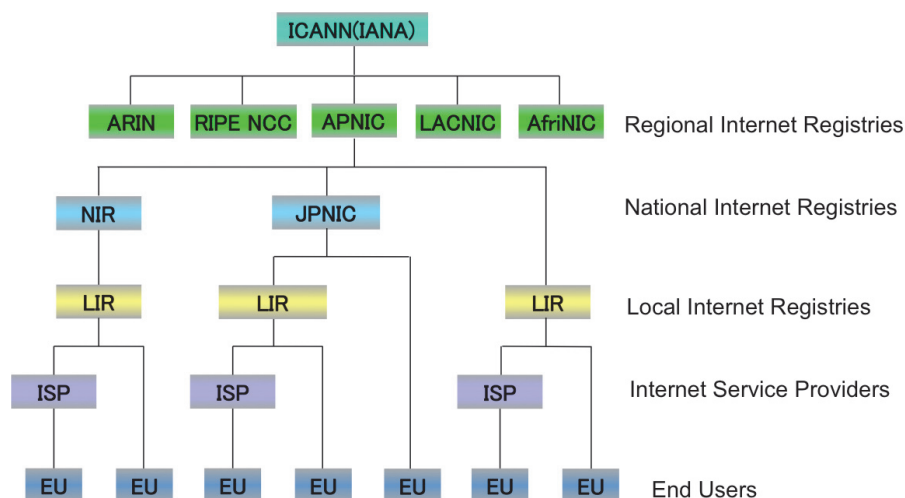


図 2.2 インターネットの資源管理組織構造

1. インターネットにおける，以下の3つの一意な識別子の割り振り・割り当ての調整
 - (a) ドメイン名
 - (b) IP アドレス，自律システム (AS) 番号
 - (c) プロトコルポート番号，パラメータ番号
2. DNS ルートネームサーバシステムの運用と発展に関する調整
3. これらの技術的役割に関連するポリシー策定に関する合理的・適切な調整

が挙げられている。

図 2.3 に，ICANN の組織構造を示す。ICANN の理事会は，投票権のある 16 名と，投票権のない 5 名の理事により構成される。投票権のある理事は，ICANN の選出委員会 (NomCom: Nominating Committee) が応募に基づいて選出する 8 名と，3 つの ICANN 支持組織 (SO: Supporting Organization) である，アドレス支持組織 (ASO: Address Supporting Organization)，一般ドメイン名支持組織 (GNSO: Generic Names Supporting Organization)，国別ドメイン名支持組織 (ccNSO: Country Code Names Supporting Organization) が選出する 2 名ずつの計 6 名，At Large 諮問委員会 (ALAC: At-Large Advisory Committee) から

選出される1名，及びICANN CEO 1名からなる．その他，国際調整を円滑に進め，インターネットの安定運用，外部組織とのリエゾンを図るための5名の理事（ルートサーバシステム諮問委員会（RSSAC），セキュリティと安定性諮問委員会（SSAC）, IETF リエゾン，技術リエゾングループ（TLG, ITU-T や W3C とのリエゾン），及び，各国政府がICANN に対して意見提起をするための組織である政府諮問委員会（GAC: Governmental Advisory Committee）より1名の理事）により，各種の議論が実施される．

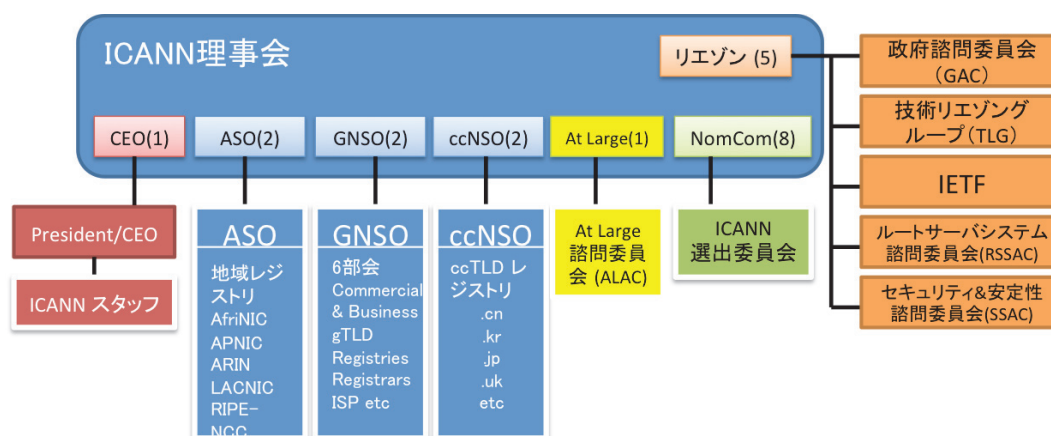


図 2.3 ICANN の組織構造

2.3.4 インターネット資源管理とアドレスポリシー

IP アドレス，AS 番号資源を配布するための規約を，「アドレスポリシー」と呼ぶ．RIR を含むインターネットレジストリでは，アドレスポリシーを文書化し，このポリシーに基づいてアドレス，AS 番号の配布を実施している．アドレスポリシーには，IANA と RIR 間のアドレス配布ポリシーである「グローバルポリシー」，各 RIR 間で調整を実施して制定される「グローバルコーディネーテッドポリシー」，各 RIR ごとに，RIR コミュニティ内のアドレス配布に使用される「ローカルポリシー」が存在する．各アドレスポリシーは，インターネットレジストリが策定するものではなく，各地域のコミュニティによるボトムアッププロセスにより決定されている．各 RIR は，それぞれアドレスポリシーの制定プロセス (Policy Development Process: PDP)

を制定しており，ポリシーを議論する「ポリシーフォーラム」を設置している．アドレスポリシー案はこのポリシーフォーラムに提案，議論され，合意が得られた場合にアドレスポリシーとして制定される．このポリシーフォーラムには，誰でも提案が可能となっている．

アジア・太平洋地域においては，APNICが年二回，オープンポリシーミーティングを開催しており，APNIC地域のアドレスポリシーはこのミーティング，及び，APNICポリシーSIGメーリングリスト上で議論され，決定される．

日本国内においても，ポリシーフォーラムが構成されており，有志の集まりであるPolicy Working Groupが，JPOPF (Japan Open Policy Forum)¹¹を運営し，国内でのポリシーの議論を主導している．

2.3.5 インターネット標準化組織の構造

インターネット技術の標準化は，IABを中心とし，IESG (Internet Engineering Steering Group)，IETF，IRSG (Internet Research Steering Group)，IRTF (Internet Research Task Force)等の組織にて実施されている．

- IAB (Internet Architecture Board)

IABの役割は，インターネットの全体像 (big picture)を見守り，IETFの各エリアにおける活動を，長期的な観点から調整する．IABは，インターネットにおける長期的な重要課題についての情報入手に勤めており，それらの課題について，必要だと考える人々に情報を提供している．IABメンバは，IETFの日々の活動に注意を払っている．新しいIETF WG (Working Group)が提案されると，IABは，アーキテクチャ的な整合性と統一性についてチャータをレビューする．チャータが起草される前でも，IABメンバは提案者たちと新しいアイデアについて議論することを望んでいる．IABはIRTFを組織，支援しており，特定のインターネットのアーキテクチャの課題に対し，掘り下げてレビューするための専門家によるワークショップを開催する．一般的に，そのワークショップの報告書はIETFコミュニティへやIESGへの提言となる．その他，IABは，以下のような活動を実施している．

¹¹<http://www.jpopf.net>

-
- IETF 指名委員会による IESG メンバの指名を承認
 - IESG や IAOC の活動に対する要請に対し， 上訴委員会として機能
 - RFC Series Oversight Committee (RSOC) を通し， RFC 文書を監督
 - IANA への登録の承認
 - ISOC への諮問機関としての活動
 - 他の標準化団体と IETF の連携の監督

IAB のメンバ は指名委員会 (NomCom) によって選任され， ISOC 理事会によって承認される． 任期は 2 年となっている．

- IESG (Internet Engineering Steering Group)¹²

IESG は， IETF の活動とインターネットの標準化プロセスについて， 技術的な管理責任を持つ組織である． IESG は， ISOC 理事会によって承認された規則と手続きに従い， 標準化プロセスを監督する． しかしながら， 他の多くの標準化団体とは違い， 標準化に対し， IESG は直接的なリーダーシップを取らない． IESG の役割は， Steering Group という名前の通り， 標準化を指示することではなく， 方向性を提示することである． IESG は， IETF のワーキンググループの成果の批准/誘導， IETF におけるワーキンググループの作成/解散の実施， RFC 化されそうなワーキンググループに属していないドラフトが正しいかどうかの確認等を実施する． IESG は， 8 つの標準化エリア (Application Area, General Area, Internet Area, Operations and Management Area, Real-time Applications and Infrastructure Area, Routing Area, Security Area, Transport Area) の代表 (2 名ずつのエリアディレクタ (AD)) から構成される． AD は， 指名委員会によって選出され， 任期は 2 年である．

- IRSG (Internet Research Steering Group)¹³

IRSG は， IRTF チェアとともに， IRTF を監督する組織である． IRSG は， IRTF チェア， IRTF 下の研究グループのチェア， IRTF

¹²<https://www.ietf.org/iesg>

¹³<https://irtf.org/irsg>

チェアが他の IESG メンバの協力の下に IETF コミュニティから選出し、IAB に承認されたメンバより構成される。IRSG は、IRTF 下の研究グループを管理することに加え、インターネットの革新に重要な研究エリアに関するワークショップ等を開催する。また、IRSG は、IRTF 文書群として発行される各文書 [5] について、レビューし、承認を実施する [6]。

- IRTF (Internet Research Task Force)¹⁴

IRTF のミッションは、インターネットの革新のために必要な研究活動を促進することである。このために、インターネットのプロトコル、アプリケーション、アーキテクチャ、技術に関連する内容に取り組む 特定分野に焦点を当てた長期的な研究グループを組織する。比較的短期的な技術開発や標準化に取り組む IETF と並行して運用される組織である。

2.3.6 インターネット普及推進組織

インターネット普及推進組織として、国際的な非営利会員組織である Internet Society (ISOC) が存在する。ISOC は従来、IETF に対し、財政的、法的（著作権等）な支援を実施するための組織として組成された。現在では、世界中の企業、団体、学術機関、政府機関、個人などが集まり、インターネット標準化サポート、普及支援、教育などに関する活動を実施している。

2.4. インターネット運用組織における意思決定

本節では、インターネット運用管理組織における意思決定の方法について述べる。

¹⁴<https://irtf.org>

2.4.1 アドレス管理コミュニティ (RIR) におけるアドレスポリシーの策定

第2.3.4節で述べたように、IPアドレスやAS番号といったインターネット資源の配布ポリシーは、各RIRごとに制定されているPDPに基づいてボトムアップで議論、制定される。各地域におけるPDPには違いがあるが、各地域のコミュニティ内での合意に基づいて意思決定が実施されるという観点では同様である。

APNICにおけるポリシー制定プロセスは、2003年に提案され、2004年に、“APNIC Policy deployment process” [7]として規定されている。このプロセス提案は、提案番号1(prop-001)となっており、以降のポリシー提案には、通番がつけられている。ポリシー議論には、年二回のAPNICカンファレンスで実施されるface-to-faceミーティング（APNICオープンポリシーミーティング、APOPM）、メーリングリストが利用される。

ポリシー制定プロセスは、以下の三点を重要視している。

- オープンであること
 - － 誰でもポリシーを提案できること
 - － 誰でもポリシー提案の議論に参加できること

- 透明性

APNICが、全てのポリシー議論と意思決定を一般に文書として公開すること

- ボトムアップ

ポリシーの議論・決定がコミュニティによって運用されること

APNICのポリシー制定プロセスは、ミーティング前、ミーティング中、ミーティング後の3大フェーズから構成される。

- ミーティング前フェーズ

提案実施者は、ミーティング前に、APNICにおけるポリシー議論の実施舞台であるポリシーSIG(Special Interested Group)のチェアが指定した締め切り日までに、問題を提起する。提案は、face-to-face

ミーティングの少なくとも4週間前に、提案を議論する APNIC ポリシ SIG メーリングリストに投稿されねばならない。

ポリシ SIG のチェアは提案を受領した後、コミュニティで議論するために、提案をメーリングリストに投稿する。提案に対しては誰でも意見を提起して良い。メーリングリスト上での議論は、face-to-face ミーティングに参加できないコミュニティメンバの意見を聞くために重要である。メーリングリスト上での議論は全て、APOPM での提案議論実施の際に考慮される。

- ミーティング中フェーズ

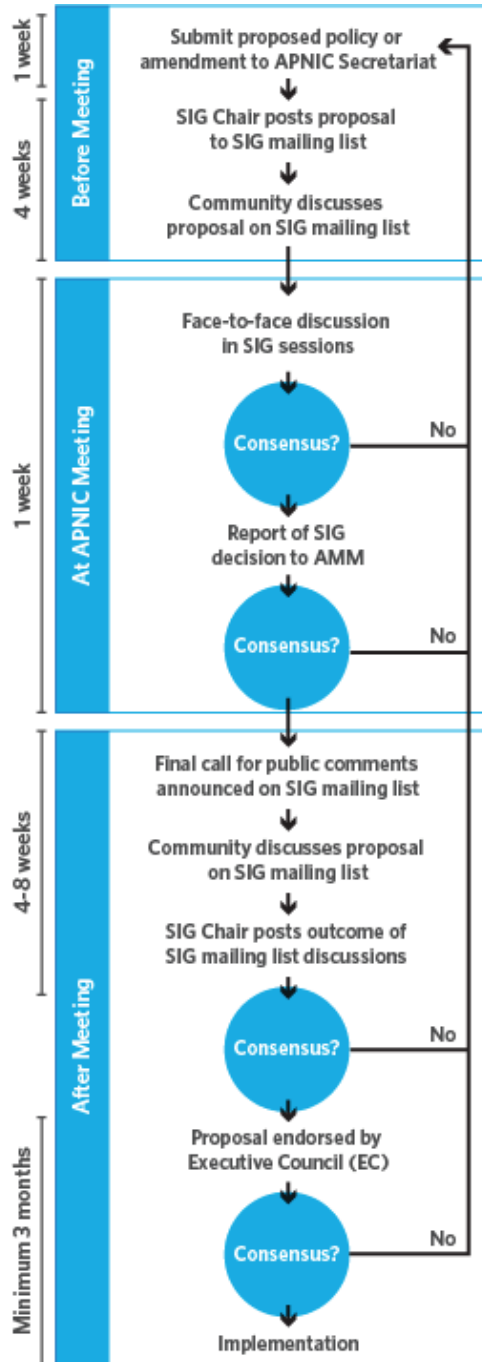
APOPM において、ポリシ提案のプレゼンテーションが実施される。コミュニティは、APOPM においても、提案に対してコメントを実施する。提案が合意に達した場合、ポリシ SIG チェアは、決定事項について、APNIC メンバミーティング (AMM) に報告する。AMM においても提案に対する合意の是非が図られる。このように二段階になっている理由は、APNIC はメンバ組織であり、組織としての意思決定が必要なためである。APOPM は、インターネットコミュニティ全体での合意形成、AMM は APNIC メンバでの合意形成となる。

- ミーティング後フェーズ

AMM での提案合意後一週間以内に、メーリングリストにおいて、4~8 週間の意見募集が実施される。この意見募集にて、APOPM で議論中に提案に変更があった場合、コミュニティが変更された提案にコメントをいう機会を提供する。コメント期間中に、提案が合意に達したと判断された場合、ポリシ SIG のチェアは、APNIC 理事会に対し、提案の承認を依頼する。

APNIC 理事会によりポリシ提案が承認された後、APNIC 事務局にて、ポリシが実装される。提案の実装は通常、理事会承認の後、最短で3ヶ月後となる。

APNIC におけるポリシ制定プロセスの概略を図 2.4 に示す。



<http://www.apnic.net/community/policy/process> より抜粋

図 2.4 APNIC におけるポリシー制定プロセスダイアグラム

2.4.2 標準化コミュニティ (IETF) における標準策定

IETF における標準は、すべて RFC(Request for Comments) という文書として発行される。RFC には、以下の種類がある。

- Proposed Standard (提案標準)
- Standard (インターネット標準)
- Best Current Practice (現時点での最前の実践)
- Informational (情報提供)
- Experimental (実験)
- Historic (歴史的)

このうち、Proposed Standard RFC と Standard RFC が、Standard Track RFC と呼ばれ、IETF における標準化文書となる。標準化をしたい内容を含む IETF における全ての議論は、インターネットドラフト (Internet Drafts, IDs) として提出される。図 2.5 に、RFC の種類の変遷を示す。

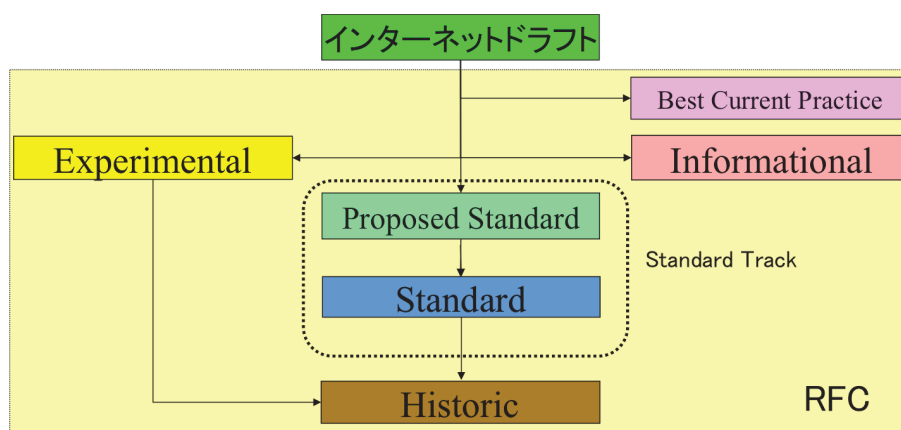


図 2.5 IETF 標準化文書 RFC のステータス変遷

インターネットドラフトは、誰でも提出可能である。

IETFにおける標準化作業は，“ワーキンググループ”を中心として処理されている。2014年10月現在，IETFには8つの標準化エリアがあり，それぞれのエリアごとに，数多くのワーキンググループが設置され，インターネットドラフトに基づいて議論を実施している。インターネットドラフトがRFCとなる基本ステップは，以下の通りである。

1. 文書を，インターネットドラフトとして公開（IETFに登録）する。
2. ドラフトに対して，コメントを受け取る。
3. 文書に，コメントを反映し，改版する。
4. 1～3を繰り返す。

ワーキンググループに提出されたドラフトの場合，この段階でワーキンググループドラフトとして，ワーキンググループ内で議論される。

5. ドラフトをIESGに提出することを依頼する。ドラフトが，個人ドラフトの場合には，直接エリアディレクタに，ワーキンググループに提出されたドラフトの場合には，ワーキンググループチェアがエリアディレクタにIESGへの提出を依頼する。
6. 依頼を受けたエリアディレクタは，ドラフトを審査し，改版が必要な場合には更新を求める。
7. IETF last call（IETFメンバからの意見募集）を実施。エリアによっては，審査を実施するチームによるチェックがある。
8. IESGメンバによる最終審査。IESGメンバからの要求に応じて，改版を実施。
9. RFCエディタに，ドキュメント発行依頼。

2.4.3 資源管理コミュニティ（ICANN）におけるポリシー策定

ICANNにおけるポリシー調整は，それぞれの支持組織から理事会に提出される提案をベースに実施される。各支持組織では，内部で意見の調整を図り，ICANNの

理事会を通すことでインターネット資源管理のポリシー（ICANN レベルのポリシーは、特にグローバルポリシーと呼ばれる）が策定・変更されることになる。ICANN に関与するためには、年 3 回開催されるオンサイトミーティングに参加することはもちろんのこと、ICANN 関連のメーリングリストでの意見提起や、ICANN の Web サイト¹⁵にて募集される、パブリックコメントへの応募などが利用できる。特に、オンサイトのミーティングは、参加費は無料となっており、参加者が直接 ICANN の理事会に意見提起できるようなセッション（パブリックフォーラム等）も多数設けられている。また、各支持組織の内部ミーティングなど、ほとんどの会合は誰でも参加できるようになっており、通例最終日に開催される ICANN 理事会は、ステージ上に全ての理事が並び、公衆の面前で議論、議決をするような形態となっている。

RIR は、ICANN のアドレス支持組織（ASO）を構成しており、ICANN の IP アドレス/AS 番号の管理ポリシーに対して意見を提起する主体になっている他、それぞれの地域内にポリシーを議論するフォーラムを設け、IP アドレス/AS 番号管理ポリシーの議論主体にもなっている。ICANN における IP アドレス/AS 番号に関するグローバルポリシーの制定/改正が必要な場合には、各地域のポリシーフォーラムでの合意が必要とされている。各ポリシーフォーラムに特に参加資格はなく、誰でも議論に参加できるようになっており、IP アドレスの利用者がポリシー議論を主導する、ボトムアップの形式にて ICANN ポリシー議論が実施されている。

2.5. 本研究の対象コミュニティの特徴と目的

本研究では、APNIC の管轄であるアジア・太平洋地域において、IP アドレス等インターネット資源の配布規約であるアドレスポリシーを議論、制定している APNIC オープンポリシーミーティング (APOPM) の参加者をアクションリサーチの対象コミュニティと定義する。

RIR ポリシー決定プロセスの特徴

アドレスポリシーは、インターネットの利用に関する重要なポリシーであり、その制定は各 RIR ごとに定義されているポリシー策定プロセスに従って議論される。

¹⁵<http://www.icann.org/>

RIRのポリシー策定はボトムアップで実施されており、アドレスを管理するRIRやIANA等が決めるものではない。誰でもポリシーを提案することが可能で、提案を含めプロセスに参加し、議論を実施することに関し、参加資格等の制限はない。また、基本的に国の代表によって議論がすすめられ、必要に応じて、国ごとに平等な投票によって意思決定が図られるITUやISOの国際標準化や、国際連合におけるプロセスとは違い、ポリシー制定に関する議論は実利用者を含む複数のステークホルダが参加するマルチステークホルダモデルにより実施され、参加者のコンセンサスベースとなっている。このポリシー決定プロセスにおいては、国家も一参加者¹⁶として議論に加わるようになってきている。アジア太平洋地域の一部の国では、IPアドレス等は電話番号等と同様、国家の管理となっている場合もあるが、国に対して意思決定上、特に強い権限は与えられていない。また、APNICのポリシープロセスにおいては、提案ポリシーの採択・非採択も、コミュニティから選挙で選ばれたポリシープロセスの監督者（ポリシーSIGチェア）が議論の結果を考慮し、判断する。ミーティングにおいて、議論の後、挙手等による賛成、反対の状況が確認されるが、これはチェアが判断の参考とするための情報という位置づけで、多数決でポリシー採択・非採択が決定されるわけではない。採択されたポリシー提案は、APNIC事務局によって文書化され、公示期間の後、有効化される。国ごとのアドレス配布組織であるNIRを含め、IPアドレスが必要な組織は、この文書に基づいてアドレスを申請、受領することとなる。

APNIC オープンポリシーミーティングの特徴

第2.4.1節で述べたように、APOPМは、APNICにおけるポリシー策定プロセス中の大きな位置を占めるface-to-faceミーティングである。APOPМにて、ポリシー決定プロセス上の、最初の提案採択判断が実施される。

前述のように、APOPМは、複数のステークホルダが参加して開催されている。ミーティングは、各国の国別レジストリ（NIR）のメンバ（一部の国では、国家組織の構成員（役人）となる）、アドレスポリシーに直接影響を受けるISP等ローカルインターネットレジストリ（LIR）のアドレス管理・申請担当者やオペレーション担当者、企業、大学等でアドレスポリシーやインターネットの運用に興味を持つ参加者、APNIC、及び他のRIRの事務局員等から構成され、50名～100名程度にて開催さ

¹⁶なお、インターネット標準化組織であるIETFにおいては更に国家の関与が少なく、標準化議論への参加は個人ベースとすることが基本ドキュメント [8] に述べられている

れている。NIR や他 RIR からは、女性の参加も多い（全体の2～3割程度）。また、会場の画像、音声配信するリモート参加環境も用意されており、会場におらずとも意見を述べることで、意思決定に参加することが可能である。最近では、APNIC 事務局がオフィシャルに準備し、相互に映像・音声を交換するリモート会場が用意される場合も多い。ミーティングに関し、参加資格は決められておらず、アドレスポリシ議論に興味を持つ人であれば、誰でも参加可能である。連続で参加するメンバも多いが、新規参加者もおり¹⁷、メンバが固定されているわけではない。

筆者は、IPv4 から IPv6 への移行をすすめるために、アドレスポリシを提案、実装してきた。本論文では、対象コミュニティにおいて、筆者が必要と考えるアドレスポリシ提案を成立させるために実施した方策の整理を通じ、コミュニティの特徴を分析し、コミュニティに与えた影響を検討、アドレスポリシ提案議論を円滑に実施するための方策について、整理する。また、筆者が実施してきた IPv4 アドレス枯渇対応、IPv6 普及推進施策について、IPv6 標準化実施当初からの状況変化を鑑み、過去に実施されたプロトコル・システムの移行事例との比較を実施、技術・ポリシ策定の両方の観点から整理、評価する。

¹⁷アドレスポリシ議論を活性化することを目的とし、APNIC が主に途上国を中心として参加者招待プログラムを実施している

第3章

インターネットの発展とIPv6の導入

本章では、インターネットの発展にともない発生した課題と、その対応策としてのIPv6の導入、及び、導入に伴い発生した新たな課題について述べる。

3.1. インターネットの発展と発生した課題

現在のインターネットで利用されているインターネットプロトコル IPv4 は、約 30 年前に設計された。その後、インターネットの発展とともに IPv4 にもいくつかの改良が加えられてきたが、当時の基本的な設計概念はほぼそのまま利用されている。四半世紀以上に渡り、一つのプロトコルが使われ続けている、ということは、IPv4 の設計思想が非常に優れていたことを示している。

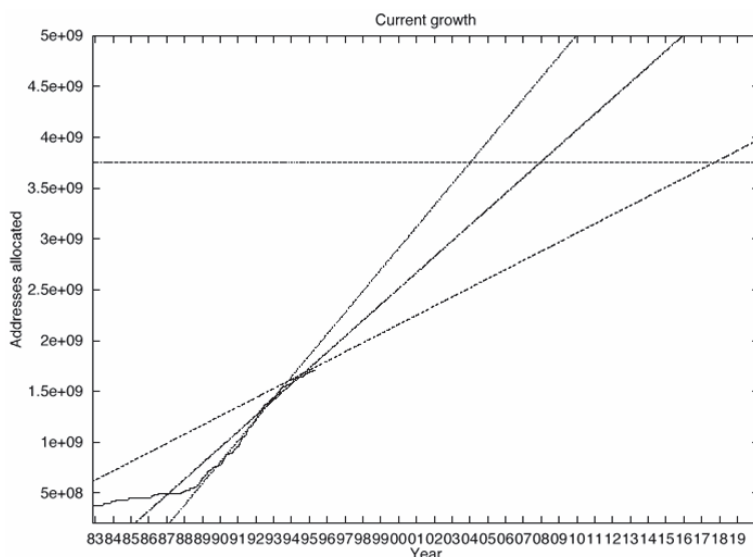
しかしながら、インターネットの世界的な発展を受け、種々の問題も顕在化してきた。設計当初には十分にあると思われていた IPv4 のアドレス数に関する問題、また、世界的なネットワークの広がりによる経路数の増大による問題などがその例である。更に、インターネットが社会に必須のインフラストラクチャとして認知されてきていることに付随し、インターネットに対する新たな要求が発生した。安全な通信、より簡単なネットワークへの接続、通信品質の確保などがその代表的なものである。

3.1.1 IPv4 アドレス在庫に関する予測

第 2.2.2 節で述べたように、IPv4 アドレスは 32 ビット長であり、アドレス数としては 4,294,967,296 個となる、設計当時には、この空間は広大で使い尽すのが困難である、と想定されていた。このため、当初、IP アドレスの配布についても特に節約等は設けず、誰でも比較的簡単にアドレス取得することができた。当初の

アドレス配布は「クラス」という概念によって実施されており，接続されるホストの数により，小さな組織でクラス C (/24, 256 個のホスト)，少々大きな組織ではクラス B (/16, 65,535 個のホスト)，大規模な組織ではクラス A (/8, 16,777,216 個のホスト) といった空間のアドレスを取得することができた．しかしながらその後のインターネットの発展により，IPv4 アドレスが将来的に不足する，という予想が立てられた．その結果，クラスに基づく割り当て基準が見直され [9]，クラス A の配布を原則行わないこと，クラス B アドレス配布条件を厳しくすること，クラス C アドレスを地域ごとに分割してサイズに合わせて配布していくこと，が決定された．同時に，インターネットでのパケットの経路制御における，経路表のエントリ数の増加を極力抑えるため，経路の集約 (Aggregation) を考慮したアドレス割り当てを行うことも決定された．

図 3.1 に，1994 年に IETF の ALE WG (Address Lifetime Expectations Working Group) で発表された IPv4 アドレス在庫の寿命に関する予測を示す．当時の予測で，アドレス消費量がそのまま続くと仮定した場合には 2008 年頃に，もっとも悲観的な予測をした場合，2004 年頃には IPv4 アドレスが使い尽くされるとしていた．



IETF ALE WG の資料 <http://www.ietf.org/proceedings/31/ipng/ale.html> より
抜粋

図 3.1 IETF ALE WG によるアドレス枯渇予測 (1994)

その後、いくつかの組織で IPv4 アドレス在庫がなくなる、という予測が立てられ、IPv4 の後継プロトコルの標準化が急がれることとなった。

3.1.2 IPv4 アドレス在庫不足の進展

第 2.3.2 節で述べたように、IPv4 アドレスは階層的に管理されており、全体在庫を管理する IANA と、各地域にアドレスを配布する RIR、及び、RIR から配布を受けた ISP 等の利用組織にそれぞれ在庫が存在する。IANA に IPv4 アドレスの在庫が存在する間は、各 RIR に /8 単位 (従来のクラス A 相当のサイズ) で 2 つずつ、割り振りが実施されていた。IANA の在庫は、2011 年 2 月 3 日に、APNIC に最後の 2 つの /8 ブロックが分配され、同時に従来から定められていたポリシーに基づき、残る 5 つの /8 アドレスブロックを 5 つの RIR に公平に分配し、なくなっている。この日付は、1990 年当初に想定された時期とほぼ合致する。この時点で、IPv4 アドレスの在庫は、各 RIR が保有するもののみとなった。

その後、RIR での在庫も減少を続けている。IPv4 アドレス在庫枯渇の定義は各 RIR ごとに異なる。多くの RIR では、IPv4 アドレスの残りの在庫が一定数を切った時点で運用が開始される「アドレス在庫枯渇期の IPv4 割り当てポリシー」を定義しており、このポリシーが有効になった時点で、「IPv4 アドレス在庫枯渇」としている。APNIC と RIPE-NCC においては、アドレス在庫が最後の /8 になった時点 (IPv4 アドレス数にして、 $2^{32-8} = 16,777,216$ 個を下回ったとき) に、LACNIC, ARIN では、在庫が /10 になった時点 (IPv4 アドレス数にして、 $2^{32-10} = 4,194,304$ 個) で、「アドレス在庫枯渇期の IPv4 割り当てポリシー」を運用開始することとしている。既に APNIC, RIPE-NCC, LACNIC では IPv4 アドレスは枯渇しており、従来とは異なる IPv4 アドレス割り振りポリシーを使用している。

2015 年 1 月 28 日時点での、各 RIR ごとの IPv4 アドレス在庫の枯渇状況、及び、枯渇予測等を表 3.1 にまとめる。表 3.1 中、残アドレスは、当該日において、各 RIR が保有する IPv4 アドレスの絶対数 (/8 単位) となる。

表 3.1 IPv4 アドレス在庫の状況 (2015 年 1 月 28 日現在)

RIR	枯渇（予測）時期	枯渇の定義	残アドレス (/8 単位)
APNIC	2011 年 4 月 19 日	在庫が/8 となった時点	0.7562
RIPE-NCC	2012 年 9 月 14 日	在庫が/8 となった時点	0.9731
LACNIC	2014 年 6 月 10 日	在庫が/10 となった時点	0.1997
ARIN	2015 年 5 月 11 日	在庫が /10 となった時点	0.4114
AfirNIC	2019 年 4 月 11 日	現状, 枯渇の定義なし	2.7715

<http://www.potaroo.net/tools/ipv4/> より作成

3.2. IPv4 インターネットにて発生した課題への対応

3.2.1 IPv4 アドレス在庫不足への対応

IPv4 アドレス在庫の減少に伴い、世界各地で IPv4 アドレス在庫不足への対応方法が検討されている。日本においても、総務省が主導した研究会¹、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²、IPv4 枯渇対策タスクフォース³などで議論されており、対策として以下の3つが有効だとされている [10]。

1. IPv4 アドレス共有技術の導入

一つの IPv4 アドレスを複数ユーザで共有することで、利用効率を上げ、IPv4 の利用を引き続き可能とする方法である。従来より、ISP から割り当てられた一つの IPv4 アドレスを複数台の機器で共有して利用する方法として、家庭ネットワーク等で使用されてきた NAT 技術を、より範囲を拡大して利用することもその一つである。NAT 技術の利用においては、既存技術をスケールアップして用いるため、導入のハードルは低いとされているが、現在使われ

¹IPv6 によるインターネットの利用高度化に関する研究会,
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/ipv6_internet/

²<https://www.nic.ad.jp/ja/ip/ipv4pool/jpnic-works.html>

³<http://kokatsu.jp>

ているアプリケーションへの影響，サーバ側での導入ができないこと等が問題となっている。

2. IPv4 アドレスの有効利用

使われていない IPv4 アドレスの回収，余っている IPv4 アドレスの融通，配布されていないアドレスを利用するなどして，IPv4 アドレスの利用効率を上げ，IPv4 の延命を図る方法である。しかしながら，今後，どの程度の IPv4 アドレスが流通するか不明であり，必要なときに必要な量の IPv4 アドレスが入手可能かわからないこと，また，不要なアドレスの回収に伴い，IPv4 アドレスが細分化され，IPv4 経路表のさらなる増大を招く可能性が高い，といった問題点が指摘されており，効果は限定的であると考えられる。IPv4 アドレスの未使用部分の利用（Class E）の配布等も検討されたが，当該空間を扱えない既存機器が存在する等の問題があり，採用には到っていない。

3. IPv6 の導入

IPv4 アドレスの不足に対して，本来解として検討された新規プロトコルである IPv6 への移行を促進することで，本対応は，IPv4 アドレス在庫不足に対する根本的な解決となる。

以上の方策のうち，IPv6 の導入が IPv4 アドレス在庫の不足に対する唯一永続的な解となる。しかしながら，現在の IPv6 の普及状況等から，IPv4 を極力延命し，その間に IPv6 の導入を進めていくことが必要であるとされており，それぞれ独立に対策が実施されてきた。

3.2.2 IPv6 の標準化

IPv6 の導入及び IPv4 からの移行は，IAB を中心としたインターネットの標準化・管理コミュニティを中心に実施されてきた。第 3.1.1 節で述べたように，IPv4 アドレスの不足は，既に 1990 年代前半には予測されており，IPv4 を引き継ぐプロトコルに関する議論は 1992 年頃に開始していた。IETF における議論の結果，後

継プロトコルが決定，IPv6として標準化が開始され，その第一版[11]は1995年に公開されている。

運用方面においても，仕様の策定に並行し，国際的なIPv6実験ネットワークである6bone⁴が標準化コミュニティにより構築された。この実験ネットワークには研究組織だけでなく，実ネットワークを運用している組織も多く参加しており，その後の実IPv6ネットワーク構築の際に，運用ノウハウを引き継ぐこととなった。6boneでは，RFC2471[12]で規定された実験用IPv6アドレスを利用していた。IPv6のプロトコル仕様がほぼ確定し，実運用の目処もがたったことから，1998年，インターネットレジストリにより商用利用も可能なIPv6アドレスの配布がはじまり，IPv6の実利用が開始された

3.3. IPv6 普及の現状

3.3.1 IPv6 導入の状況

2015年現在のIPv6導入状況を以下にまとめる。

- 規格の状況

IPv6のプロトコル規格はほぼ標準化は完了しており，実際の利用が広まるにつれて発生する問題に対応するため小規模な改変が実施されている。

- 機器の対応状況

- － 端末機器のOS等

今日利用されているPC用のOS，スマートフォン用のOSはほぼIPv6に対応済である。しかしながら，組み込み系OSでは未対応のものが存在する。

- － ネットワーク機器

中規模以上のルータ等は，ほぼ，IPv6対応済であるが，家庭用ブロードバンドルータでは未対応のものが存在する。

⁴<http://www.gogo6.com/page/6bone>

– その他のネットワーク機器

セキュリティ機器等，プロトコル上位階層を扱う機器では，IPv4と同等の対応ができないものも存在する。

● 固定系ネットワーク接続サービスの対応状況

商用サービスとしてIPv6接続を提供するインターネットサービスプロバイダは増加しているが，世界的にはまだ普及途上であり，特にコンシューマ向けのサービスが提供されている国は多くない．日本国内では，コンシューマ向けIPv6サービスが提供されており，ほぼ国内全域でIPv6サービスが利用可能であるが，現状，ユーザ数は多くはない．

● モバイル系ネットワーク接続サービスの対応状況

IPv6サービスを提供しているモバイルキャリアも増え始めているが，多くはない．米国では，Verizon等がIPv6対応を積極的に進めている．国内では，KDDI, NTT DocomoがIPv6接続サービスを提供しているが，ユーザは多くない．

● コンテンツサービスの対応状況

Google, Facebookといった世界的にユーザの多いサービスがIPv6に対応している．国内でも，IPv6対応のサービスは増加中であるが，大規模なコンテンツプロバイダによる対応は進展していない．

3.3.2 IPv6導入の意義

IPv6はIPv4を置き換えることを目的として標準化された．IPv4からIPv6への移行は，インターネットプロトコル階層的には，以下のような意味がある．

1. OSIのプロトコル階層的に，第3層の置き換えとなる．第4層であるトランスポート層以上の，TCP, UDPなどはほぼそのまま利用可能となっている．
2. 第2層には，IPv6を扱うための変更が入っている．具体的には，第3層プロトコルとしてのIPv6を識別するための値が追加された．イーサネットでは，‘86dd’がIPv6のプロトコルタイプ番号として追加された．

-
3. IPv6に対応するためには、ソフトウェアの更新等、機器側での対応が必要である。
 4. 既存のIPv4との互換性を確保するため、IPv6対応機器は、IPv4も同時に利用可能とする「デュアルスタック」構成が推奨されている。IPv6に対応できない機器等のために、IPv4とIPv6間のプロトコル変換を実施する機構も準備された。
 5. インターネットでユーザが利用する、機器の名前空間は、IPv4とIPv6で共用された。名前としてのFQDN(Fully Qualified Domain Name)は、IPv4アドレスと、IPv4アドレスの両方をもつことが可能であるため、ユーザは、実際に利用するプロトコルを意識しないですむようになったが、フォールバック等の問題が発生することとなった。

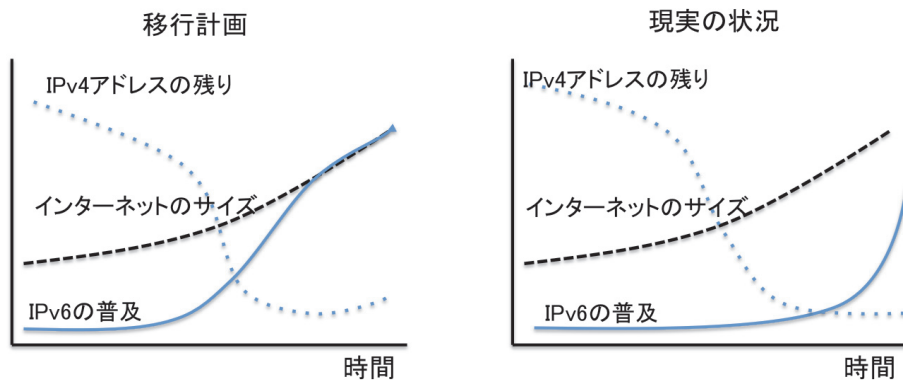
3.3.3 IPv6導入の想定と現状

前章で述べたとおり、IPv4からIPv6への移行はIABが主導し、IETF、RIRといったインターネット標準化、資源管理コミュニティを中心に実施されてきた。また、普及に伴い、インターネットに接続される組織のネットワークオペレータもこの動きに合流し、インターネット標準化・資源管理・運用コミュニティにより、IPv6の導入が進められている。更に途上国を中心として、インターネットをインフラストラクチャの一つとして、国が関与し、国レベルでのIPv6普及推進を実施している例も多い。

しかしながら、IPv4からIPv6への移行は、IPv6標準化当初の想定通りには進んでいない。図3.2に、2008年のIETFミーティングにおいて発表された、「IPv6導入の理想と現実」に関するグラフを示す。

当初、IPv4は順次利用が減少し、IPv6に置き換わっていく、という想定であった。しかしながら実際には、IPv4の利用は減少せずますます拡大し、一方でIPv6の導入はあまり進んではいない。

IETFにおける標準化自体も、当初の想定に応じて実施されてきた。2008年のミーティングでは、IPv6の普及が遅れている現状を踏まえ、標準化の方向性を変更していくべき、ということが提案され、IPv4アドレスの枯渇対応、IPv6普及の促進に必要な技術の標準化を早急にすすめていくこととなった。これに呼応し、資



<http://www.arkko.com/ietf/v4v6/townsley-64-coexist-00.pdf> より作成

図 3.2 IPv6 普及の理想と現実

源管理コミュニティにおいても、IPv4 の延命、IPv6 導入を容易にするためのポリシー制定がすすめられて来た。

インターネットは発展を続けており、IPv4 利用の拡大は現在も続いている。並行して、IPv6 導入の必要性も増大している。

次章では、IPv6 導入において発生している課題について、インターネット発展の経緯から考察する。また、インターネットにおいて過去に発生したプロトコル移行や、社会システムの移行事例を分析し、IPv6 の導入に関する課題について検討する。

第4章

IPv6導入時の課題

本章では、インターネットにおいて、プロトコル標準化等を実施する際に検討すべきグローバル性、ローカル性の課題について考察する。また、過去に実際に発生したいくつかのプロトコル・システム導入事例について述べ、移行に必要な要件を検討する。

4.1. グローバルインターネットと地域性

インターネットはグローバルな空間であり、国の枠を超えてネットワークが相互に接続されている。このため、インターネット上で利用される標準技術、資源管理ポリシーはグローバルな共通性をもつ必要がある。標準化技術に、地域ごとに差がある場合、相互接続性に問題が発生する可能性がある。資源管理ポリシーにおいても、地域ごとにIPアドレス等のインターネット資源取得の容易性が異なる場合、公平性が問題となり、地域間の格差に結びつく可能性がある。

しかしながら、現状、国や地域ごとに習慣、法を含んだ各種制度、インフラストラクチャの発展度に差があり、ローカルな状況への対処も必要となる場合がある。資源管理ポリシーは、グローバルな共通性を保ちながら、ローカル性を最小限にすることが望ましいと考えられる。

4.1.1 インターネット資源管理ポリシーのグローバル性とローカル性

インターネット黎明期、IPアドレスやAS番号などのインターネット資源は中央集権的に管理されており、管理ポリシーは一つであった。インターネットの発展に伴い、商用にも利用されるようになり、資源管理に対して迅速性、確実性、効率性などが求められるようになり、資源管理構造が整備された。

第2.3.2節で述べたように、IPアドレスやAS番号の配布は、ICANNを頂点とし、実際の配布を地域5つのインターネットレジストリ（RIR）が、また、地域によっては、国ごとに設けられた国別インターネットレジストリが実施する階層構造となっている。この階層構造により、インターネット資源管理を効率的に実施できるようになったが、一方で、資源管理ポリシーに地域ごとのローカル性を持たせることにもなった。

IPv4 アドレス管理ポリシー

第2.3.4節で述べた現在のIPアドレスポリシー検討体制は、2000年前後に整備された。それ以前は、IPv4アドレスはIETFによって制定されたRFC2050[13]に基づいて配布されていた（RFC2050はその後改訂され、現在はRFC7020[14]となっている）。RFC2050はグローバルな文書であり、配布方法に地域ごとの差は存在しなかった。

現行のIPアドレスポリシー検討体制整備後、各地域のRIRによって個別にIPv4アドレス配布ポリシーが制定された。当初はRFC2050がベースとなっており、アドレス利用計画を提出することでアドレスの必要性を訴える必要があり、過去の割り当ても考慮して新規の追加割り当ての可否や追加割り当てのアドレス空間の大きさが決定され、最小の割り当て単位は /21 であった。

割り当て単位を小さくする（プレフィックス長としては長くなる）と、アドレスの利用効率は向上するが、経路制御の単位も小さくなるため、インターネットの経路表は増大する。すなわち、アドレスの利用効率と経路表の大きさはトレードオフの関係にある。そのため、IPv4アドレス枯渇があまり深刻に捉えられていなかった時期においては、最小割り当て単位は /21（アドレス数にして2048個）だったが、その後、数回の変更が行われ、APNIC地域においては、2011年5月に、/24（アドレス数にして256個）に変更されている。この事情は、IPv6でも同様である点に注意されたい。

RFC2050ベースの割り振りが実施されていた時期には、各地域ごとに大きな差異は存在しなかったが、その後、各地域ごとにポリシー改訂が実施され、細部が異なったものとなった。特に、IPv4アドレスの在庫不足が進展するにつれ、この差異は大きくなり、現在、IPv4アドレスの「枯渇」の定義、IPv4アドレス配布の要件などは各RIRごとにまちまちとなっている。

IPv6 アドレス管理ポリシー

IPv6 のプロトコルが決まり、実際に運用できるようになると、6bone アドレス空間のような実験目的の暫定的なアドレスではなく、永続的に利用できるアドレス空間が必要になった。そのため、IETF など非公式な議論が行われ、比較的小さなアドレス空間である /35 (IPv6 のグローバルな経路制御に使える空間に限定し、 2^{32} 割り当て分) を当初割り振った (後日 /32 に拡張できるように、間隔を開けて割り振ることで合意され 1999 年に配布が開始された)。この時点では、/48 を顧客に割り当てることを想定しており、当時の基準では 8,192 顧客分となっていた。その後、2002 年に、/32 (65,536 顧客分) を配布する様に拡張された。この際に制定された配布規約 [15] では、地域ごとの差は存在しなかった。

現行の IP アドレスポリシー検討体制整備後、IPv6 ポリシの見直しが行われたが、この改定は各 RIR 間で調整を実施して制定される「グローバルコーディネーテッドポリシー」であり、制定直後は各 RIR で同一のポリシーが施行された。

その後、IPv6 アドレスポリシーにおいても各地域ごとにポリシーが改訂され、現状の配布ポリシーは、地域ごとに異なったものとなっている。

4.1.2 インターネット標準とローカル性

インターネット標準はグローバルに議論されるが、その実装は地域ごとに異なり、ローカルに特化することがある。日本において、全国規模でユーザサービスとして提供されているグローバル IPv6 アドレスを用いた閉域アクセス網は、その一例と考えることができる。

4.1.3 IPv6 導入と地域性

IPv6 の導入を検討する場合、グローバル性、ローカル性に留意する必要がある。

ポリシー面においては、ポリシーの実装を検討する際に、他地域の状況を検討した上での対応が必要となる。

技術面においては、今日、ユーザが利用する端末や、サービス網構築に利用する機器は、標準化された技術を用いて実装されており、ローカルサービスに特化した機能を実装することは困難になっている。このため、ローカルサービスで発

生じた課題解決のため、標準化を実施する際には、グローバル観点からの検討も必要となる。

4.2. プロトコル・社会システム移行事例と移行に関する要件

本節では、インターネットにおいて過去に発生したプロトコル移行や、社会システムの移行事例を分析し、IPv6の導入に必要な要件について検討する。

4.2.1 インターネットプロトコル関連の移行事例

CIDR (Classless Inter Domain Routing) の導入

第2.2.2節で述べたように、現在、IPv4アドレスのネットワーク部は可変長であるが、IPv4の導入当初は、ネットワーク部は固定長であった。当初、IPv4アドレスは、ネットワークの規模に応じて、クラスA（約 $2^{24} = 16,777,216$ 個のアドレスが含まれる）、クラスB（約 $2^{16} = 65,536$ 個のアドレスが含まれる）、クラスC（約 $2^8 = 256$ 個のアドレスが含まれる）の3種類に分類され、接続組織の大きさにより、各クラスのアドレスブロックが割り振られていた。インターネットが普及し、接続される組織やノード数が増えてきたことにより、以下の課題が発生した。

1. アドレスクラスに基づく割り振りは、クラスCでは不足する組織に対して、クラスBを割り当てており、このような固定長でのアドレス割り振りではアドレスの使用効率が悪いことが問題になった。
2. アドレス割り当てが、ネットワークのトポロジを考慮せずに実施されたため、経路情報の増大が問題となった。

これらの問題を解決するため、IPv4アドレスのネットワーク部を可変長とする可変長サブネットマスク (Variable Length Subnet Mask: VLSM) が導入され、CIDR が用いられることとなった。これにより、組織の必要数に応じたアドレス割り当て、階層的なアドレス割り当てが可能となった。

CIDRの導入には、従来、IPv4のアドレスクラスをベースにしていた経路制御システムを扱うルータ、及び、インターネットに接続されるワークステーションな

どのエンドノードの改変が必要であった。しかしながら、既存の機器では VLSM の導入をしなければ、他のノードとの通信を含め、引き続き動作可能であり、また、後方互換性を確保するための技術を導入することで、すべての機器を同時に変更するのではなく、段階的な移行が可能であった。

CIDR への移行は 1990 年中盤から始まり、1990 年代末に完了しており、移行に成功した事例であると考えられる。

- 移行の成否

現在の IPv4 インターネットは CIDR ベースとなっており、移行は成功した。

- 移行実施の主体と、権限に関する強制性の有無

インターネット管理・運用組織が移行を主導。強制性はなかった。

- 後方互換性

VLSM に対応していない機器のために、proxy ARP[16] といった移行のためのプロトコルが導入された。これにより、既設機器はほぼそのまま利用可能となったが、セキュリティ等、導入に伴うあらたな課題は発生した。

- 導入期日

特に、flag day は規定されておらず、可能な組織・機器より、段階的に移行した。1990 年中頃から移行が始まったが、移行しない機器等も引き続き動作可能であったため、対応終了時は明確でないが、今日では移行は完了している。

- 影響範囲

インターネットを利用している機器すべてに影響があった。しかしながら、今日に比べインターネット利用が限定的であり、インターネット利用組織も研究組織等が中心で、変更柔軟に対応できた。

- 導入の効果

CIDR の導入は、VLSM を利用してアドレス割りに階層構造を導入することで、当時問題となっていたグローバル経路表の肥大化への対策となり、一時期、グローバル経路表のアドレス数はかなり減少した。

AS 番号の 32 ビット化

インターネットの組織間経路制御で利用されている AS(Autonomous System) 番号は当初、16 ビット幅であったが、インターネットの発展により、AS 番号の不足が予測され、32 ビット幅に拡張された。この移行にあたり、AS 番号を利用するプロトコルの改変として、BGP4 への機能追加 [17]、32 ビット AS 番号の配布機構の整備、32 ビット AS 番号の使用促進等が実施された。16 ビット AS 番号から 32 ビット AS 番号への移行は、ネットワーク間を接続する主要なサービスプロバイダの接続ルータにおいて対応が必須であるが、インターネット上の全ての組織が対応する必要はない。2014 年 5 月現在、IANA における 16 ビット AS 番号の在庫がなくなりつつあり、32 ビット AS 番号未対応組織への対応、残された 16 ビット AS 番号の配布方法の検討が進んでいる。

- 移行の成否

16 ビット AS 番号の在庫はなくなりつつあるが、32 ビット AS 番号の配布、利用は進んでいる。現在も移行途中であるが、成功しつつあると考えられる。

- 移行実施の主体と、権限に関する強制性の有無

インターネット管理・運用組織が移行を推奨している。移行について強制性はないが、16 ビット AS 番号の在庫はなくなりつつあり、また、32 ビット AS 番号の利用もすすんでいることから、ISP での対応はある程度必須であった。

- 後方互換性

BGP4 への機能追加の際、32 ビット AS 番号未対応の BGP ソフトウェアでも問題が発生しないよう、後方互換性をもったプロトコ

ルの制限が実施された。これにより、既設機器は一部機能に制約はあるものの、そのまま利用可能であった。

- 導入期日

特に flag day は規定されておらず、対応可能な組織・機器より、段階的に移行がすすんでいる。一部の未対応な Transit ISP では、顧客確保のために、対応が必要になっている。

- 影響範囲

新規に AS 番号を取得してインターネットに接続する組織、及び、そのような組織に対してインターネットへの接続性を提供する Transit ISP での対応が必要とされた。また、BGP 機能を持つルータ等の機器ベンダでの対応も必要であった。機器ベンダでの対応は比較的早く実施され、また、新規の組織は比較的新しい機器を使用することもあり、これらの組織での 32 ビット AS への対応はスムーズであった。しかしながら、Transit ISP の一部では現在でも 32 ビット AS 番号を持つ組織の接続を提供しておらず、今後の対応が必要である。

- 導入の効果

AS 番号空間が拡張され、インターネットに接続される組織は順調に増えている。特に、新興国では、32 ビット AS 番号の利用が進んでいる。

4.2.2 他の移行事例

地上波デジタルへの移行

限られた資源である電波帯域の有効利用を主目的として、従来アナログ方式で実施されてきた地上波によるテレビジョン放送がデジタル化された。この移行は、日本国内での導入のみでなく世界的な潮流である。日本国内においては、地上波アナ

ログテレビジョン放送は1953年に開始され、最終的には、VHF(1-12ch)、UHF(13-62ch)の電波帯域を利用していた。これを、UHF(13-52ch)を利用したデジタル方式に置き換え、空いた帯域を他用途に利用することとした。

この方針は、2004年に開始された総務省情報通信審議会情報通信政策部会地上デジタル放送推進に関する検討委員会にて議論され、2008年4月25日の第37回委員会にて、2011年7月24日にアナログ放送を停波する方針が示されている。

その後、段階的な移行計画、及び、対応方策等が検討され、周知広報の徹底、技術弱者へのサポート、既存テレビを利用可能にする方策（簡易チューナの開発、流通）等の取り組みが実施された。

また、テストケースとして、石川県珠洲市において、2010年1月22日正午から1月24日正午までの間、アナログ放送を長時間休止、その後、全国的に2010年7月24日正午に完全停波をすることとした。更に、ユーザへの周知、デジタルへの移行の促進を目的として、2010年7月5日ころから、アナログテレビ画面を強制的にレターボックス化（上下に黒帯付加）し、「アナログTV放送終了告知」を上下黒帯部に表示する、といったことも実施された。

しかしながら、地上波デジタル対応機器の普及遅れ等から、アナログ放送をCATVを利用して送信する、「アナログ再送信」が実施されることとなった。アナログ再送信は、2015年3月31日を終了日とし、CATV事業者により導入されている。

(参考：日本の地上デジタルテレビ放送 [18])

- 移行の成否

2011年7月24日アナログ地上放送停波は達成した。しかしながら、CATVによるアナログ再送信は現状、続いており、アナログ放送のみに対応した旧機器の対応等課題は残存している。

- 移行実施の主体と、権限に関する強制性の有無

移行は、国（総務省）が主体となって実行された。アナログ停波の期日が、テレビ局のアナログ放送免許の有効期限と同一となっており、強制力が存在した。

- 後方互換性

デジタル放送を受信，変換し，旧来のアナログテレビで利用する変換装置が開発され，販売された。

- 移行の可逆性

地上波デジタル対応機器の普及遅れ等から，「アナログ再送信」が実施され，CATVを利用する場合には，旧来機器がそのまま利用可能となった。

- 導入期日

2011年7月24日に flag day が設定されており，それまでの対応が必須であった。

- 影響範囲，コスト負担

日本国内すべてに影響した。特に，一般ユーザにおいて，テレビの買い換え等，対応が必須であった。テレビの買い換えを推奨するため，国により，ポイントによるテレビ購入者への還元等を実施した。

沖縄県における，車両車線変更

沖縄県においては，戦前は他県と同様，車両は左側通行であったが，戦後，沖縄を占領下においた米国政府が右側通行に変更，1972年の本土復帰後も「沖縄の復帰に伴う特別措置に関する法律」[19]により，右側通行が維持されていた。その後，1978年7月30日に沖縄県全域で左側通行に戻ることが国によって決定された（この変更は日付をとって730という通称で呼ばれていた）。変更作業は，1978年7月29日22時より翌30日6時までの8時間で実施された。変更後，交通渋滞，事故等の発生はあったが，落命を伴う大事故は発生しなかった。（参考：730（交通）[20]）

この移行に伴う要件は，以下のように考えられる。

- 移行の成否

直後の混乱はあったが，移行は成功した。

-
- 移行実行の主体とその権限，強制力の有無

移行は国，県等，行政組織が主体となって，その権限を持って実施された。法制を伴っており，強制力があつた。

- flag day の有無

法律により移行日 (flag day) が決定されていた。

- 影響範囲（世界，国，地域）

移行は沖縄県に閉じており，標識の切り替え等，対応が必要な範囲も明確であつた。

- 移行後システムのプロモーション

移行期日のプロモーションは，沖縄県から県民に対し，「730 キャンペーン」としてコマーシャル等で実施された。

- 新技術・システムへの移行，導入時に発生する事象の想定，対処

自動車教習所による事前の練習等も実施された。また，車両に対する変更（ヘッドライトの照射範囲等），バス等の対応（右ハンドルへの改造）も実施された。

4.2.3 移行に関する具体的要件

以上の例から，技術やシステムの移行において，以下の点が要件として考えられる。

- 移行実行の主体とその権限，強制力の有無

旧技術・システムの停止，新技術・システムへの移行を実施する主体組織がどこか，その組織は権限を持つか。関連して，移行を強制できるか。

- 後方互換性

新規に導入された技術・システムは、既存技術と互換性があるか。また、並行に運用可能か。移行後の旧技術・システムの扱いはどうなるか。

- flag day の有無

旧技術・システムを停止，新技術に移行する日時が決まっているか。また，旧技術・システムの停止と新技術・システムの導入が並行する期間があるか。

- 影響範囲（世界，国，地域）

移行の範囲は局所的か。また，部分的に順次実施可能か。

- 対応コスト

移行にかかるコストを誰が負担するか。エンドユーザへの負担があるか。

- 移行後システムのプロモーション

移行について，利用者・影響者へのプロモーションを実施すべきか，どのように実施するか。

- 移行の可逆性

新技術・システムへの移行後，旧技術・システムに戻ることができるか。もしくは，新技術・システム上で旧技術・システムが動作可能か。

- 新技術・システムへの移行，導入時に発生する事象の想定，対処

新技術・システムへの移行，導入時に発生しうる課題についての想定，対処が必要か。必要な場合の対処がされているか。

4.2.4 IPv6 導入に関する対応

第3節で述べたように、IPv4 インターネットへの IPv6 導入は現在も進行中である。IPv6 導入は、全てのインターネットユーザに影響し、ネットワークでの対応が必要なこと、導入を推進している主体が公的機関や国家等の権限を持っている組織でないこと等から、過去に例がないものとなっている。

以降の章で、筆者が実施した IPv6 の導入に関する技術標準化、アドレスポリシー策定について、本節で検討したグローバル性とローカル性に関する考慮点、及び、システム導入要件に関する考慮点に即して詳述する。

第5章

IPv6導入における課題に対する技術的対応

本章では、IPv4からIPv6への移行に関し主に技術的観点（標準化，運用，普及推進のカテゴリ）から筆者が実施してきた内容について，以下の時系列に分けて述べる．

1. IPv6 標準化実施時期
2. IPv6 導入開始，普及初期
3. IPv6 継続普及期

5.1. IPv6 標準化実施期における対応

将来的な IPv4 アドレスの在庫不足が予想され，次世代のプロトコルとして IPv6 が標準化された．プロトコル自身の標準化と並行して，IPv6 が実際に利用可能な世界規模の実験ネットワークである 6bone が構築された．筆者のチームにて，6bone に参加，国際的な IPv6 ネットワークの構築，運用に協力した．

5.1.1 6bone への参加による IPv6 実運用

- 実施者：筆者を中心とした NTT 研究所内グループ
- 時期：1996 年～1999 年
- 実施カテゴリ：標準化支援，普及推進

筆者の所属する社内グループにて、6bone に参加，IPv6 の動作実証に協力した。筆者は，日本，米国，ヨーロッパにまたがる当時世界最大規模の IPv6 実験用ネットワークである NTTv6Net 構築を主導した [21]。図 5.1 に，2001 年 1 月時点での NTTv6Net の構成を示す。NTTv6Net は，日本の NXPIXP6，米国の PAIX/6TAP，ヨーロッパの AMS-IX といった Internet Exchange (IX) に当時は希少だった IPv6 専用回線で接続し，それぞれの IX にて，多くの国際組織と相互接続を実施した。また，それぞれの接続組織間の IPv6 通信トラフィックを中継，相互交換を実施した。第 43，44 回 IETF においては，NTTv6Net を IETF の会場ネットワークに接続，日本国内の IPv6 ネットワークへのトラフィック中継を実施する [22] 等，国際的な IPv6 実験ネットワークの運用に寄与した。また，国内での IPv6 普及を進めるため，IPv6 サービスプロバイダ実験 [23] を実施，国内組織に対して，IPv6 インターネットへの接続性を実験的に提供した。これらの活動については，ブリュッセルで開催された Global IPv6 Service Launch¹ イベント等でも報告している。

Configuration of NTTv6Net Backbone and Interconnected Organizations

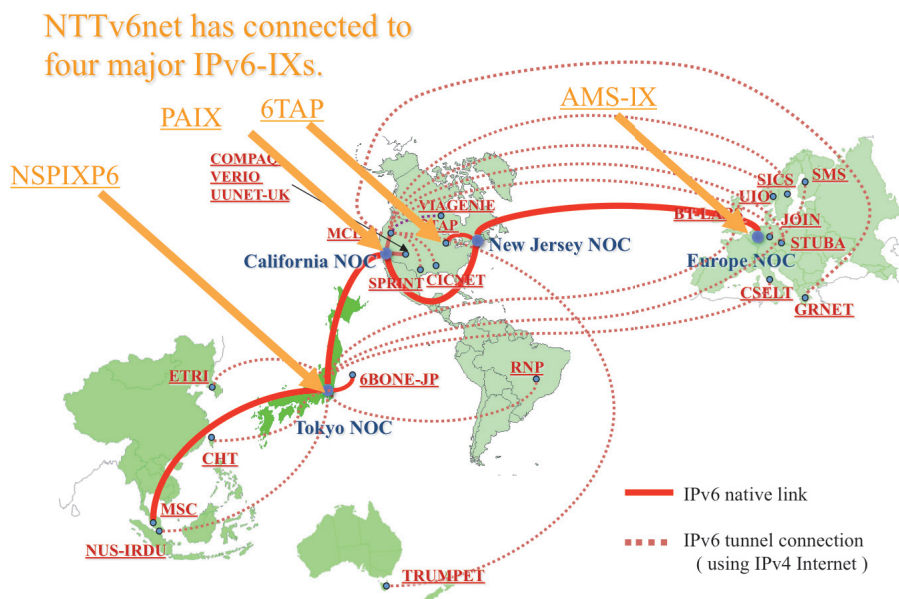


図 5.1 NTTv6Net の構成 (2001 年 1 月)

¹<http://web.archive.org/web/20040203035559/http://www.global-ipv6.net/agenda.htm>

5.2. IPv6 導入開始, 普及初期

この時期は、以下に IPv4 をいかに問題なく終わらせるか、IPv6 をスムーズに導入するか、が課題となっていた。

5.2.1 IPv6 実サービス提供に向けた環境整備

- 実施者：筆者を中心とした NTT 研究所内グループ
- 時期：1999 年
- 実施カテゴリ：IPv6 導入支援

第 6.1.1 節で述べる暫定 IPv6 アドレス配布ポリシーにおいては、アドレス配布要件の一つとして、6bone での運用経験があげられていた。

筆者のチームでの 6bone 運用経験を NTT 事業会社に移管し、NTT コミュニケーションズ株式会社が日本の商用 ISP として初めて IPv6 実利用アドレスを取得した。この活動は、NTT コミュニケーションズ株式会社におけるその後の IPv6 サービス展開に結びついている²。

5.3. IPv6 継続普及期

この時期は、IPv6 の普及の遅れから、IPv4 アドレス在庫の不足への対応、IPv6 の更なるプロモーションを実施する必要があり、各種対応を行った。

5.3.1 IPv6 マルチプレフィックス問題の解決

- 実施者：筆者を中心とする NTT 研究所内グループ
- 時期：2004 年～2014 年
- 実施カテゴリ：IETF 標準化

²<https://www.ntt.com/release/1999news/news/news99/9911/1116.html>,
http://www.ntt.com/ipv6/data/ipv6_history.html

マルチプレフィックス問題とその解法

APNIC 地域においては、グローバルな IPv6 インターネットに直接接続されていないネットワークに対しても、IPv6 アドレスを割り振ることを可能としていた(第 6.1.3 節)。当時、東日本日本電信電話株式会社では、ISP とインターネット利用者とのアクセスラインを提供する IPv4 閉域網であるフレッツネットワークを運用していたが、このポリシーを利用して IPv6 アドレスを取得、フレッツネットワークにて IPv6 を利用した閉域網サービスを開始した。

この閉域網による IPv6 サービスは、将来的に、ISP による IPv6 インターネット接続サービスと並行して利用され、並行利用により、端末に複数の IPv6 アドレスが同時に付与される、「マルチプレフィックス」に関する課題が発生することが想定された。この「マルチプレフィックス問題」は、閉域網とグローバル IPv6 インターネットとの同時接続のみならず、複数の ISP と同時に接続する場合にも発生する。

ノードの単一インタフェースに複数のアドレスが付与できることは IPv6 の特長の一つである。特に、複数の IPv6 サービスプロバイダに接続される場合に、それぞれのサービスプロバイダから割り当てられた IPv6 アドレスを用いて、個々のノードも複数の IPv6 アドレスを持つことになる。この状態のネットワークを、マルチプレフィックスネットワークと呼ぶ。マルチプレフィックスネットワークでは、通信を開始する際に通信相手に応じた正しい IPv6 アドレスを始点アドレスとして選択する必要がある。図 5.2 に、複数サービスプロバイダとの同時接続時の様子を示す。

閉域網と ISP との同時接続の例において、両ネットワークに接続されたサイトでは、始点アドレス選択が大きな問題になる。この例では、ユーザサイトに ISP と閉域ネットワークからそれぞれ IPv6 アドレスブロックが割り当てられ、端末には二つの IPv6 アドレスが付与されている。サイト内の端末が、インターネットにあるサーバに通信する際、閉域網から割り当てられたアドレスを始点アドレスとして利用した場合、サーバからの返答が端末まで到達せず、通信が成立しない。

ユーザサイトが複数の IPv6 ISP に接続している場合、ユーザサイトには上流 ISP それぞれからアドレスブロックが割り当てられ、端末には複数のアドレスが付与される。このようなネットワーク環境で端末がパケットを送信する場合、通信の際に端末が選択した始点アドレスが、パケットが送信される上流 ISP が割り当てたものでないことがある。昨今、セキュリティ対策として、ユーザ端末のアド

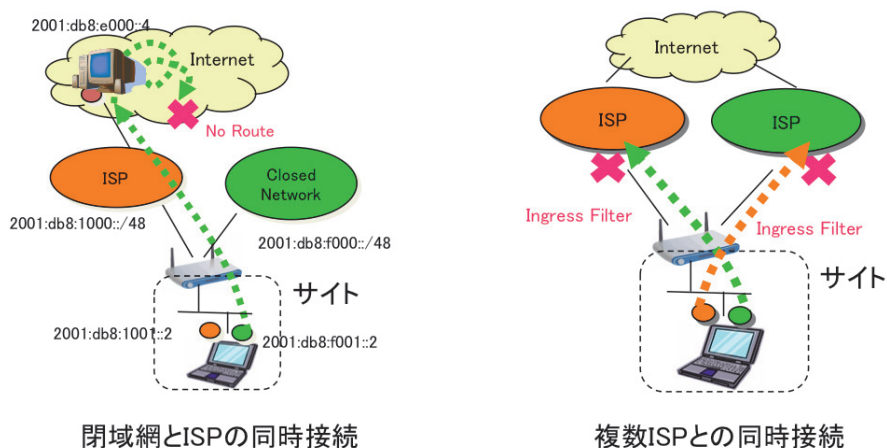


図 5.2 複数サービスプロバイダとの同時接続

レス詐称を防ぐために、ユーザから送信されるパケットについて、自ネットワークのアドレス以外をフィルタすることが一般的になってきている [24]。このため、選択された始点アドレスによっては、パケットが届かない、といった事象が発生する。特に、コンシューマネットワークのような比較的小規模なサイトの場合、ISP は経路情報を提供せず、デフォルトルートを利用した経路制御を実施している場合が多い。この場合、デフォルト経路が向いている ISP から割り当てられた IPv6 アドレス以外を始点アドレスとして用いたパケットは、フィルタされてしまう。IPv6 の仕様では RFC6724[25] にて、複数アドレス選択のアルゴリズムを定義している。この RFC では、アドレス選択を制御するポリシーテーブルを定義、このテーブル中の規則に従って、始点アドレスを制御する。RFC 中にはデフォルトのポリシーテーブルが定義されているが、デフォルト動作では、通信できないアドレスが選択される可能性がある。

マルチプレフィックス問題は、IPv6 による閉域網サービスが広く利用されている日本において多く発生することが予測された。解決方法として、端末に対し、IP アドレス選択ポリシーを配布する機構を IETF に提案した。前述のように、IPv6 の仕様として、ポリシーテーブルによるアドレス選択機構が定義されている。ネットワークの状態に合わせたポリシーテーブルを端末に配布、設定することで複数アドレスの選択を制御することが可能となる。本提案では、“Default Address Selection Policy Option” という新しい DHCPv6 オプションを定義し、IPv6 環境でプロバイダからユーザにアドレスブロックを割り当てるプロトコルである DHCP-PD に重

畳してアドレス選択ポリシーを配布する。サイト内では、DNS サーバアドレス等を配布する DHCPv6 を利用し、各端末まで選択ポリシーを配布する。RFC6724 で定義されているアドレス選択ポリシー機構はすでに多くのオペレーティングシステムで実装されているため、端末へのアドレスポリシー配布機構を規定することで、管理者によるアドレス選択の制御が可能となる。図 5.3 に配布機構の動作を示す。

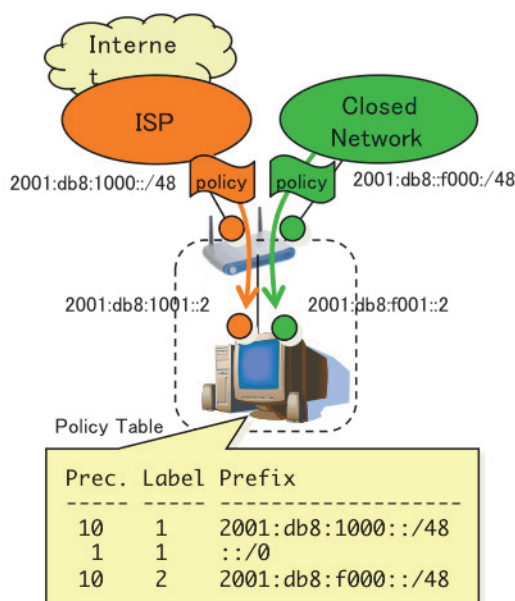


図 5.3 アドレス選択ポリシー配布

ISP と閉域ネットワークより、アドレスブロックとあわせ、アドレス選択に関するポリシーを配布する。ユーザサイトのルータでは、配布されたポリシーをマージした上で、宅内の端末機器に配信する。端末機器は、配布された選択ポリシーテーブルを利用することで、通信相手のアドレスに応じた始点アドレスが選択される。

また、本技術は、IPv6 の豊富なアドレス空間を利用し、複数のアドレス空間利用による IPv6 マルチプレフィックスサービスにも利用可能である。マルチプレフィックス技術によるマルチサービス提供の例を図 5.4 に示す [26]。

この例では、ユーザは、インターネットサービス、ビデオオンデマンドサービス、ホームセキュリティサービス、ネットワーク家電制御サービスを利用しており、それぞれのサービスが別のネットワークによって提供されている。日本のコ

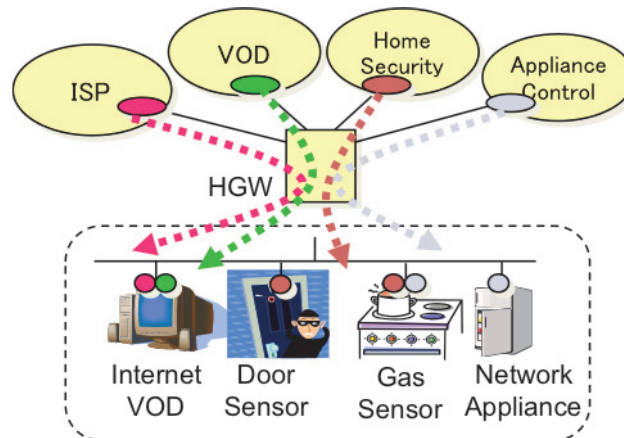


図 5.4 マルチプレフィックスによるマルチサービス

ンシューマネットワークでは、このような環境は既に数多く存在し、IP 電話、インターネット接続、および映像配信サービスが別ネットワークにて提供されている。現在のこれらのサービスは主に IPv4 を用いて実装されており、端末に割り振られる IPv4 アドレスは一つで、出口のホームゲートウェイ (HGW) で NAT を用いた始点アドレス変換を実施している。IPv6 を利用したこのようなサービスの提供形態の実装例の一つとして、マルチプレフィックスによるマルチサービスが利用できる。

標準化の経緯

第 5.3.1 節で述べたように、マルチプレフィックス問題は、IPv6 による閉域網サービスが広く利用されている日本において多く発生することが想定された。この解決方法として、2004 年 10 月に、DHCP のオプション等を議論する、IETF DHC WG (Dynamic Host Configuration WG) に対し、始点アドレス選択情報配布 DHCPv6 オプションとして提案した [27]。この時点では、始点アドレス選択情報のみを配布するオプションとして定義していたが、IETF 議論の結果、RFC6724 (当時は RFC3484) にて規定されているポリシーテーブル全てを配布するように変更した [28]。

その後、当該オプションの必要性についての合意がなかなか得られず、IPv6 の基本仕様との整合性をとる必要があるとの意見から、IPv6 プロトコル仕様を標準

化している 6man WG (IPv6 Maintenance WG) (当時は ipv6 WG) にて提案説明, 議論の実施, また, オペレーションに関係するということから, v6ops WG (IPv6 Operations WG) での議論とたらい回しとなり, 標準としての議論が進展しなかった.

このため, マルチプレフィックス環境に課題の整理, 及び, 解法の必要要件をはっきりさせることを目的とし, 2006年12月に, マルチプレフィックス環境におけるアドレス選択に関する問題提起についての文書 [29] を提案した. この文書は, v6ops WG にて取り上げられ, WG での議論アイテムとなり [30], また, 同時に, 解法としてのアドレス選択ポリシー配付機構の要件定義について提案 [31] した. 両文書は, 問題提起文書 [32], 解決に当たる要件提起文書 [33] として RFC 化され, 2010年6月に, DHCP アドレス選択ポリシー配布オプションについても, 6man WG にて正式な議論アイテムとなった.

この後, 筆者所属組織内の体制変更により, 標準化作業を第二著者に引き継ぎ, 最終的に DHCPv6 オプション定義 [34] 標準として規定された.

5.3.2 IPv6/IPv4 フォールバック問題への対応

- 実施者: 筆者を中心とする社内チーム
- 時期: 2007年
- 実施カテゴリ: IETF 標準化

IPv6/IPv4 フォールバックとは

第5.3.1節で述べたように, 日本国内においては早期より, IPv6 を使用した閉域網が構築され, 閉域網内で, 映像配信や P2P 通信といった IPv6 サービスが展開されてきた. このサービス展開により, 国内の IPv6 利用が進展した反面, IPv6 が実インターネットで利用されることにより, IPv6 閉域網に接続された IPv6 対応ノードにおいて, 接続遅延が起こる「IPv6/IPv4 フォールバック問題」の発生が想定された.

IPv6 はプロトコル的には IPv4 と互換性はなく, IPv6 を実装したノードと IPv4 を実装したノードは直接通信できない. このため, 現状多くのノードは, IPv6 と IPv4 の両方の通信機能を持つ, デュアルスタックノードとして実装されている.

通信を開始する際、ノードは、通信相手が IPv6 ノードか IPv4 ノードかによって、利用するプロトコルを選択して通信を実施する。インターネットにおいては、ネットワーク中のサーバなどのノードは、FQDN (Fully Qualified Domain Name) という階層的な名前にて識別される。IPv6 と IPv4 では、この FQDN は同一の名前空間を利用しており、一つの名前に対して、IPv6 アドレスと IPv4 アドレスの両方、もしくはどちらかが対応づけられている。ノードは、通信を開始する際、ドメインネームシステム (DNS) を利用し通信相手の FQDN に対応づけられている IP アドレスを取得する。通信相手のアドレスとして、IPv6 アドレス (AAAA レコード) と IPv4 アドレス (A レコード) のどちらか、または両方が得られることになる。通信相手のアドレスとして、IPv4、IPv6 の両方のアドレスが得られた場合には、ノードの初期動作として、IPv6 通信を先に実施することが RFC6724 にて規定されている。

図 5.5 に、デュアルスタックノードが、IPv6 ノード、IPv4 ノード、および IPv6/IPv4 デュアルスタックノードと通信の様子を示す。前述のように、通信相手がデュアルスタックノードの場合、ノードはまず IPv6 を使った通信を実施しようとする。何らかの原因で、この IPv6 通信が失敗したときに、ノードは IPv4 での通信を試す。この、IPv6 通信から IPv4 通信への切り替わりを「IPv6 から IPv4 へのフォールバック」と呼ぶ。IPv6 から、IPv4 へのフォールバックは、プロトコル非依存プログラミング [35] で推奨されているプログラミングスタイルをとったアプリケーションの標準的な動作である。

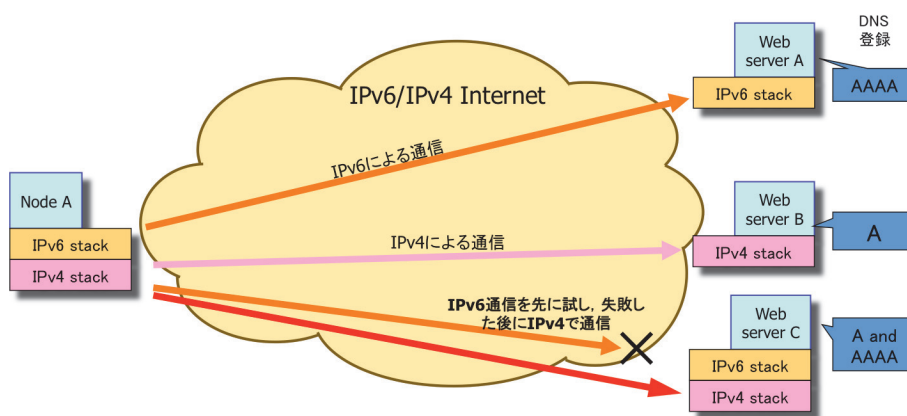


図 5.5 IPv6/IPv4 フォールバック

IPv6/IPv4 フォールバックの発生原因

IPv6/IPv4 フォールバックは、IPv6 接続性が安定していない場合や、障害などにより IPv6 通信ができない場合に発生する。以下に、その例を挙げる。

- 管理されていない IPv6/IPv4 共存・移行メカニズム（6to4[4] などの自動トンネル）など、品質の悪い IPv6 接続性を利用している場合
- サーバが、IPv6 アドレス（AAAA レコード）を DNS に登録しているが、IPv6 での接続性を持っていない場合
- IPv6 グローバルインターネットへの接続性がないネットワークを用いている場合（VPN や、外部と通信できない社内ネットワーク、閉域ネットワークなど）

フォールバックが発生した場合、IPv6 通信から IPv4 通信への切り替わりに時間がかかることがある。例えば、Web アクセスをしているユーザにとっては、Web ページが表示されるまでに 20 秒程度待たされる場合があり、ネットワークのユーザビリティに大きく影響する。

IP を利用している場合、ネットワークに障害があった場合など、通信に問題がある場合には、ICMP（Internet Control Message Protocol）により、障害情報がネットワークからノードに通知されることが一般的である。IPv6 では、ICMPv6[36] が利用される。図 5.6 に、IPv6 通信経路がない場合に、通信の始点ノードに障害が通知される例を示す。

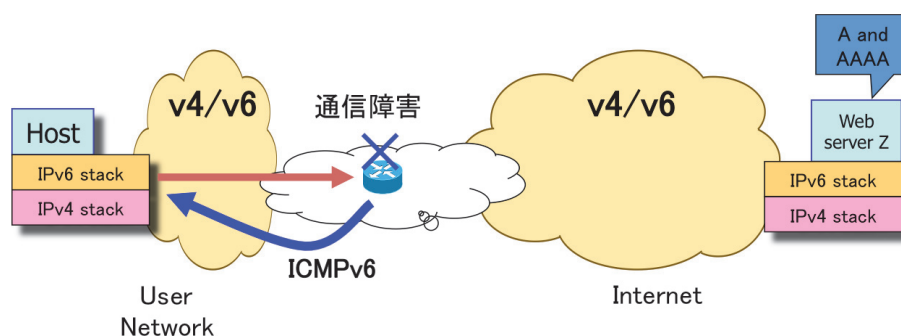


図 5.6 ICMPv6 によるエラー通知

インターネットノードがTCP通信を実施している際に、ネットワークからICMPエラーを受け取った場合の動作は、RFC1122[37]に規定されている。このRFCでは、ICMPメッセージをネットワークの一時的通信障害（経路異常など）であり、回復の可能性のある「ソフトエラー」と、恒久的な通信障害である「ハードエラー」に分類し、ハードエラーを受信した場合にはTCP通信を切断するが、ソフトエラーを受信した場合はTCP通信を切断してはいけないと定義している。しかしながら、これはIPv4のICMP（以下、ICMPv4）に対する定義であり、現状、ICMPv6に対するTCP通信の動作に関する定義は存在しなかった。

図5.7に、2007年当時のOS実装における、ICMPv6受信時にフォールバックにかかった時間を示す。この時間は、IPv6/IPv4デュアルスタックネットワークに接続したPCにおいて、IPv6/IPv4デュアルスタックWebサーバに通信する際、中間の機器にて、PCが開始したIPv6通信に対して、以下を実施し、PCがIPv6通信からIPv4通信に切り替えるのにかかる時間を測定したものである。

- エラーを通知せずに通信を遮断した場合
- コード0～6までのICMPv6終点到達不可能メッセージを返答した場合
- TCPのResetを実施した場合

それぞれの値は、PCが最初のIPv6 TCP SYNパケットを送出してから、フォールバックが発生し、最初のIPv4 TCP SYNパケットを送出するまでにかかった時間(秒)である。

OS	Browser	No Error	Type=1 (Destination Unreachable)							TCP reset
			Code=0	Code=1	Code=2	Code=3	Code=4	Code=5	Code=6	
Windows Vista Home Basic	IE	19.99	21.00	20.99	21.00	20.99	20.99	20.99	20.99	1.01
	FireFox	21.00	21.00	21.00	21.00	20.99	20.99	20.99	20.99	1.01
Windows Vista Enterprise	IE	21.06	21.00	20.99	21.00	20.99	21.00	21.01	21.00	1.01
	FireFox	20.99	21.00	20.99	20.99	21.00	21.00	20.99	21.00	1.00
Mac OSX (10.4.8 8L2127)	Safari	74.79	11.80	11.83	17.37	11.68	11.75	74.86	74.89	0.01
	FireFox	74.91	11.61	11.73	11.70	No fallback	11.63	74.79	74.77	0.01
FreeBSD (R6.2-#p1)	FireFox	74.99	12.61	12.61	12.69	No fallback	12.61	74.99	74.99	0.01
Fedora Core 6 (kernel-2.6.20)	FireFox	188.98	0.01	0.01	0.01	0.01	0.0.1	No fallback	No fallback	0.01

図 5.7 機器のICMPv6に対する反応

図 5.7 からわかるように、ネットワークエラーを通知する ICMPv6 に対する端末機器の反応は実装依存となり、統一的な対応が困難であった。

この課題に対し、根本的な解決を図るため、WIDE IPv6 fix³ プロジェクトでも提起されていた TCP の ICMPv6 に対する動作を正式に規定すべく、IETF に提案を実施した [38]。また、同時に、このフォールバック問題が発生することを APRICOT などの運用コミュニティ、学会等で広報を実施した [39][40]。

IETF への提案は、当時の IETF Transport Area の Area Director から支持されていたが、同時に別な提案があがっており、協議の結果、そちらの提案を優先する事となった。この提案は、RFC5461[41] として発行されている (Acknowledgments に名前が上げられている)。

現在は、より高度な実装として、IPv4/IPv6 通信の品質を考慮に入れて利用するプロトコルを選択する Happy Eyeballs[42] が標準化されており、いくつかのブラウザにて実装され、この問題の解決が図られている。

5.3.3 IPv6 マルチプレフィックス問題の解決に関する国内活動

- 実施者：筆者を中心とする社内チーム
- 時期：2007 年～
- 実施カテゴリ：IPv6 普及推進活動

第 5.3.1 節で述べたように、IPv6 マルチプレフィックス問題については、日本におけるインターネット環境において影響が大きいことが想定された。このため、国内コミュニティを主導し、IPv6 普及・高度化推進協議会にて移行 WG (当時) 下にマルチプレフィックス検討 SWG (Sub-Working Group) を設置、国内キャリア、ISP、総務省をメンバとして検討を行い、発生原因、解決方法を議論した。検討結果を報告書として一般に公開した [43]。

また、同課題の解決方法について、情報処理学会等で提案を報告した [44]。

5.3.4 IPv6 ホームゲートウェイ国内仕様策定

- 実施者：筆者を含む国内チーム

³<http://v6fix.net>

-
- 時期：2007年～
 - 実施カテゴリ：IPv6普及推進活動

日本国内では、ISPのバックボーン等のインターネットのコアにおけるIPv6対応は比較的早く進んだが、一般ユーザ向けの対応が遅れ気味であった。その一つの理由として、ユーザ宅内におけるホームゲートウェイのIPv6対応が進んでいないことが挙げられた。

この状態を解決するため、主要キャリア、国内ホームゲートウェイベンダを巻き込み、IPv6普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WG 下に、IPv6 家庭用ルータ SWG⁴ を設置することを提案、チェアの人として SWG を主導した。この SWG において、国内における IPv6 対応ルータのベーススペックについて検討を実施した。また、国際的なホームゲートウェイの仕様検討状況にも関与し、ガイドラインの英語訳、ブロードバンドフォーラムにおけるホームゲートウェイ仕様 (TR-124) とのコラボレーションや対比表の作成、IPv6 機器認証プログラムである IPv6 Ready Logo⁵ の CPE (Customer Premises Equipment, ホームゲートウェイ) 版のチェック、国内認証への協力等を行った。

本 SWG では、成果物として以下の文書を発行している。

- 「IPv6 家庭用ルータガイドライン (1.0 版 2009 年 6 月 22 日発行)」 [45]
- 「IPv6 家庭用ルータガイドライン (2.0 版 2010 年 7 月 29 日発行)」 [46]
- 「IPv6 家庭用ルータガイドライン第 2 版と TR-124i2 の比較」 (2014 年 6 月 18 日発行) [47]
- IPv6 Home Router Guideline (Ver.1.0 June 22 2009) [48]
- IPv6 Home Router Guideline (Ver.2.0 July 29 2010 / Translated January 12 2012) [49]

5.3.5 IPv6 導入時に発生する課題対応

- 実施者：筆者を含む国内チーム

⁴<http://www.v6pc.jp/jp/wg/coexistenceWG/v6hgw-swg.phtml>

⁵<https://www.ipv6ready.org/>

-
- 時期：2007年～
 - 実施カテゴリ：IPv6普及推進活動

現在、IPv4を利用して構築されているネットワークにIPv6を導入した場合、各種課題が発生が懸念された。第5.3.2節で述べたIPv6/IPv4フォールバック問題や、IPv6に対応していないネットワーク機材に起因する不具合、IPv4では問題なかった設定が、IPv6導入時に問題が表面化する、といった例が挙げられる。問題のいくつかは、IPv6 fixとして、WIDEプロジェクトが提起しており、取り組みが実施されていた。IPv6の本格普及を鑑み、このプロジェクトを引き継いで、IPv6導入時に発生しうる各種課題を早期に検討し、対応を促すことを目的として、IPv6普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WG 下に IPv6 導入に発生する課題検討 SWG⁶ の設立を提案、チェアの一人として SWG を主導した。

SWG の成果物として、以下の文書を発行している。

- 「IPv6 導入時に注意すべき課題」 [50]
IPv6 導入時に発生する可能性のある 30 の課題について、発生原因等を記述した。この文書は、国内での IPv6 導入時のガイドラインの一つとして利用されている。
- 「国内 IPv6 対応サービス状況チェックで発見された事例について」 [51]
国内で提供されている、Web、DNS 等の IPv6 サービスについて、発見された不具合、想定される原因、及び、対処方法について記述した。

この他にも、国内 ISP が、IPv6 導入時に発生する問題を検討するために立ち上げた WG との連携、IPv6 Day における発生しうる課題・対応策検討、省庁の IPv6 対応サービス不具合への対応等を実施した。また、本 WG での成果文書を英訳し、国外に向けて広報を実施している [52]。

本 SWG は、今後、IPv6 導入が本格化する際に発生する課題の共有を実施する為、現在も活動を継続している。

5.3.6 IPv6 アプリケーション作成推進対応

- 実施者：筆者を含む国内チーム

⁶<http://www.v6pc.jp/jp/wg/coexistenceWG/v6fix-swg.phtml>

-
- 時期：2007年～
 - 実施カテゴリ：IPv6普及推進活動

日本国内においては、ISPによるIPv6インターネットアクセス提供は順調に拡大を続け、世界でもトップクラスの普及度となっている。しかしながら、国内の各種コンテンツサービスにおけるIPv6対応は進んでいない。この状況に対応するため、IPv6普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6共存WG下にIPv6のアプリケーションのIPv6対応検討SWG⁷設立を提案、チェアの一人としてSWGを主導している。このSWGは、IPv6対応のネットワークサービスを構築するためのガイドライン作成を目的としており、成果物として、以下の文書を発行している。

- アプリケーションのIPv6対応ガイドライン基礎編（第1.0版）[53]
BSD Socketを利用したIPv6アプリケーション構築手法を詳述した。サンプルコード、及び、IP電話に利用されるアプリケーションである、AsteriskのIPv6対応を例に取り、アプリケーションのIPv6対応方法について、解説している。

また、WebサービスのIPv6対応ガイドライン文書を発行予定である。

5.3.7 IPv6セキュリティに関する検討

- 実施者：筆者を含む国内チーム
- 時期：2007年～
- 実施カテゴリ：IPv6普及推進活動

インターネットにおける各種セキュリティ対応は、大きな課題の一つとなっている。IPv6導入時において対応すべきセキュリティ課題を検討するために、IPv6普及・高度化推進協議会にて、IPv6セキュリティWGが発足し、副査として活動している。このWGでは、インターネットサービスをIPv6に対応させる際の考慮点等を検討、また、米国が発行したセキュリティ文書であるSP800-119[54]の邦訳等を実施、成果物として以下の文書を発行した。

⁷<http://www.v6pc.jp/jp/wg/coexistenceWG/v6app-swg.phtml>

-
- IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書「IPv6 対応セキュリティガイドライン (第 1.0 版)」 [55]
 - IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書 IPv6 Security List of Considerations (6SLoC) (Ver1.0-cfc) [56]

また、国内の IPv6 セキュリティに関する活動を国際的に紹介、他国とのコラボレーションを進めるために、APRICOT IPv6 Security Device BoF での発表 [57] を通じ、他国のセキュリティ担当者との意見交換を実施した。

5.3.8 IPv6 Day に関する国内対応

- 実施者：筆者を含む国内チーム
- 時期：2011 年
- 実施カテゴリ：IPv6 普及推進活動

IPv6 の普及を国際的に進めるための施策として、2011 年 6 月 8 日に、IPv6 サービスを有効化するイベントである “IPv6 Day” が開催された⁸。このイベントは、Internet Society (ISOC) が主導し、世界各国でイベント参加者を募集した。参加表明をした組織は ISOC の Web ページで紹介された。我が国では、インターネット協会 IPv6 デプロイメント委員会において、IPv6 Day プロモーションキャンペーンを主導した。IPv6 Day の広報、参加を希望する国内組織の ISOC 本部への取り次ぎ、IPv6 Day の後に、事後イベントの開催を実施、IPv6 の普及啓蒙を実施した⁹。

5.3.9 IPv6 普及推進活動

- 実施者：筆者を含む国内チーム
- 時期：2010 年～
- 実施カテゴリ：IPv6 普及推進活動

⁸<http://internetsociety.org/ipv6/archive-2011-world-ipv6-day>

⁹http://www.iajapan.org/ipv6/about_w6d.html

国内外にて、IPv6の普及を進めるために、広報活動を継続的に実施している。以下に、実施した内容の例を挙げる。

- プレゼンテーションによる広報
 - OSC 東京での IPv4 アドレス枯渇状況、IPv6 普及状況の紹介 [58][59]
 - Asia Pacific IPv6 Task Force における日本の IPv6 状況の紹介 [60][61]
 - IPv6 Summit in Taiwan における日本の IPv6 状況の紹介 [62][63]
 - APNIC IPv6 Readiness Measurement BoF における日本の IPv6 状況の紹介 [64] [65]
 - IPv6 Day in Vietnam における日本の IPv6 状況の紹介 [66][67]
- イベント主催等による普及・活動
 - IPv6 Summit の運営 (1999 年～) ¹⁰
 - IPv6 地域サミットの運営 (2003 年～) ¹¹
 - Internet Week における IPv6 関連プログラムの構成 (2009 年～) ¹² 等

5.4. IPv6 導入における技術的課題対応に関する考察

IPv6 導入時に発生する課題のいくつかは、日本ローカルな環境にて大きな課題となることが想定され、課題解決のための技術開発の際、標準化におけるローカル対応が困難であることが想定された。このため、課題をグローバル環境での課題に一般化する必要があった。マルチプレフィックス問題の解決においては、IPv6 導入時に日本国内で発生する可能性が高く、国内では喫緊の課題であった。しかしながら、日本ローカルな実装である「多くのユーザが利用している閉域網」において発生することを主要な課題として提起することは困難であり、VPN との並行利用や、サービスごとのネットワーク分離など、グローバル環境でも発生しうる一般的な課題としてモデル化し、課題を提起した。この結果、国内ローカル環境でも実現可能なグローバル技術として標準化することができた。マルチプレフィッ

¹⁰<http://www.jp.ipv6forum.com/>

¹¹<http://www.iajapan.org/ipv6/summit/index.html>

¹²<http://www.internetweek.jp/>

クス問題解決のための標準化には長時間かかったが，一因として，課題に対する認識の違いから，世界的には喫緊の課題とは認識されなかったことが挙げられる．

第4章であげた要件への対応は，第6.4節にて記述する．

第6章

IPv6導入における課題に対するポリシー的対応

本章では、IPv4からIPv6への移行に関し、特にアドレス管理ポリシーの変遷について、執筆者が実施してきたポリシー提案、及び、執筆者の提案に関連する他者ポリシー提案の内容について、

1. IPv6導入開始，普及初期
2. IPv6継続普及期

のフェーズに分けて整理する。また、IPv4からIPv6への移行について、第4.2.3節に挙げた要件についてまとめる。

6.1. IPv6導入開始，普及初期

この時期は、IPv4アドレス配布をいかに問題なく終わらせるか、どのようにIPv6をスムーズに導入するかが課題となっていた。筆者は、IPv6の実環境への導入支援、IPv4アドレス配布終了時への対応を実施した。

6.1.1 暫定IPv6アドレス配布ポリシーの制定

- 実施者：各RIR事務局
- 時期：1999年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

第 5.1.1 節で述べたように、IETF では、その理念である ‘Rough consensus and running code’ を実践するため、IPv6 標準化においても、プロトコル標準化とほぼ並行して実ネットワークでの IPv6 の動作を確認するための国際ネットワーク 6bone 運用を実施してきた。6bone では、プロトコル自体の動作検証のみならず、RFC2374[68] として IETF で定義した、グローバルな経路制御表のエントリ数を削減するための経路集成分を基本としたアドレス割り振り手法に関する実証をするため、RFC2471[12] を規定、各組織にアドレスを分配、運用を実施していた。

実験ネットワークでの運用から、商用 ISP への導入の気運が高まり、6bone での割り振り経験に基づき、実際に商用利用可能な IPv6 のアドレス割り振りのための「暫定 IPv6 アドレス割り振り・割り当てポリシー」(Provisional IPv6 assignment and allocation policy) [15] が制定され、1999 年 7 月に、各 RIR によりアドレス割り振りが開始された。これにより、IPv6 の実利用が開始されたことになる。

国内でも、WIDE プロジェクトを始め、いくつかの組織が IPv6 アドレスを取得した。

6.1.2 IPv6 アドレス配布ポリシー策定

- 実施者：執筆者を含んだ国内ポリシー検討グループ
- 時期：2002 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

第 6.1.1 節で述べたように、商用で利用可能な IPv6 アドレスの配布は、“Provisional IPv6 assignment and allocation policy document” (以下、暫定ポリシーと呼ぶ) に従い、1999 年 7 月に開始された。このポリシーは、IPv4 のアドレス配布ポリシーを参考にして規定されたものであった。その後、IPv6 が広まって行くにつれ、暫定ポリシーに不具合が見られるようになった。特に、IPv4 アドレス配布の “slow start” に基づき、初期割り振りサイズが小さいことや、追加割り振りの際に当時の IPv4 アドレス配布ポリシーと同様の基準 (割り振られた IP アドレスの 80% を使用しなければならない) が採用されていたこと等、IPv6 の広大なアドレス空間を有効活用しにくい、といった点が問題視された。

不具合に関する議論は、2001年8月に台湾で開催された APNIC ミーティングで開始され、その後の ARIN, RIPE-NCC においても議論され、暫定でないポリシーの策定が必要であることが認識された。当時はまだ“グローバルポリシー”、“グローバルコーディネーションポリシー”といった規定は存在しなかったが、RIR 間でのポリシーの差異を極力なくし、世界的に同一の基準で IP アドレスが取得できるようにすべきという方針が採用され、各地域の有識者が登録されたメーリングリストを作成、統一ポリシーに関する議論が実施された。

ポリシー策定の経緯, 内容

統一ポリシー策定に際し、執筆者を含む日本国内の JPNIC IPv6 policy drafting team にて、「暫定」でない IPv6 アドレス配布ポリシーの原案を提案、各 RIR で議論後、文書化、“IPv6 address allocation and assignment policy”（以下、新ポリシー）として 2002 年 7 月 1 日に施行された。

新ポリシーでの主な変更点は、以下の様になっている。

- 割り当てポリシーの前提概念の明記

IPv6 のアドレス割り振りにおいては、「経路の集成」を第一として考えることを明記した。

- IPv6 アドレスアーキテクチャの変更

階層的アドレスとして定義されていた TLA, NLA を廃止した [69].

- 初期割り振りサイズの拡張

暫定ポリシーでは /35 であった初期割り振りサイズを /32 に拡張した。これに伴い、既に /35 を取得していた組織に対して、/32 までの拡張を可能とした。

- 追加割り振り基準の変更

割り振られたアドレス空間の 80% を利用しないと追加割り振りが受けられなかった点を変更し、アドレス空間の利用率を表す HD 率 [70] を導入、追加割り振り基準を大幅に緩和した。

ポリシーの利用状況と現状

本ポリシーは、現在利用されているポリシー [71] の原型となっており、制定から現在に到るまで、IPv6 アドレスの配布は本ポリシーにより実施されている。制定後、各 RIR にて地域の事情に合わせポリシーが変更されおり、2015 年現在、細部については RIR ごとにかなり異なるものとなっている。

6.1.3 IPv6 インターネットに接続されていないネットワークへの IPv6 アドレスの割り振り

- 実施者：APNIC 事務局
- 時期：2004 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

第 6.1.2 節で述べたように、新しい IPv6 アドレスポリシーが制定され、このポリシーに基づき、各 RIR にて IPv6 アドレスの配布が実施されるようになった。このポリシーの実装後、APNIC に対し、直近にはグローバル IPv6 インターネットに接続しない組織が、IPv6 アドレスの割り振りを受けられるかの問い合わせがあり、これに対するポリシーの解釈議論が実施された [72]。

ポリシー策定の経緯，内容

APNIC 事務局のポリシー解釈として、ポリシー原文は、顧客に対し、ネットワークアクセスを提供することを条件としているが、この“ネットワーク”がグローバル IPv6 インターネットであることを規定していないため、他の別ネットワークへの接続があれば、条件を満たす、ということが提起された。議論の結果、この解釈が妥当であるとされ、IPv6 インターネットへの接続がない組織においても、要件を満たすことで、IPv6 アドレス割り振りが受けられることが確認された。

ポリシーの利用状況と現状

本ポリシーに基づき、少なくとも、2組織がインターネットへの接続がない閉域網で利用する IPv6 アドレス空間を取得している。本ポリシーは、現在でも有効である。

6.1.4 IPv6 アドレス配布ポリシーの調整

- 実施者：APNIC 事務局
- 時期：2004 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

第 6.1.2 節で述べたように、IPv6 アドレス割り振り・割り当てポリシーは、1999 年に暫定ポリシーが制定され、その後、各 RIR での議論により、2002 年に新ポリシーが制定された。この新ポリシーにおいては、合理的に証明できる根拠資料を提出することで、初期割り振りサイズとして規定された /32 以上の割り振りサイズを受けられることが記述されていた。しかしながら、/32 以上のアドレス割り振りを受ける際の具体的な要件が記述されておらず、APNIC 等のレジストリで判断に窮することが問題になった。

ポリシー策定の経緯、内容

この問題に対し、2004 年 1 月に、APNIC 事務局より具体的な割り振り基準ポリシーが提案され、合意を得た [73]。このポリシーは 2004 年 8 月に実装され、基準として、従来の「構築を計画している IPv6 のインフラストラクチャーについて、/32 以上の割り振りを必要とすることができる審議情報の提供」に加え、以下の情報を提供することにより、新規割り振りにおいて /32 以上の割り振りを受けられるようになった。

- 既存の IPv4 ネットワークにおけるインフラストラクチャーおよび顧客基盤
- 既存の IPv4 サービスを IPv6 経由で提供し、かつ、2 年以内に、既存の IPv4 顧客の一部を IPv6 に移管する意思の表明

ポリシーの利用状況と現状

本ポリシーを利用し、いくつかの組織が /32 以上のアドレス空間を取得した。本ポリシーは、現在でも利用可能である。

6.1.5 既存 IPv6 アドレスホルダ向けアドレスサイズ拡張

- 実施者：執筆者
- 時期：2004 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

第 6.1.4 節で述べたポリシーの改訂により、大きな IPv4 ネットワークを保有する組織が IPv6 アドレスを新規に取得する際に、組織の保有する IPv4 ユーザ数を勘案することが許されるようになり、初期最小割り振りサイズである /32 以上の IPv6 アドレス空間を取得できるようになった。しかしながら、このポリシーが導入される以前に IPv6 アドレスを取得した組織においては、従来と同じように、配布ポリシーの「追加割り振り」要項により、必要数の IPv6 ユーザが存在することを示さねばならず、アドレス取得時期によって利用可能な IPv6 アドレスサイズに不均衡が発生していた。日本においては、IPv6 アドレス配布開始当初にアドレスを申請、取得した組織が多く、この不均衡が課題の一つとなっていた。

ポリシー策定の経緯，内容

この問題を是正するため、2004 年 8 月に執筆者が、既に IPv6 アドレスを保有している組織に対しても新規と同様の条件で必要なサイズの IPv6 アドレスを取得できるようなポリシーを提案した。このポリシーは 2004 年 9 月の APNIC ポリシミーティングにて合意を得 [74]、2005 年 2 月に実装された。

ポリシーの利用状況と現状

このポリシーを利用し、IPv6 インターネットサービス提供に初期から取り組んでいた国内の大規模 ISP を始め、複数の組織がサービス用にアドレス空間を拡張した。APNIC において、本ポリシー制定の前提となる、IPv6 アドレス配布ポリシーの調整(第 6.1.4 節)が実装され、利用が始まった 2004 年 8 月以前にアドレスを取得し、その後、アドレス空間を拡張した組織のリストを表 6.1 に示す。APNIC はアドレスの割り振り状況を公開しているが、割り振り基準として適用された規則は明記されないため、本ポリシー以外の要件を用い、割り振りを受けた組織が含まれる可能性がある。

表 6.1 2004 年 8 月以前に IPv6 アドレスを取得し、取得空間を拡張した組織

アドレス空間	国	初回取得年月	拡張年月
240f::/24	JP	2000 年 8 月	2010 年 12 月
2400::/20	KR	2001 年 1 月	2005 年 6 月
2404:180::/28	KR	2001 年 9 月	2006 年 8 月
2400:4000::/22	JP	2002 年 1 月	2005 年 8 月
240e::/24	CN	2002 年 8 月	2010 年 5 月
240e::/20	CN	2002 年 8 月	2010 年 5 月
240d::/27	JP	2002 年 4 月	2010 年 12 月
2001:e40::/29	JP	2004 年 1 月	2011 年 2 月
2001:fb0::/31	TH	2004 年 1 月	2012 年 4 月
2402::/22	KR	2004 年 3 月	2006 年 10 月
2409:800::/20	CN	2004 年 3 月	2011 年 8 月

APNIC アドレス割り振り公開データ (<http://ftp.apnic.net/stats/apnic/delegated-apnic-extended-latest>) より作成

本ポリシーは現在でも利用可能であるが、第 6.1.4 節で述べたポリシー制定以前にアドレスを取得した組織が主な対象であるため、今後の利用は少ないと思われる。

6.1.6 IPv6 プロバイダ非依存アドレス割り当て

- 実施者：執筆者を含んだ国内ポリシ検討グループ
- 時期：2008年～2009年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシ制定

ポリシ策定の背景

IPv6 標準化の目的の一つとして、IPv4 インターネットにおいて、肥大化したグローバル経路表のエントリ数削減があげられており、IPv6 アドレスを階層化して割り振ることにより、削減を実施しようとしてきた。この割り振りにおいては、プロバイダ非依存の IPv6 アドレス割り振り対象は、ISP 等のアドレスを再割り当てする組織が主であり、IPv4 において、プロバイダ非依存アドレスを取得していた大規模組織や、複数の ISP に接続し、冗長性を取ることを必要とする組織においては、新たなマルチホーム技術である Shim6[75] 等を利用することを想定していた。

しかしながら、Shim6 の標準化の遅れ、機能に対する懸念¹から、IPv4 と同等のプロバイダ非依存アドレスを用いたマルチホーム手法に対する要望が強くなってきた。

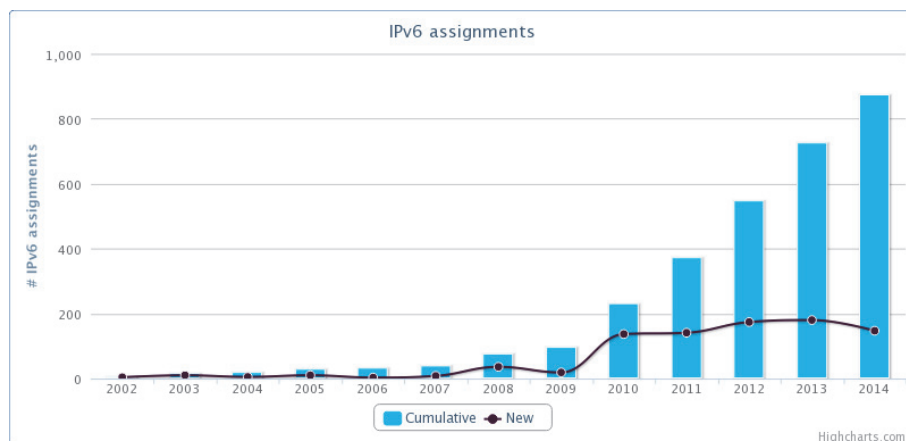
ポリシ策定の経緯，内容

このような流れから、執筆者を含む国内コミュニティの有志にて、2006年5月に、IPv6 用のプロバイダ非依存アドレス空間を割り当てるポリシを提案した。IPv6 においても、グローバル経路数の増大を心配する意見はあったが、プロバイダ非依存アドレスを割り振らない場合でも、「パンチングホール」と呼ばれるプロバイダ依存アドレスを利用した手法が利用され、グローバル経路数が増大する可能性があること、取得できる組織を、“マルチホーム”実施組織と限定すること、3ヶ月以内にマルチホームしない場合には、アドレスを返却することを提起し、2007年の APNIC ポリシミーティング合意を得 [76]、2007年3月に実装された。

¹Shim6 では、トラフィック制御を実施することが困難である等の課題が指摘された。その後、標準化は実施されたが、普及はしていない

ポリシーの利用状況と現状

このポリシーを利用し、多くの組織が IPv6 PI アドレスを取得、独自の IPv6 アドレスを用いてインターネットに接続している。図 6.1 に、割当数の変遷を示す。



<http://www.apnic.net/publications/research-and-insights/ipv6-assignments> より作成

図 6.1 IPv6 プロバイダ非依存アドレス割り当ての変遷

なお、2013年2月に、“マルチホーム”要件を割り当ての条件から外す提案が成立しており [77]、現状、マルチホームを実施する組織で無くても IPv6 プロバイダ非依存アドレスが取得可能である。

本ポリシーで取得できる IPv6 アドレスは、現在インターネットにおいて利用が始まり、今後更に利用が広がっていくと考えられる IoT(Internet of Things: モノのインターネット) サービスに適用可能であり、取得要件からも、サービス提供者が利用しやすいものとなっている。センサー等の多数の機器が接続される IoT サービスでは、IPv6 の利用が必須であり、本ポリシーは今後の IPv6 普及推進にも有効であると考えられる。

しかしながら、本ポリシー制定時には、IPv4 と同等の利用形態を考えており、IoT のような利用形態を想定していない、利用状況によっては、IPv4 と同様、IPv6 においても、経路表の急激な増加によってルータのメモリ不足が発生する等、新たな課題が発生する可能性がある。ポリシー [77] 制定にあわせ、APNIC 事務局にて、本ポリシーによるアドレス割り当て状況を継続的にモニタすることとなっているが、

今後の利用状況によっては、割り当てを制限する等の新たなポリシー提案を実施する必要があると考える。

6.1.7 最後のIPv4アドレス配布ポリシー

- 実施者：筆者を含んだ国内ポリシー検討グループ
- 時期：2008年～2009年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

IPv4アドレス在庫が少なくなるにつれ、その配布を混乱なく終了させることが必須であると考えられた。従来のIANAからRIRへのIPv4アドレス配布ポリシーでは、IPv4アドレスはRIRにおけるIPv4アドレス在庫が残り5割を切った時点、もしくは、在庫が今後9ヶ月の割り振りに満たなくなった時点で、追加の割り振りを申請することができた[78]。この際、IANAからRIRに渡されるアドレスは、/8単位で2個であった。このポリシーを最後の在庫まで使用した場合、最後のブロックについて、RIR間で取り合い状態になり、競合の結果、IPv4アドレスを取得できなかったRIRではアドレス在庫が突然に無くなり、当該地域内で混乱が発生することが想定された。

ポリシー策定の経緯、内容

この混乱を避けるため、国内の有識者により構成した「JPNIC IPv4 countdown policy team」にて提案を策定、他RIRコミュニティの有識者との協力によりポリシー制定を実施した。筆者はJPNICチームの一員として提案に関わった。

このポリシーでは、IANAのIPv4在庫が残り/8単位のアドレスブロックが5個となった時点で、それぞれのRIRに/8のアドレスブロックを一つずつ配布し、IANA在庫を払拭することを提案した。これにより、各RIRは最後のIPv4アドレスとして、/8一つを確実に確保できることになり、このアドレス空間の利用方法について独自に決定することができるようになった。

このポリシーは2008年1月にAPNICポリシーフォーラムに提案され、2008年8月に合意を得た[79]。このポリシーは、IANAとRIR間のアドレス割り振りに関するものであるため、グローバルポリシーとして他の地域のRIRでも合意を取り、最終的に、2009年3月にICANN理事会に承認され、IANAにおける割り振りポリシーとして成立した[80]。

ポリシーの利用状況と現状

本ポリシー制定後、APNIC地域では、“最後の/8ポリシー”[81]を制定した。このポリシーにて、本ポリシーで受け取る最後のIPv4 /8空間の割り振り方法を定義した。

2011年2月初頭に、IANAよりAPNICに対し、2個の/8を割り振った。これにより、IANAのアドレス在庫は残り/8が5個となり、本ポリシーが実行され、2011年2月3日に各RIRに/8を一つずつ配布、IANAのIPv4アドレス在庫は無くなった。

2011年4月19日にAPNICの通常在庫も枯渇、最後の/8からの割り振りに入った。APNICでは、この「最後の/8ポリシー」実施を以て、IPv4アドレス在庫枯渇としている。

6.2. IPv6 継続普及期

この時期は、IPv6の普及の遅れから、IPv4アドレス在庫の不足への対応、IPv6の更なるプロモーションを実施する必要があり、各種対応が実施された。

6.2.1 ISP間で共有可能なIPv4アドレス空間定義

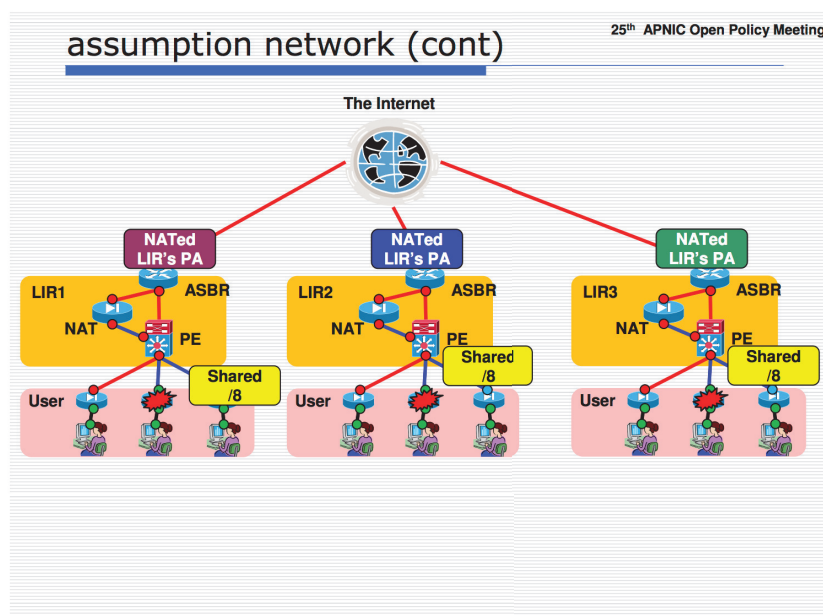
- 実施者：筆者のグループメンバを含む国内グループ
- 時期：2008年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

IPv4 アドレス在庫の不足が進行し、対応のため、少数の IPv4 アドレスを複数のユーザで利用する IPv4 アドレス共有技術の導入が ISP 等で検討され始めた。

ポリシー策定の経緯, 内容

IPv4 アドレス共有技術を導入する場合、共有される IPv4 アドレスはインターネット中でユニークである必要があるが、ユーザに割り当てられるアドレスは、同じ IPv4 アドレスを共有するユーザ間で重ならないければよいため、ISP 間で同じアドレス空間（共有 IPv4 空間）が使用可能である。図 6.2 に共有 IPv4 空間のイメージを示す。



APNIC25 Policy SIG 発表資料 <http://archive.apnic.net/meetings/25/program/policy/ashisa-prop58-share.pdf> より抜粋

図 6.2 ISP 共有 IPv4 アドレス空間

図 6.2 の User と LIR 間の IPv4 アドレス空間（図中 Shared /8）は、各 ISP 間

で同一の空間が利用可能である。

このアドレス空間を RIR 管理下のアドレス中から定義するべく、筆者の主導するグループメンバを代表者として 2008 年 1 月に APNIC のポリシーフォーラムに提案を実施した [82]。本提案は、APNIC ポリシーフォーラムでの議論の結果、特定用途にインターネット資源を割り当てるためには IETF における RFC として文書化が必要、との結論となった。

ポリシーの利用状況と現状

その後、別チームにより IETF に提案が実施され [83]、最終的には、更に別なチームにより IETF にて RFC が出版され [84]、ARIN の管理する IPv4 アドレス空間より、100.64.0.0/10 が割り当てられた。

本提案は、前述のマイグレーション要件のうち、新プロトコル普及までの間、旧プロトコルを利用可能とするための「移行の可逆性」に属する課題への対応となる。

6.2.2 IPv4 アドレス移転

- 実施者：APNIC 事務局
- 時期：2007 年～2010 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

従来、IPv4 アドレスは利用組織 (LIR) にリースされるものであり、割り振り/割り当てを受けた組織が所有するものではないとされてきた。このため、利用申請した目的が終了した IP アドレス空間や、利用予定の変更等により余った IP アドレス空間は、RIR に返却されることが前提となっていた。しかしながら、IPv4 アドレス在庫が減少し、将来的なアドレス不足が予測される中、IPv4 アドレスを有効活用するために、組織間の IPv4 アドレス移転に関する必要性が議論されるようになった。このような流れの中、APNIC のスタッフより 2007 年 7 月に IPv4 移転ポリシーが提案された。

ポリシー策定の経緯，内容

このポリシー提案に対しては，従来の「リース」という考え方を大きく変更することや，移転に伴って，金銭のやりとりが発生する可能性があること，アドレスに対する資産価値など，各国の法制との関連等，多くの点が課題として上げられ，長期間にわたって議論された。

最終的には，IPv4 アドレスの移転を許容しない場合，APNIC 等の RIR が関知しないところで IPv4 のアドレス貸与等が実施され，結果として RIR の管理する IP アドレス台帳が正しくなくなるという懸念から，IPv4 アドレスの移転を RIR として正式に許容すべき，という意見が多勢をしめ，2009 年 8 月に APNIC ポリシミーティングにて合意に達し，2010 年 2 月に実装された。

2010 年時点での実装では，移転の要件として，以下のような制限が課せられていた。

- 移転元の要件
 - － APNIC のアカウントホルダであること
 - － IPv4 アドレス資源の現在の登録者であり，その資源が紛争対象となっていないこと。
 - － APNIC より，以下のどちらかが発生するまで，新たな IPv4 アドレスの割り振り/割り当てを受けることができない。
 - * 移転後，12ヶ月が経過
 - * APNIC の IPv4 アドレスが枯渇（最後の /8 割り振りに突入）
- 移転先の要件
 - － APNIC のアカウントホルダであること
 - － 現在の APNIC ポリシと同等の監査対象となること。特に，APNIC に対する IPv4 アドレス追加割り振り要求の際に，移転空間を含んだ全体の IPv4 アドレス空間の利用率が要件となること

これに加え，APNIC の IPv4 アドレス空間が枯渇するまでは，移転先組織は移転するアドレス空間が必要なことを証明しなければならない。枯渇後は，特に必要性に関する証明を必要としない。

すなわち、APNICのIPv4アドレス在庫が存在する間は、移転の際に、移転先にてAPNICからアドレスを取得する場合と同等の必要性証明が必要とされていたが、APNICのIPv4アドレス在庫枯渇後には、必要性の証明をしなくても良いこととなった。アドレス移転先が必要性を証明すべきかどうかに関し、議論はあったが、最終的に移転に対するハードルを設定した場合、APNICに申請せずにアドレスの受け渡しが実施される可能性が高くなる、という意見が優勢となり、この移転要件を設定しないこととなった。

ポリシーの利用状況と現状

本ポリシーを用いて、APNIC地域内で、多くの組織がアドレス移転を実施している。2011年に、RIR間でのアドレス移転を可能とするため、必要性証明を必須とする移転要件の変更が提案され、合意を得ている(第6.2.4節)。

2015年2月現在、移転ポリシーを実装していないNIRも存在する。例えば、台湾でのアドレス管理を管轄しているTWNIC、韓国でのアドレス管理を管轄しているKRNICでは、管轄範囲外組織とのIPv4アドレス移転を許していない。また、中国でのアドレス管理を管轄しているCNNICや、ベトナムでのアドレス管理を実施しているVNNICにおいては、管轄範囲外組織からアドレスを移転してくることは許されているが、管理下のアドレスを管轄範囲外の組織に移転することを許していない。IPv4アドレス移転が利用可能な組織は、APNIC配下の組織、及び、JPNIC,IRINN(インド)、IDNIC(インドネシア)配下の組織となっている。

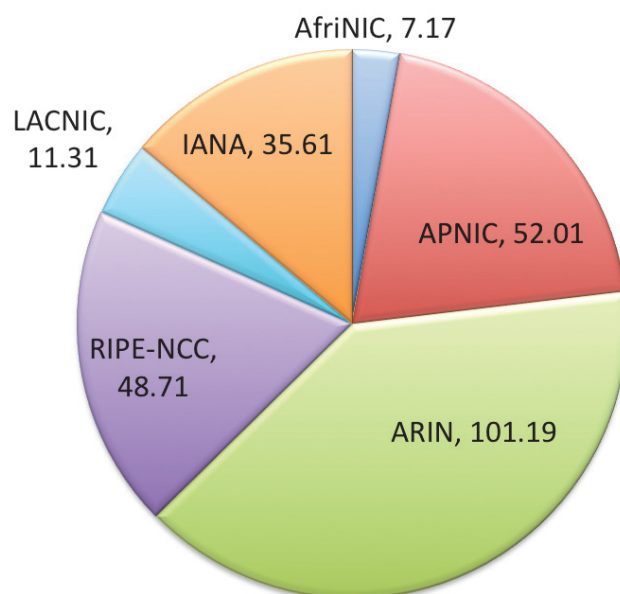
6.2.3 RIR間IPv4アドレス移転

- 実施者：筆者を含む国内チーム
- 時期：2011年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

第6.2.2節で述べたように、2010年にAPNIC地域にて、アドレス移転ポリシーが実装された。その後、他のRIRにおいても、移転ポリシーの実装が進み、2014年現

在では、AfriNIC を除く全ての地域で移転が認められるようになっている。当初、IPv4 アドレス移転は各地域内に閉じていた。しかしながら、IPv4 アドレスの保有量は、世界地域で均一ではない。図 6.3 に IPv4 アドレスの分布状況を示す。図中の地域ごとの数字は、/8 単位での IPv4 アドレス保有数（総保有数を、 2^{24} で割った数）である。



<http://resources.potaroo.net/iso3166/v4cc.html> のデータより作成

図 6.3 IPv4 アドレス空間の配布分布

図 6.3 からわかるように、ARIN 地域の組織が保有するアドレスは、他の地域のアドレスに比べ、かなり多くなっている。これは、インターネットは米国発祥であり、その黎明期に多くのアドレスが米国地域の組織に配布されたことが大きいと考えられる

ポリシー策定の経緯，内容

この状況を鑑み、筆者が主導した検討チームにて、2011 年 1 月に「IPv4 RIR 間アドレス移転ポリシー」を提案、同年 2 月の APNIC ポリシフォーラムにて議論、合

意, 2011年8月に実装された [85]. 図 6.4 に, 提案時の RIR 間アドレス移転の要件概略を示す.

Suggested inter-RIR transfer policy in ML

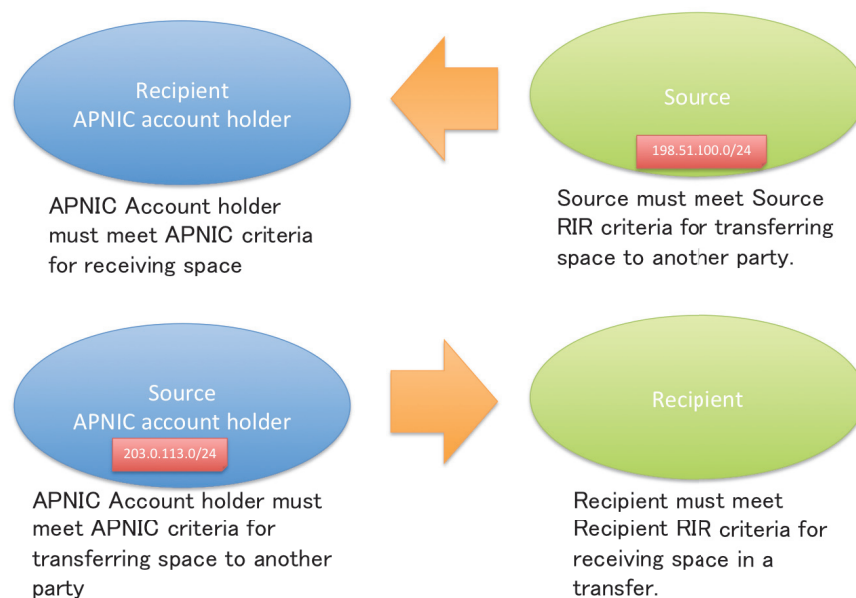


図 6.4 RIR 間アドレス移転の要件

最終的に, RIR 間移転の要件は, 以下のように規定された.

- 移転元の要件

移転すべき資源の登録された所有者であり, その資源が紛争対象になっていないこと.

- 移転先 (資源の受領者) の要件

- IPv4 アドレスを保有していない移転先は, 受領後 24ヶ月間の, 受領資源の詳細な利用計画を示さねばならない.
- IPv4 アドレスを保有する受領者は, 以下を示さねばならない.
 - * 24ヶ月間の, 受領資源の利用計画の詳細
 - * 保有資源の過去の利用率

* APNIC からの過去の資源の受領状況にて、APNIC のポリシーを遵守していたことの証拠

ポリシーの利用状況と現状

本ポリシーを利用し、多くの組織が ARIN 地域より、アドレス移転を実施している。ポリシー利用者は、第 6.2.4 節のポリシー利用者と同等なため、実利用状況は第 6.2.4 節にて示す。

6.2.4 APNIC におけるアドレス移転要件変更

- 実施者：筆者
- 時期：2011 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

第 6.2.3 節で述べた「RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシー」の提案と同時に、IPv4 アドレス移転の要件変更提案を実施した。

第 6.2.2 節で述べたように、APNIC 地域内では、IPv4 アドレス移転ポリシーを検討、実装する際に、APNIC 地域の IPv4 アドレス在庫枯渇後の移転要件として、IPv4 アドレスの必要性証明を不要とした。これは、APNIC 地域内においては、無条件で IPv4 アドレスが移転できることを意味しており、必要性要件がないことを問題視する他の RIR も存在した。実際に、北アメリカ地域の RIR である ARIN において、RIR 間移転が議論され、実装されたが、移転の要件として、「対向する RIR が、ARIN と同様のアドレスの必要性証明を実施していること」が定義されていた。

ポリシー策定の経緯、内容

第 6.2.3 節で述べたように、移転可能な IPv4 アドレスは ARIN 地域に多いことが想定されたこともあり、ARIN からの IPv4 アドレス移転を可能にすることは APNIC 地域にとっても重要であると考えられた。APNIC 地域において、ARIN か

らのアドレス移転を可能とするために、2011年1月に、APNIC内の移転要件を変更する提案を実施した。2011年2月のAPNICポリシーミーティングでの議論を経て、2011年8月のAPNICポリシーミーティングで合意を得、実装された[86]。実装に到る経緯については、第7章で詳述する。

ポリシーの利用状況と現状

この移転要件変更提案と、第6.2.3節で述べたIPv4 RIR間アドレス移転提案が成立したことにより、APNIC地域とARIN地域でのIPv4アドレスの融通が可能となり、実際に多くの組織がアドレス移転を実施している。図6.5に、APNIC地域での地域内、及び地域外アドレス移転の状況を示す。

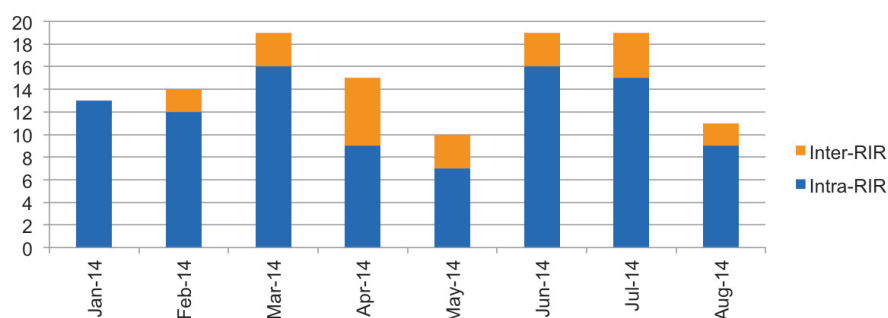


図 6.5 IPv4 アドレス移転の状況

APNIC38 メンバーミーティングでの APNIC 報告資料
(<https://conference.apnic.net/data/38/38ammreport-final-180914.1411026529.pptx>) より抜粋

2015年2月の時点では、APNIC地域とIPv4アドレスを相互に移転可能なRIRはARIN地域のみとなっており、図6.5中の‘Inter-RIR’は、全てARIN地域とのIPv4アドレスアドレス移転である。この図からわかるように、本ポリシーの制定以降、継続してARINからのアドレス移転が実施されている。総計118件の移転が実施されており、移転先は、インド(55%)、香港(13%)、オーストラリア(8%)等となっている。移転内容の詳細情報はAPNICより公開されている²。

²<http://ftp.apnic.net/transfers/apnic/>

また、2015年2月現在、RIPE-NCC地域とのIPv4アドレス移転が調整されている。

6.2.5 IPv6 アドレス割り振り基準における経路集成要件の撤廃

- 実施者：筆者
- 時期：2010年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

2010年時点でのIPv6アドレス割り振り・割り当てポリシーでは、初期割り振りの際に、割り振られたIPv6アドレスを、集成してアナウンスすることが要件となっていた。一方で、追加割り振りを受けた際には集成が要件とはなっていなかった。

ポリシー策定の経緯、内容

この状況はポリシー的に不整合であると考え、2010年2月に、初期割り振りと追加割り振りで要件を一致させることを提案した [87]。

2010年3月に開催されたAPNICミーティングにて議論を実施、結果として初期割り振りの際の経路集成要件を撤廃することで合意を得、2010年7月にポリシーとして実装された。

ポリシーの利用状況と現状

このポリシーにより、IPv6アドレスの取得要件を緩和、ISP等のIPv6アドレス申請者がIPv6アドレスを取得しやすくなった。

6.2.6 返却されたIPv4アドレスの配布

- 実施者：筆者が主導する国内チーム
- 時期：2013年～2014年

-
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

アドレスポリシーでは従来、不要になったIPv4アドレスや、取得目的が終了したIPv4アドレスは、RIRに返却されることとなっていた。このポリシーに従い、返却されたIPv4アドレスも相当数存在した。

RIRに返却されたアドレスのうち、IANAに返還可能な空間は、RIRよりIANAに返還され、IANAの在庫となっていた。この返却されたIPv4アドレスについては、各RIRに均等に再配布されるグローバルポリシーが2012年に成立している[88][89]。このグローバルポリシーにおいては、均等配分を実施するトリガとして、5つのRIRのうちどこかのIPv4アドレス在庫が/9を切ったとき、とされていた。

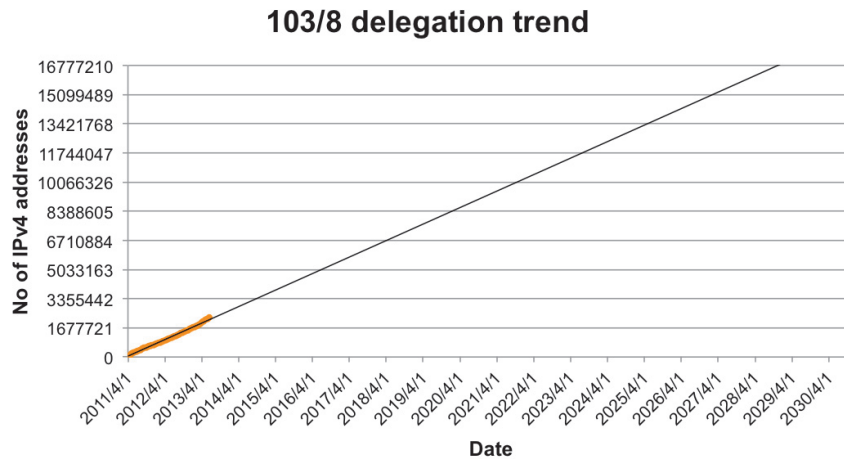
2014年5月20日、ラテンアメリカ地域のRIRであるLACNICにおいて、IPv4アドレス在庫が/9を切ったことがアナウンスされ[90]、IANAにおいて、返却されたIPv4アドレスの分配準備を開始、2014年9月3日にAPNICがIANAよりIANAよりIPv4アドレス分配を受けた[91]。

現在、APNICにおいては、IPv4アドレス配布に関して、「最後の/8割り振りポリシー」が施行されており、第6.1.7節で述べた最後の/8におけるIPv4アドレス割り振りが実施されている。IPv4アドレス番号103/8がこのポリシー用の配布空間であり、IPv4アドレスが必要な組織が、/22までのIPv4アドレスを一つだけ取得可能である。

APNICにおいては、この「最後の/8割り振りポリシー」制定後に、返却等によりAPNICに発生したIPv4在庫においては、「最後の/8割り振りポリシー」用にプールすることが提案され、2011年にポリシーとして実装されていた[92]。

しかしながら、この「最後の/8割り振りポリシー」用のプール空間の利用状況から、返却・追加されたアドレスは、無駄になることが想定された。図6.6に、「最後の/8割り振りポリシー」用アドレス空間からの割り振りの推移を示す。

図6.6からもわかるように、2013年7月時点では、この空間(103/8)の割り振りが終了し、追加領域の配布が始まる時期が2029年と予想されており、現在のIPv4アドレスへの需要を考えた場合、IANAからの返却アドレスをこの空間に追加することは適切でないことが想定された。また、IANAから各RIRに均等に割り振られたIPv4アドレスを、ほぼ死蔵しかねない状況について、他のRIRから問題視される可能性もあった。



2013.7 APNIC 事務局提供

図 6.6 最後の/8 ポリシ用空間の割り振り推移 (2013 年 7 月)

ポリシー策定の経緯，内容

これらの状況を鑑み，筆者が主導する検討チームにて，IPv4 アドレスに対する需要が依然として存在することを調査，報告し，2013 年 1 月に，返却された IPv4 アドレスを必要な組織に配布するポリシーを提案し，2013 年 8 月の APNIC ポリシミーティング合意を得た [93]。議論経過については，第 7 章で詳述する。

ポリシーの利用状況と現状

図 6.7 に，返却 IPv4 アドレスプールからの IPv4 アドレス割り振り状況を示す。図中，“Recovered Pool” が返却 IPv4 アドレスの配布部分となる。

本ポリシー成立以降，多くの組織が IPv4 アドレスを取得していることがわかる。返却済み IPv4 アドレスプールは有限であるため，今後の利用状況に応じて，ポリシーの変更による配布の調整が必要だと思われる。

6.2.7 IPv6 普及推進目的用アドレス割り振り

- 実施者：筆者

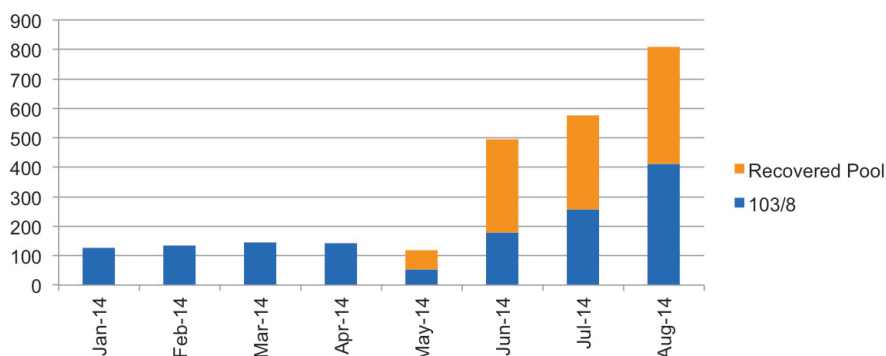


図 6.7 返却 IPv4 アドレス再配布の状況

APNIC38 メンバミーティングでの APNIC 報告資料
 (https://conference.apnic.net/data/38/38ammreport-final-180914.1411026529.pptx) より抜粋

- 時期：2010 年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

IPv6 の普及推進を進めるために、IETF にて IPv4 ネットワーク上で IPv6 を提供するための 6rd[94] 等の移行用プロトコル等が提案、制定された。いくつかのプロトコルでは、IPv6 割り振りの最小サイズである /32 では運用することが困難であり、より広い空間を必要とした。例えば、6rd では、IPv4 アドレスの一部を、IPv6 アドレスの上位に埋め込むため、/32 より広い空間でないと運用が困難である。

ポリシー策定の経緯、内容

この状況から、6rd のようなプロトコルで必要十分なアドレス空間を確保できるよう、IPv6 の普及推進目的のアドレス用途に対しては、より広いアドレス空間を割り振ることを提案した [95]。用途として、IETF にて標準化され、RFC となったプロトコルを対象とした。

この提案は、2010年8月のAPNICポリシーフォーラムで議論されたが、合意には到らず、継続議論となった。その後、別途提案されていた、内容的に関連する「IPv6アドレス追加割り振りにおける要件追加提案」[96]の提案者と調整し、提案をマージし、2011年8月のAPNICポリシーフォーラムで合意を得た。

マージに伴い、元提案[95]は、取り下げとした。

6.2.8 IPv6 割り当てアドレスブロックの要求ベースの拡張

- 実施者：筆者
- 時期：2014年
- 実施カテゴリ：アドレスポリシー制定

ポリシー策定の背景

2006年以前、APNIC地域においては、IANAから配布を受けたIPv6アドレスブロックについて、IPv6アドレスのデフォルト割り振りサイズである /32 を割り振った組織に対し、連続空間での追加割り振り用に /29 までの空間を予約していた。2006年に、IPv6アドレス空間の割り振り管理手法として現在も使用されている sparse allocation アルゴリズムが導入された。このアルゴリズムは、割り振りアドレス空間どうしの距離を最大にすることにより、各割り振りアドレス空間において、連続領域での追加割り振りの可能性を最大限にするよう、考案されたものである。図6.8は、APNICで利用されている sparse allocation アルゴリズムにより、利用可能で空いている空間から、16回のアドレス割り振り行われる順番を示している。

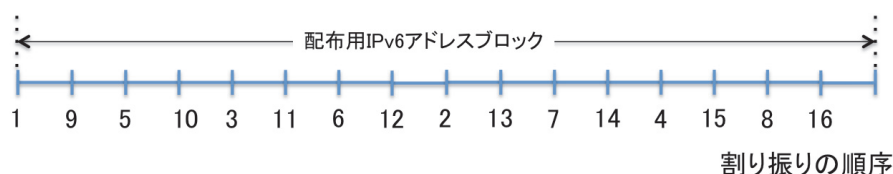


図 6.8 Sparse allocation によるアドレス割り振り

Sparse allocation アルゴリズムでは、空いているブロックをふたつに分割し、そこからのアドレスを新たな割り振りに利用することで、連続する残されたアドレスを追加の割り振りのために空けておく効果がある。

2006 年後半に、新規に APNIC に IANA から配布されたアドレスブロック（以下、sparse allocation ブロックと呼ぶ）に対して、sparse allocation による割り振りが導入されたことにより、それ以前に配布されたアドレスブロック（以下、レガシブロックと呼ぶ）からの配布は実施されなくなった。上述のように、このレガシブロックにおいては、/32 を割り振った組織に対し、追加割り振り用の空間として、/29 までの拡張可能な空間が予約されていた。この空間は、将来的にも利用されず、無駄になることが想定された。

ポリシー策定の経緯，内容

2014 年 1 月に、この空間を有効活用するためのポリシー [97] を提案した。このポリシー提案では、公平性を担保することを考え、sparse allocation ブロックとレガシブロックのアドレス所有者双方に対し、保有するアドレスブロックをレガシブロックの予約サイズである /29 まで、無条件に拡張できるとした。2014 年 2 月の APNIC ポリシフォーラムにて議論されたが、コンセンサスには到らず、継続議論となり、2014 年 9 月のポリシーフォーラムでも議論を継続したが、コンセンサスを得ることができず、本ポリシー提案は廃案となった。

議論経過については、第 7 章で詳述する。

6.3. IPv6 導入におけるポリシー課題対応に関する考察

IPv4 延命，IPv6 導入に関して、アドレスポリシー提案を実施したが、いくつかのポリシー提案において、地域間の違いが課題となった。RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシーの提案においては、APNIC 地域と ARIN 地域での地域内 IPv4 移転に関するポリシーの違い、考え方の違いが存在し、違いを埋める必要があった。この提案においては、APNIC 地域のポリシーを変更，ARIN の考え方に合わせることで，RIR 間移転を実現した。返却された IPv4 アドレスの配布提案においても，APNIC 地域における IPv4 アドレスの利用方法について，他地域との差異が課題の一つとなっており，このポリシー提案を成立させたことで，希少な IPv4 アドレスが有効活用されない可能性に対する他地域の懸念を払拭することができたと考える。アドレス

ポリシーの策定は、地域内に閉じたものとなるが、グローバルインターネットや他地域の状況を考慮したポリシー提案が重要となる。

6.4. IPv6の導入における移行要件の比較

IPv4からIPv6への移行について、第4.2.3節に挙げた要件について考察する。

- 移行実行の主体とその権限、強制力の有無
インターネット管理・運用組織が移行を主導。強制性はない。
- 後方互換性
IPv4のみを実装したノードと、IPv6のみを実装したノード間での通信はできない（プロトコル上の互換性はない）。IPv4からIPv6への移行は、IPv4のみを実装したノードが、IPv4/IPv6両方を実装したノードに移行、最終的にIPv6のみを実装したノードになる、と想定されていた。この要件に対しては、IPv6が十分普及するまで、IPv4を利用可能とするための技術的、資源管理的な対応が行われている。
- flag dayの有無
移行期限は存在しない。マイルストーンとして、“World IPv6 Day”（2011年6月8日）、“World IPv6 Launch”（2012年6月6日）等が実施されている。
- 影響範囲（世界、国、地域）
インターネットは全世界的に利用されており、全世界的な対応が必要である。
- コスト負担
PCなどのエンドユーザ機器について、IPv6対応は進んでおり、エンドユーザに対して利用機器の面では追加コストは発生していないが、ISPに接続するための装置（ブロードバンドルータ等）を買い換える必要がある場合があり、IPv6導入に関する課題の一つとなっている。また、国内ではIPv6インターネットへの接続性を提供するISPが追加費用をユーザに課さない場合が多いが、ISP側での費用負担は発生するため、IPv6サービス提供の是非も課題となっており、中小ISPでは導入を躊躇するケースも見受けられる。
- 移行後システムのプロモーション
IPv4のアドレス在庫の不足、及び、IPv6移行の必要性は、国際組織である

ISOC や、インターネット資源管理組織（地域インターネットレジストリ：RIR）等で認識され、プロモーションが実施されてきたが、全世界的なプロモーションとしては十分ではない。国内では、民間組織である IPv6 普及・高度化推進協議会を中心に、総務省等国関係組織も巻き込み、普及活動を進めてきた。

- 移行の可逆性

IPv6 ネットワーク上で IPv4 インターネットへのアクセスを可能とする移行技術が標準化されており、この技術を用いることが可能である。

- 新技術・システムへの移行，導入時に発生する事象の想定，対処

IPv6 導入時に、いくつかの課題が発生することが想定されており、IETF、オペレーションコミュニティ等で対応が検討されている。

成功した過去のシステム移行事例においては、強制力をもつ実行主体が、明確な移行日（flag day）を以て実施している。これに対し、インターネットにおける移行については、実行主体が強制力を持たず、明確な移行日が存在しない。これは、インターネットがネットワークの集合体で、それぞれのネットワークが分散管理されており、インターネット全体を統括、動作に対する強制力を持つ組織が存在しないためである。このため、IPv6 の導入は世界的に一斉にすすむのではなく、地域や国ごとにその普及度はまちまちとなり、IPv4 も長期間にわたって利用され続けることが想定される。また、インターネットにおける移行の 2 例においては、移行の前後において、移行前のシステムがほぼ問題なく移行後のシステムと共存できた。IPv4 から IPv6 への移行については、両プロトコルに互換性がないため、既存ノードが新規の IPv6 ノードと通信する際に問題となる。この問題に対応するためには、既存ノードと通信する必要のある新規ノードでは IPv4/IPv6 デュアルスタック構成を採用することや、IPv4 と IPv6 のプロトコル変換装置を導入する等の方策が必要であり、現状、前者を前提として、必要に応じて後者を導入することが想定されている。今後、既存 IPv4 ネットワークと IPv6 ネットワークがまだらに存在することになり、IPv6 導入に起因して発生する各種課題への対応として、各種の問題にも対応しなければならない。

以上から、今後も、インターネットを安定して発展させ、運用していくには、IPv4 の延命・終焉に対する対応に加えて、IPv6 の普及推進を並行して推進する必要がある。この観点から実施してきた内容について、表 6.2 にまとめる。

表 6.2 IPv6 普及推進対応

項番	施策	カテゴリ	実施内容
1	IPv4 アドレス資源有効活用	資源管理	IPv4 アドレス配布安定化・IPv4 アドレス有効活用に関するポリシー提案
2	IPv6 資源管理ポリシー調整	資源管理	IPv6 の利用・導入を容易にするための資源管理ポリシー提案
3	IPv6 導入時の課題解決	オペレーション	IPv6 を導入する際に発生すると考えられる課題の解決案の提示，実課題調査・解決対応
4	IPv6 導入時の課題解決	標準化	IPv6 を導入，運用して発生した課題について，プロトコルに起因する場合の標準化対応

第7章

アドレス管理コミュニティにおける ポリシープロセスの在り方

第6章で述べたように、筆者は主に APNIC ポリシフォーラムにおけるポリシー制定を中心に、IPv4 アドレス在庫不足への対応、IPv6 導入、普及推進を実施してきた。本節では、APNIC ポリシフォーラムにおける、数回のポリシー提案・議論を通じ、筆者の活動が、アジア太平洋地域の IP アドレス管理コミュニティにおけるポリシー制定プロセスに対して果たした役割について述べ、当該プロセスの在り方について考察し、今後のコミュニティ議論のあるべき形態について提言する。

7.1. APNIC 地域のアドレスポリシフォーラムにおける 議論の特徴

APNIC 地域では、第 2.4.1 節で述べたポリシー制定プロセスに基づき、アドレスポリシー議論を実施している。ポリシーがコンセンサスを得、実装されるまでの APNIC におけるポリシー制定プロセス概略は以下のようなになる。

1. 現行の資源管理ポリシーに対する問題提起（ポリシー提案）
2. メーリングリストでのポリシー議論
3. APNIC オープンポリシミーティング（APOPM）での議論
4. APNIC メンバミーティング（AMM）でのコンセンサス確認
5. メーリングリストでのコメント募集
6. APNIC 理事会での承認

7. ポリシの実装, 施行

このプロセスの中で, コミュニティ内での議論は, 以下の各段階で実施される.

1. APNIC オープンポリシミーティング (AOPM) 前フェーズにおけるメーリングリストでのオンライン議論
2. AOPM におけるオフライン議論
3. AOPM 後フェーズにおけるメーリングリストでのオンライン議論 (2 の AOPM においてコンセンサスとなった場合のみ)

また, プロセス上, 提案に対するコンセンサス, 非コンセンサスの判断は, 以下のタイミングで実施される (実施順序に従う).

1. AOPM におけるオフライン議論後, ミーティング参加者を対象としたコンセンサス確認
2. APNIC メンバミーティング (AMM) における AMM 参加 APNIC メンバによるコンセンサス確認
3. ポリシ SIG メーリングリストにおけるコンセンサス確認
4. APNIC 理事会による実装可否確認

この中で, 1 の「AOPM におけるオフライン議論後」に実施される, コミュニティが提案に賛同するかどうかの確認がポリシプロセス上, 最初の判断であり, AOPM での直接議論による結果を反映するため, 特に重要度が高い.

筆者は, 2001 年の APNIC11 で開催された AOPM より, 継続的にミーティングに参加しており, いくつかの提案に関与してきた. この経験から, AOPM での議論には, 以下のような問題点があると考えている.

1. 固定されたメンバによる発言の多さ

APNIC のカバーするアジア太平洋地域は, 言語のダイバシティが大きく, 会議の公用言語である英語を母国語とする参加者は多くない. このため, 発言は, オーストラリア, ニュージーランド等, 英語を母国語とする参加者に偏りがちである. アジア系参加者の発言が少ないのは, 言語のためのみでなく, 議論に対する文化的な態度の違いも影響していると考えられる.

2. 声の大きい発言者、有名な発言者の影響力が大きいこと

1点目にも関係するが、参加し、積極的に発言する発言者の賛否に、コミュニティ全体の賛否が大きな影響を受ける。特に、発言者がインターネットの中でも著名な人物である場合、その影響は大きい。

3. APOPM 参加者のかたより

アジア太平洋地域には、APNIC と契約を結び、各国のインターネット資源管理を実施する国別インターネットレジストリ (NIR) が多く存在し、APOPM の参加者は、この NIR 関係者が多い。各国の NIR は、国家機関の一部であることも多く、国によっては、インターネット資源の取得が、自国の NIR からのみ可能である場合や、アドレスを国が管理している場合もある。このような場合、APOPM への参加者は、IP アドレス等を実際に利用する ISP 等の LIR でなく、NIR のスタッフや、国の役人となり、APOPM での意見は、NIR 等からの意見となり、実利用者の意見がポリシーに反映されないことが想定される。

4. 国ごとの状況の違い

アジア太平洋地域は、経済的発展度のダイバシティも大きい。このため、インターネットの利用に関しても、利用形態や利用状況の違いが大きく、アドレスポリシーに対する要求も違うことがある。

これらの課題のうち1点目は、APNIC 自体が、英語ネイティブスピーカーへの話すスピード等への配慮の依頼、話された内容を同時に画面に投影する Transcript の導入、チャットシステム等の、書き言葉での意見提起手段の提供等により、改善を図っている。

以降の節では、筆者が APNIC ポリシフォーラムに提案したポリシーの議論過程における APNIC コミュニティの反応の特徴、上記2, 3点目の対応として筆者が、コミュニティに対して実施したこと、及びその影響について、コンセンサスを得た提案 (第7.2節, 第7.3節)、コンセンサスを得られなかった提案 (第7.4節) の例を詳述する。

7.2. RIR間IPv4アドレス移転ポリシー提案に関する議論

7.2.1 提案の背景

世界的にインターネットの利用は拡大し、多くのRIRにて、IPv4アドレス在庫不足が顕著になっている。IPv6の導入は、IPv4アドレス在庫不足に対する最終解ではあるが、IPv6が十分普及し、IPv4の代替として利用できるようになるまでは、IPv4も並行して利用されることになる。この流れの中で、IPv4アドレス配布ポリシー議論は、IPv4アドレスの在庫をいかに混乱なく配り終えるか、から、IPv4アドレス在庫不足にどう対応するか、という流れに変わった。

IPv4アドレス在庫不足への対策の一つとして、利用されていないアドレスや、剰余アドレスの流動性をあげるため、組織間のIPv4アドレス移転を許容するポリシーを施行するRIRが増加してきた。表7.1に、2014年11月現在の各RIRにおけるアドレス移転ポリシー施行状況を示す。

表 7.1 IPv4 アドレス移転の実装状況（2014年11月現在）

RIR	RIR内移転ポリシー施行日
RIPE-NCC	2008年12月
ARIN	2009年2月
APNIC	2009年6月
LACNIC	2010年2月
AfriNIC	未施行

第6.2.3節で述べたように、地域ごとのIPv4アドレス配布分布は一様でなく、ARIN地域に多く配布されている状況である。ARINでは、このようなIPv4アドレス分布状況の不均衡を鑑み、かなり以前より、RIR間におけるアドレス移転の必要性が議論されており、2011年初頭に、正式なポリシー提案としてARINのポリシフォーラムにおける議論が開始された[98]。

ARINにおけるRIR間IPv4アドレス移転議論の中で、当時IPv4アドレス在庫の枯渇が目前となっていたAPNICが移転対象RIR候補の一つとしてあげられていた。しかしながら、APNICにおけるIPv4アドレス移転ポリシーにおいて、移転

要件が規定されていないこと(第6.2.2節)が問題視され、APNIC との間の IPv4 アドレス移転は認めるべきでない、という意見が出されていた。

APNIC 地域では、APNIC が保有する IPv4 アドレスの在庫が無くなりそうなこと、また、依然として IPv4 アドレスへの需要は大きいことから、ARIN からの IPv4 アドレスの移転実現に対し、期待が大きかった。APNIC 事務局でも ARIN での議論動向を注視しており、ARIN の動きに合わせ、APNIC 地域における RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシー制定、及び、ARIN コミュニティの懸念点への対応の必要性について、検討していた。

7.2.2 RIR 間 IPv4 アドレス移転提案議論の経過と結果

筆者は、このような状況のもと、日本を含むアジア太平洋地域内において依然として IPv4 アドレスが必要であると考え、RIR 間の IPv4 アドレス移転ポリシーを提案した。提案したポリシーは、以下の二つである。

1. RIR 間 IPv4 アドレス移転 (第 6.2.3 節)

APNIC 地域と、RIR 間移転を許容している他 RIR との間で IPv4 アドレス移転を認める提案

2. APNIC におけるアドレス移転要件変更 (第 6.2.4 節)

APNIC 地域において、IPv4 アドレス移転の際に、移転先のアドレスの必要性証明を必須とする提案

このうち、1 の提案は、2011 年 2 月に開催された APNIC31 における APOPM で議論し、移転の際に IPv4 アドレスの移転元、移転先に対する必要要件の定義に関し議論となったが、議論結果を要件提起に反映することでコンセンサスを得た(実装は 2011 年 8 月)。

2 の提案は、ARIN 地域からの IPv4 アドレス移転を受けるために必須であると考え、1 の提案が通った場合に、2 を提案するという形を取った。APOPM における議論において、開始当初は特に大きな反対意見も出ず、ARIN の事務局長からの、この提案は ARIN から RIR 間移転を受ける際に必要となるであろう旨のコメント等もあり、合意が得られるかと思われた。

しかしながら、議論がほぼ終了し、コンセンサスの確認を実施する直前に、APNIC のチーフサイエンティストであり、IPv4 アドレス移転 (第 6.2.2 節) の提案者でもある Geoff Huston 氏が、個人としての意見という形で、IPv4 アドレス移転の際に必要性証明要件を設けることに対し、懸念を表明した。懸念点は、必要性証明を必須とすることは、移転のハードルをあげることになり、RIR を通さずに当事者間でアドレスを融通し合うことを助長し、結果として RIR のアドレス管理台帳に矛盾が生じる可能性が高くなる、というものであった。この懸念点に対する反対意見もあったが、結果として、数人が Geoff 氏の意見を是とし、提案に反対、この提案は継続議論となった。

ARIN との間の IPv4 アドレス移転は、APNIC 事務局もその必要性を認識しており、APNIC 事務局関係者からの意見により提案が継続議論となったことは、提案者としても想定外であった。ミーティング後、APNIC 事務局と再調整をし、次のミーティングに備えることとなった。

提案 2 は、2011 年 8 月に実施された APNIC32 における APOPM にて、再度議論を実施した。結果として、APNIC32 の APOPM では、反対意見もなく、ほぼ議論もない形でコンセンサスを得た。

この提案における著名人の意見の影響は極端な例かと想像される。しかしながら、APNIC 地域では、著名人の意見に議論が影響を受けることが多いため、提案内容を吟味し、反対意見を持ちそうな個人、組織等への事前ネゴシエーションが効果的であると考えられる。

7.3. 返却された IPv4 アドレスの再配布に関する提案議論

7.3.1 提案の背景

第 6.2.6 節で述べたように、APNIC 地域では、2011 年に成立したポリシーにより、「最後の/8 割り振りポリシー」による IPv4 アドレス割り振りが開始された後に、ISP 等の LIR から返却されたアドレス等、新たに発生した IPv4 アドレス在庫は、「最後の/8 割り振りポリシー」用にプールされることとなっていた。

このポリシー制定当時は、IPv4 アドレスの返却が発生しても、その総量は少数であると想定されていた。しかしながら、返却アドレス等新たに発生する IPv4 アド

レス在庫は、相当量となり、「最後の/8割り振りポリシー」用 IPv4 アドレスプールの利用状況から、新たに発生する在庫をプールすることは無駄になりそうなことが予想された。また、RIR 間アドレス移転の議論の際に、ARIN コミュニティ等から、APNIC 地域において、返却アドレスが利用されないことに対する懸念も表明された。

これらの状況から、返却 IPv4 アドレスの有効利用方法について、検討を開始した。

7.3.2 返却 IPv4 アドレス再配布ポリシー提案までの経緯と結果

国内における IPv4 アドレスニーズを把握するため、2012 年 6 月に、JPNIC が開催する国内ポリシーフォーラム JPOPM22 (22nd JPNIC Open Policy Meeting) において、返却された IPv4 アドレスの再配布ポリシーを提案した。この提案の骨子を以下に示す。

- 「最後の/8」以外の空間にて、返却があったアドレス、及び、IANA 返却アドレスの再配布グローバルポリシー [89] にて配布されたアドレスについては、「最後の/8」ポリシーの範囲外とし、「IPv4 アドレス配布プール」にストックする。
- IPv4 アドレスが必要な組織は、「最後の/8」ポリシーと同様の基準で、以下の大きさまで、アドレスを取得可能とする（配布の最小値は、/24 とする）。
「IPv4 アドレス配布プール」の最大値 ÷（その時点の APNIC 会員数）
- サイズの計算は、年二回 (1/1 と 6/1) とする（初回のみ、ポリシー成立直後とする）。

JPOPM22 では、アドレスサイズの計算方法が複雑であること、日本国内の状況が APNIC 地域の他国に受け入れられるか等の意見が出、提案は合意には到らなかったが、返却 IPv4 アドレスの配布に賛同する人も多く、国内で検討チームを作り、APNIC への提案の是非を議論することとなった。検討チームでの議論の結果、以下のような対応をとることとなった。

- 国内でのニーズを見極めるためのサーベイを実施
- 結果を、ポリシー提案でなく議論として APOPM にて報告

-
- APOPM での議論状況により、ポリシー提案を実施するかどうかを判断

この際に実施したサーベイの概要を以下に示す。

- 期間：2012年7月30日～8月10日
- 対象：JPNIC から IPv4 アドレスの割り振りを受けている事業者 (7/30 時点で, 411)
- 結果：61 事業者より返答有り (15%)
- 質問内容
 1. 「最後の/8 ブロック」からの割り振りとは別に、IPv4 アドレスの分配が受けられるとしたら、御社/貴団体は IPv4 アドレスの割り振りを申請しますか？
 2. 申請するアドレスの利用目的をお聞かせください
 3. 最低でもどの程度まとまったサイズの分配が受けられないと、実際に割り振りを受けても御社/貴団体での利用が難しいでしょうか。
 4. IPv4 アドレスの追加割り振りが受けられたらとしたら、IPv6 移行計画の変更や IPv6 対応の延期/停止など、御社/貴団体の IPv6 対応に影響はありますか？
 5. 「最後の/8 ブロック」とは別に分配方法を定義するなど、IPv4 アドレス分配ポリシーを見直すことについては、『長期的な問題解決にはならないのでこれ以上変更すべきではない。それよりも IPv6 導入等、在庫枯渇後の対応検討に注力すべき。』との意見も APNIC フォーラム等では確認されています。このような意見についてどう考えますか。

サーベイの結果は、以下ようになった。

1. 「最後の/8」以外からの割り振りについて：申請する 67%, 申請しない 33%
参考情報：「申請する」とした人の方が IPv6 割り振りを受けている率が高い。
 - IPv6 アドレス保有の割合：申請すると回答した組織 59%, 申請しないと回答した組織 47%

2. 新規顧客への割り当て, IPv6 移行に利用等の用途.
3. 84%の事業者が IPv6 導入計画には影響無しと回答
4. 必要な割り振りサイズ: /22 が最も多い
5. 71%が最後の/8 ポリシの改訂に賛成

この結果に基づき, 2012年8月に開催された, APNIC34 での APOPM にて, APNIC コミュニティの意見を収集するためのプレゼンテーションを実施した. ミーティングにおいては, 賛否両論であり, 反対が優勢であった. 意見としては, ポリシの必要性, 必要なアドレスサイズに関する疑問などが提起された. 反対意見として, ベトナムからの参加者からは, 「最後の/8 ポリシ」で配布している /22 で十分であり, 追加の割り振りは必要ない, といった意見も聞かれた.

APNIC での議論の結果を鑑み, 国外での当該ポリシの必要性を調べるために, APNIC コミュニティに対し, 同様のサーベイを実施することとした. APNIC コミュニティに実施したサーベイと, 日本で実施したサーベイの比較を表 7.2 に示す.

表 7.2 返却アドレス配布に関するサーベイ

	APNIC コミュニティ	日本コミュニティ
サーベイ期間	2012年11月26日～12月10日	2012年7月30日～8月10日
サーベイ対象	APNIC 配下の LIR, アジア太平洋地域のコミュニティ	JPNIC 下の LIR
返答数	89 組織 (56 LIR)	61 LIR

APNIC コミュニティ, 日本コミュニティをあわせたサーベイ結果は以下の通りであった.

1. 「最後の/8」以外からの割り振りについて: 申請する 70%, 申請しない 30%
参考情報: 「申請する」とした人の方が IPv6 割り振りを受けている率が高い.
 - IPv6 アドレス保有の割合: 申請すると回答した組織 75%, 申請しないと回答した組織 53%

2. 新規顧客への割り当て，IPv6 移行に利用等の用途.
3. 86 %の事業者が IPv6 導入計画には影響無しと回答
4. 必要な割り振りサイズ: /22 が最も多い (図 7.1)
5. 69 %が最後の/8 ポリシの改訂に賛成

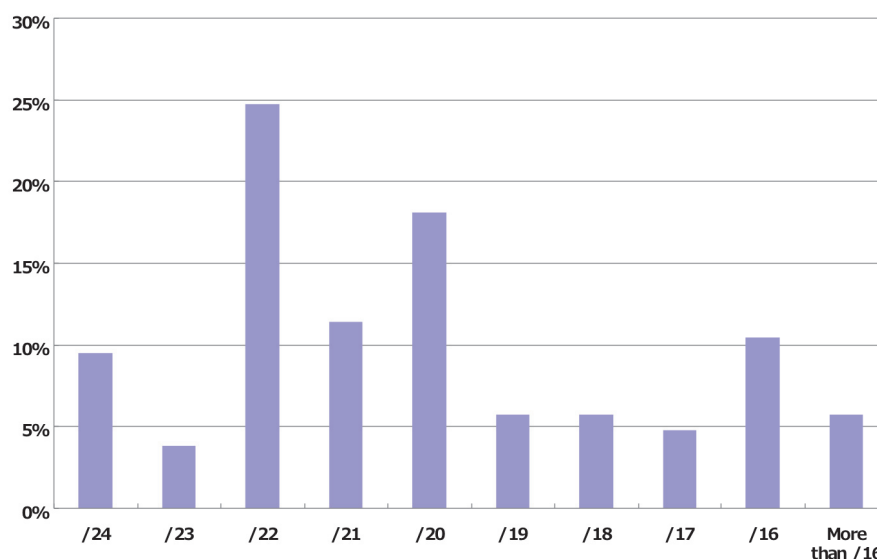


図 7.1 必要な割り振りサイズの分布

このサーベイ結果をもとに，2013年2月に開催された APNIC38 にて，提案を実施した．前回の反対意見に対し，実際の必要性，必要なアドレスサイズのデータを提示したため，賛成意見は多かったが，返却アドレス全体のプールサイズ，及びプールサイズから導出される実際の割り振りサイズについてより詳細な検討を実施することとなった．

APNIC 事務局より得た，会員数の伸びのデータ，及びより詳細な割り振りサイズのデータから，プールサイズの割り振りについて検討を実施した．図 7.2 に，/22 で割り振った際のアドレスプールの消費予測を示す．

当初得られる返却プールからでも，2015年から2018年までの間，割り振りが可能と想定されたため，/22 のサイズにて，返却アドレス空間の割り振りを実施することを再提案し，コンセンサスを得た．

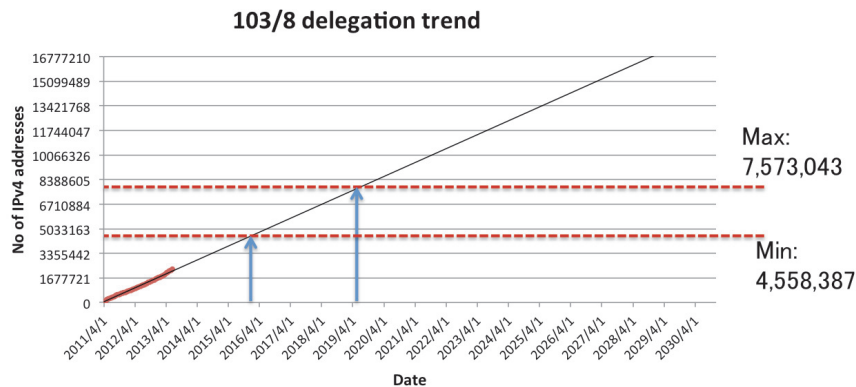


図 7.2 /22 割り振りにおけるプールの消費予測

また、2014年にこのポリシーが有効となり、APNIC地域で割り振りが行われているが、ベトナム地域からも多くの割り振りが申請されている。

このように、反対意見に対し、実際のニーズ、実データを示すことで、コミュニティの合意を得ることが容易になる。また、複雑な提案は避け、できるだけ簡素にすること、日本国内の意見、他国の意見の調整、他国の状況を考慮に入れた提案を実施することが、提案に対し、コンセンサス得るために重要である。

7.4. IPv6 アドレス空間の効率的活用に関する議論

7.4.1 提案の背景

第 6.2.8 節で述べたように、APNIC 地域での配布用 IPv6 アドレス空間管理は、2006 年以前、以後で、手法が変化している。

- 2006 年以前 (レガシブロック)
IPv6 アドレスのデフォルト割り振りサイズである /32 を割り振った組織に対し、連続空間での追加割り振り用に /29 までの空間を予約。
- 2006 年以降 (sparse allocation ブロック)
sparse allocation アルゴリズムを導入。拡張用に予約はせず、割り振りアドレス空間どうしの距離を最大にすることにより、連続空間を確保。

表 7.3 Sparse allocation 導入以前のブロックからの割り振り

アドレス値	サイズ	割り振り日	割り振り状況
2001:cd0::	32	20021205	allocated
2001:cd1::	32		available
2001:cd2::	31		available
2001:cd4::	30		available
2001:cd8::	32	20021209	allocated
2001:cd9::	32		available
2001:cda::	31		available
2001:cdc::	30		available
2001:ce0::	32	20021224	allocated
2001:ce1::	32		available
2001:ce2::	31		available
2001:ce4::	30		available
2001:ce8::	32	20030113	allocated
2001:ce9::	32		available
2001:cea::	31		available
2001:cec::	30		available

APNIC のアドレス割り振り公開データより作成, 2014 年 11 月現在

レガシブロックの割り振りの状況を, 表 7.3 に示す.

表 7.3 において, 割り振り状況が ‘allocated’ になっているアドレスブロックが, ISP 等の組織に割り当てられた空間を示す. 例えば, アドレスブロック 2001:cd0::/32 は, 2002 年 12 月 5 日に, 特定組織に割り振られている. このブロックの場合, 2001:cd1::/32, 2001:cd2::/31, 2001:cd4::/30 が将来的な拡張用に予約されていることになる.

表 7.3 は, 割り振り状況データの一部であるが, この表からわかるように, 相当数のアドレスブロックが予約空間となっており, このブロックは将来的にも利用される可能性が低い.

また、sparse allocation ブロックの利用状況では、全ての IPv6 アドレス所有者に対し、2014 年 11 月現在で、最低でも /24 までの連続領域での拡張が可能となっている。

7.4.2 IPv6 割り当てアドレスブロックの要求ベースの拡張提案までの経緯と結果

筆者は、第 7.4.1 節にて述べた予約空間を有効活用することが必要と考えた。方策として、レガシブロックにおいて /32 を保有している組織に対し、予約されている空間である /29 までの拡張を可能とすることを検討した。また、IPv6 アドレス保有者に対する公平性を考え、sparse allocation ブロックから割り振られたアドレスを保有している組織に対しても、同様に拡張が必要と考えた。

2014 年 2 月に実施された APNIC ポリシフォーラムにて、このポリシ変更提案を実施した [97]。ポリシ提案の概要を以下に示す。

1. 問題提起

現在有効な IPv6 アドレス配布ポリシ [71] における、IPv6 最小割り振りサイズは /32 である。このサイズを /29 まで (/32~ /29 の間) に拡張することを提案する。理由は以下である。

- 2006 年に sparse allocation 機構によるアドレス配布が実装される前には、配布用ブロック /23 内において、全ての /32 取得組織に対して、連続空間での拡張用に /29 までの空間が予約されていた。この予約空間は、将来的に未利用となる可能性が高い。
- 2006 年に sparse allocation 機構が実装され、IANA からの /12 の空間がこのアルゴリズムにより管理されている。sparse allocation 機構においては、拡張用の空間は予約されておらず、割り当てられたアドレスの間の空き領域の大きさは、全体の割り当て量によって変化する。しかしながら、APNIC 地域におけるアドレス割り振り・割り当て方法を開設している文書である ‘APNIC guidelines for IPv6 allocation and assignment requests’ [99] において、“空いている空間に割り振りを拡張していくことにより、特定の資源の取得者に対する追加の割り振りを、可能な限り隣接した空間から行う”，と記述されており、この空間からの割り振り

も、/29まで拡張可能であることが期待できる。実際のところ、2014年9月時点で、/12のSparse allocation空間から/32割り振りを受けている組織は、/24まで連続領域で拡張可能である。

- いくつかの組織では、トラフィック制御を目的として、/32空間を分割してより長いプレフィクス空間(/35等)を経路広告している。しかしながら、/32より長いプレフィクスのフィルタリングを推奨している文書が存在しており[100][101]、ISPによっては、このプレフィクスをフィルタしている可能性がある。/32より短いアドレスプレフィクスを利用することで、このフィルタを回避することができる。
- /32より大きなアドレスブロックを必要とする組織においては、一度に/29を取得する場合と、順次アドレスを拡張した場合(/32, /31, /30と拡張した場合)において、前者の方がアナウンスするプレフィクスが少なくなる可能性が高い。

2. ポリシ変更の目的

本提案は、IPv6アドレスが必要な組織に対し、/29までの割り振り(/32から/29)を可能とする。

3. 他の地域レジストリの状況

RIPE-NCCでは、同様のポリシが実装されており、同地域のISP等は、/29までのアドレスを取得することが可能となっている。

4. 提案するポリシ改訂内容

- 新規IPv6アドレス申請者に対し、アドレス取得要件を満たした場合、/32から/29までの必要なサイズのIPv6アドレスを取得可能とする。
- 既存のIPv6アドレス所有者に対し、必要に応じ、/29までのアドレスの拡張を可能とする。この拡張には特に要件を設けない。

5. 提案の利点

- 将来的に、利用されない無駄なIPv6アドレス空間を活用することができる。

-
- /32 より大きなアドレス空間を取得することで、取得組織がトラフィック制御がしやすくなる.
 - 大規模 IPv6 ネットワークの構築が容易になる.

6. 提案の欠点

無条件で /29 までの拡張を許すことは、本来、アドレスが不必要な組織に対しても IPv6 アドレスを取得を許すことになる可能性がある。しかしながら、IP アドレスは保有量によって維持にかかる費用が発生するため、このような事態は発生しないと思われる。

ミーティングでは、主に以下の点に関する懸念点の表明、及び、変更が提案された。

1. 「要件を設けない」ことに対し、必要の無い組織がアドレスを取得することに対する懸念.
2. 拡張を許す場合には、IPv6 の特徴を考え、/29 でなく、/28 にすべきという意見

特に、1 点目は、APNIC のポリシフォーラムにて、頻繁に意見を主張する発言者によるものであり、この意見に数名の参加者が賛同した。結果として、2014 年 2 月のポリシフォーラムでは、合意を得られず、継続議論となった。

ポリシフォーラムでの議論を受け、必要要件の定義を検討した。要件として、拡張する組織に対し、利用計画の提出を必要とした。提案の変更点を以下に示す。

1. 問題提起について、以下の観点を追加した。

APNIC 地域において、新たな HD 率提案 [102][103] により IPv6 アドレス割り振り基準の見直しが実施された後、初期申請時に /32 以上のアドレス空間を取得すること、追加割り振りによるアドレス空間の拡張が、特に小中規模の ISP にて厳しくなった。

2. ポリシ変更の目的を以下のように変更した。

本提案は、IPv6 アドレスが必要な組織に対し、取得するアドレスの用途を明示することで、/29 までの割り振り（/32 から /29）を可能とする。

3. 提案するポリシー改訂内容を以下のように変更した。

- 新規 IPv6 アドレス申請者は、アドレス取得要件を満たした場合、初期割り振りとして /32 のアドレスを取得できる。アドレス空間全体の利用用途を明示することで、 /29 までの必要なサイズの IPv6 アドレスを取得可能とする。
- 既存の IPv6 アドレス所有者に対し、ネットワークにおける利用計画を提示することで、 /29 までのアドレスの拡張を可能とする。

2014 年 9 月に開催された APNIC ポリシフォーラムにて変更を再提案した。このポリシフォーラムにおいても、同じ発言者からの反対意見が出された。また、APNIC 事務局より改訂提案を APNIC のポリシーとして実装する際に、‘利用用途の明示’ という要件では、APNIC 事務局としてアドレス配布の判断基準とすることが難しいというコメントも出され、賛同者も多かったものの、コンセンサスとはならなかった。

この提案でも、声の大きい特定発言者の主張に参加者が影響され、提案に反対する、という構図が見受けられたように思われる。このような場合、反対の理由が表明されないため、提案の改善が困難である。

7.5. その他の提案における APNIC コミュニティの状況に関する考察

ポリシー提案に対する、APNIC コミュニティの反応は、IPv4 のアドレス在庫状況や、IPv6 の普及度合いによって異なる。本節では、第 6 章に挙げた筆者提案ポリシーについて、フェーズごとに APNIC コミュニティの状況を整理する。

7.5.1 IPv6 導入開始、普及初期におけるポリシー議論

IPv6 導入開始、普及初期においては、IPv6 に関する 3 件のアドレスポリシー提案、及び IPv4 に関する 1 件のポリシー提案に関わった。この時期の APNIC コミュニティにおける IPv6 に関するポリシー議論は、IPv6 アドレス入手を容易とする提案に寛容であり、この方向の提案に対しては反対意見は殆ど出なかった。これは、

IPv6 導入開始後間もないことで、IPv6 アドレス管理に対する経験が不足していたこと、IPv6 のアドレス空間の広さから、アドレスの節約に関する意識が低かったこと、IPv4 アドレスの在庫が残っており、IPv6 に対する興味が相対的に低かったことが原因と考えられる。また、他地域で成立したポリシー提案に対して、同等のポリシーを実装することを是とする意見も多く、結果として、地域間でのポリシー差異を小さくする方向となっていた。

いくつかの提案においては、有識者との事前調整を実施し、ポリシー提案に対する賛同を得た。これにより、効率的にコンセンサスを得ることができた。

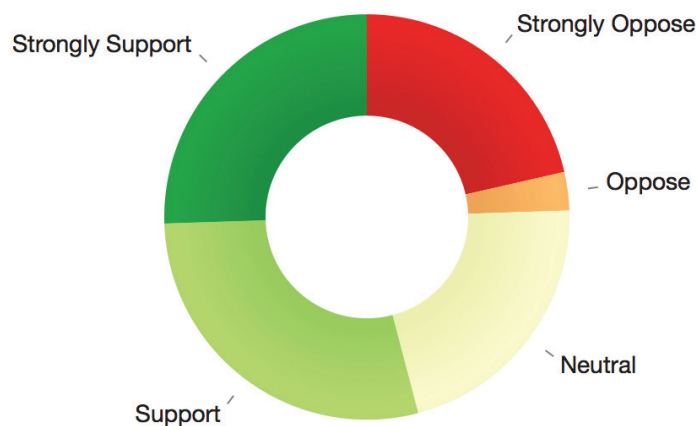
7.5.2 IPv6 継続普及期におけるポリシー議論

IPv6 継続普及期においては、IPv6 に関する 3 件の提案、及び IPv4 に関する 4 件の提案、及び AS 番号に関する 1 件の提案 [104] に関わった。この時期の議論に関しては、IPv6 アドレス取得を容易にする提案に対しても、アドレスの利用方法、割り振り基準、ポリシーの必要性等の観点からの意見が多く出るようになった。これは、地域的に IPv6 導入が進み、IPv6 アドレス管理に対する知見が蓄積されてきたこと、IPv6 アドレスに対しても、アドレス管理の効率性を考えるようになったためだと思われる。また、他地域で成立しているポリシーという観点は重要視されないように見受けられた。

7.6. ポリシプロセス改善に関する動き

APOPM にてコンセンサス確認を実施する際に、従来は挙手により、ポリシーへの賛同、不賛同の状況を確認し、ポリシー SIG チェアがコンセンサス決定の参考としてきたが、挙手による意思確認に参加する人が少ないことが課題の一つとなっていた。この課題への対応として、ミーティング出席者が意思決定に参加するハードルを下げるための手段として、2014 年 9 月の APNIC38 における APOPM にて、オンラインの意思決定システムである“CONFER”が試験導入された。

CONFER は、web インタフェースにより、ポリシー提案議論中に、提案へのサポートの是非を入力できるシステムである。CONFER による確認結果を図 7.3 に示す。このイメージには、具体的な投票数等の情報は無いが、コンセンサス判断を実施するポリシー SIG チェアへの情報としては具体的な投票数も提供される。



<http://confer.apnic.net/consensus/index.jsp> より抜粋

図 7.3 CONFER による意思確認の表示

APNIC38 での APOPM では、筆者の提案に対し、本システムが試験的に初めて用いられ、コンセンサス確認の参考とされた。従来からの挙手ベースのコンセンサス確認も同時に実施された。

APOPM 終了後、CONFER システムのフィードバックを実施するセッションが設けられた。このセッションで、筆者より、以下の課題を提起した。

- 反対投票の理由がわからず、ポリシー改訂の参考にできない

挙手でのコンセンサス確認においては、反対した人がわかるため、ミーティング後などに反対の理由や改善点の相談が可能であるが、CONFER ではこれができなくなり、議論に影響が出ることが懸念される。

- 今回、投票中の画面が表示されており、投票者は画面を見ながら自分の投票を調整できたため、投票数が多い意見に引きずられた可能性がある。
- 挙手ベースのコンセンサスと、CONFER でのコンセンサスにて、賛成、反対の割合にずれがあった理由の検討が必要である。

また、その他の意見として、ポリシー提案を成立させるために、ミーティングに参加者を多く送り込み、投票させるといった票集め行動への対処や、リモート参加者に対する認証方法に対する懸念等が挙げられた。

CONFER システムは試験導入であり、今後、運用方法や集計方法等、改善されて行く予定である。このようなコンセンサス確認の方法検討は、コミュニティのフィードバックによるポリシプロセスの見直しの一例であると考えられる。

7.7. APNIC 地域のポリシプロセス改善に対する提言

RIR におけるポリシー議論はボトムアップで実施されており、ポリシー制定プロセスの見直し、コンセンサス確認方法の見直し等もコミュニティ主体で実施されている。本章で述べた APNIC コミュニティにおけるコンセンサス形成上の課題についても議論され、参加者がより意思決定に参加しやすくする方式の導入が模索されている。

本節では、APNIC コミュニティにおけるインターネット資源管理ポリシー議論の課題、及び、筆者の対応を述べた。第 7.1 節で提起した課題のうち、いくつかの点に対する議論中の対応について以下に示す。

1. 声の大きい発言者、有名な発言者の影響力が大きいことに対する対応

提案に対し、興味を持ち、意見を出しそうな参加者に対し、ミーティングでの議論の前に意見を聞き、事前に議論することは有効である。本節で述べたいくつかの提案の際には、ミーティング中に提案に反対した意見者に対し、次のミーティングの前に議論を実施、疑問点を解消する等の活動を行うことで、ミーティングにおいて提案へのサポートを取り付けた事例が存在する。

2. APOPM 参加者のかたよりに対する対応

提案内容について、各地域、国への影響を検討し、ミーティング前に各国の NIR から意見を収集、提案意図等を説明することで、多くのサポートを得ることが可能となる。このために、各国からのミーティング出席者との関係を保つことが重要となる。

この他にも、提案内容の実装可能性について、APNIC事務局と事前調整を実施すること、提案するポリシーのポイントを絞り、簡易に説明することも重要だと考えられる。

今後、ポリシー議論を活性化、有効化していくために、以下の点について、改善を図っていく必要があると考える。

- ポリシ提案数を増やすこと

昨今、APNIC地域でのポリシー提案自体の数が減少傾向である。他地域では、提案数も多く、活発な議論が実施されており、世界的な傾向ではない。インターネット資源管理ポリシーに対する利用者の意見、改善提案等を能動的に調査する等の方策が必要である。

- ポリシフォーラムでの議論活性化

APNIC地域では、ミーティングで意見を述べる人が多くなく、また、特定の発言者による意見が多い。これは、アジア太平洋地域における議論に対する特性、母国語の違い、参加者層等が原因になっていると考えられる。課題を検討し、意見提起のハードルを下げる方策を実施し、より多人数が意見提起をする環境を整えることが必要である。

- 参加者に理解しやすい提案の推奨

アンケートや、数値分析等を含んだ、実ニーズや、データに基づいた提案に対しては合意が得られやすい。提案の内容をブラッシュアップできるような仕組みが存在すると議論のクオリティが高くなると考えられる。

- 国ごとのレギュレーションの違い等を認識した提案の実施

アジア太平洋地域では、国ごとにインターネットの導入状況や、インターネット管理のシステムが異なる。他国の状況を把握、共有した上で議論できるような手法の検討が必要である。

これらの点について、ポリシープロセスの変更や、システム提案等を実施していく予定である。

第8章 結 論

本論文では、IPv4 アドレスの在庫枯渇に伴う IPv6 導入を実現するために、筆者が実施してきた対応、及び、アジア・太平洋地域のインターネット資源管理コミュニティとのインタラクションについて考察した。

第3章で述べたように、インターネットの発展に伴い、IPv4 アドレス在庫は世界的に不足しており、一部地域では、既に新規在庫が無くなっている。インターネットを今後も安定して発展させ、運用していくためには、IPv6 の導入、普及推進が必須である。しかしながら、現状では依然、IPv4 の利用が世界的にも主流である。このため、IPv6 が十分に普及するまでは、IPv4 と IPv6 を並行に運用することが必要であり、IPv4 延命と、IPv6 対応・普及推進の両者を同時に進めなければならない。この両者への対応において発生する各種課題については、技術的側面からの解決のみでは十分ではない。しかしながら、技術的側面を熟慮せずに、制度やポリシーのみの問題として考えることも適切ではない。技術的、ポリシーの両側面からの検討・解決が重要だと考えられる。このような考え方に基づき、筆者は、IPv4 アドレス在庫枯渇対応、IPv6 の導入について、技術・ポリシー両面からの対応を実施してきた。

また、技術・ポリシー対応にあたり、グローバル性、ローカル性の検討が重要である。インターネットはグローバルな空間であり、国の枠を超えてネットワークが相互に接続されている。このため、インターネット上で利用される標準技術、資源管理ポリシーはグローバルな共通性をもつ必要がある。しかしながら、現状、国や地域ごとに習慣、法を含んだ各種制度、インフラストラクチャの発展度に差があり、ローカルな状況への対処も必要となる場合がある。課題に対し、グローバル・ローカルの観点に つても考慮しながら対応を実施した。

8.1. IPv4延命・IPv6導入に関する技術的・ポリシ的取り組み

技術的な対応としての主な取り組みは以下の点である。

- 複数 IP アドレスの選択に関する課題の解決

複数の IP アドレス (IPv4/IPv6, IPv6 複数) を持つホストが、通信の際に、不適切な発信者 IP アドレスを選択した場合、通信ができない可能性がある課題対応

- IPv6/IPv4 フォールバックに関する課題の解決

IPv4/IPv6 デュアルスタックネットワークにおいて発生する、プロトコル切り替えに時間がかかり、ユーザビリティが低下することがある課題に対する対応

これらは、一般ユーザ向けのインターネット接続サービス提供プラットフォームにおいて、IPv6 を利用した閉域網サービスが存在する日本国内で特に発生する課題であった。

1 点目の「複数 IP アドレスの選択に関する課題の解決」については、技術標準化にて解決を試みた。グローバルな技術標準化においては、特定地域の事情に基づいた、地域のみで発生する課題を解決するために技術検討をすることは困難である。このため、他の環境でも発生する課題として一般化し、サービス提供者からエンドホストに対してアドレス選択に関する情報を伝達する手段を提案、標準化作業を実施した。具体的には、企業等の組織ネットワークに VPN 等で接続する場合にインターネットと組織ネットワークの両方に同時に接続される様な環境や、複数の IPv6 サービスネットワークに同時接続する新規サービス利用形態を想定した。

本提案は、インターネットの技術標準化組織である IETF における技術標準として発行された。

2 点目の「IPv4/IPv6 フォールバックに関する課題の解決」については、IPv6 プロトコルの変更提案、アドレス選択機構を用いた解決方法の広報を実施した。また、検討結果に基づき、国内 IPv6 閉域網について IPv6/IPv4 フォールバックを迅速化する機構の導入を支援した。この機構は実網に導入され、一般ユーザのインターネット利便性向上に寄与していると考えられる。

その他、IPv6 普及推進組織における活動を主導し、国内コミュニティに対する IPv6 ホームゲートウェイ仕様書、IPv6 セキュリティに関する文書の提示、国内外コミュニティに対する、IPv6 導入時に発生する課題と解決策文書の提示、IPv6 普及状況統計等の広報を通じ、IPv6 の普及推進に取り組んできた。

ポリシー側面からの対応としては、IPv4 延命、IPv6 導入推進の両面からの提案を実施した。

インターネット資源管理ポリシー制定は、5つの地域レジストリ (RIR) 内で個別に制定される。アジア太平洋地域においては、この地域を管轄する地域レジストリである APNIC において、ポリシー制定が実施される。地域ごとにポリシーが議論されるため、各地域の状況を反映、RIR ごとにポリシーの差異が大きくなっている。しかしながら、アドレス等のインターネット資源は、グローバルインターネットで統一的に扱われており、公平性を考えた場合、この差異は最小限であることが望ましい。このため、ポリシー提案に関しては、他の RIR におけるポリシー動向、他 RIR の APNIC におけるポリシーに対する意見を考慮し、グローバル動向に即したポリシーの提案・実装をすすめた。

IPv4 の延命に関連するポリシーとして、以下を提案した。

- 最後の IPv4 アドレス配布ポリシー

インターネット資源の中央在庫管理組織である IANA における、IPv4 アドレス配布を混乱無く終了させるため、IPv4 アドレスの IANA 在庫が/8 (2²⁴個) で5個相当になった時点で、5つの RIR に/8 を一つずつ配布するとしたポリシー。それぞれの RIR において、/8 相当の IPv4 アドレス空間が保証されるため、最後の IPv4 アドレス割り振りポリシーを地域の状況に合わせ、独自に制定することができる。

- IPv4 アドレスの RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシー

APNIC 内に閉じていた IPv4 アドレスの移転について、他の地域レジストリ間の移転を可能とするポリシー。対向する RIR が外部 RIR との移転を許可している場合に、その RIR との移転を可能とする。

- APNIC におけるアドレス移転要件変更ポリシー

APNICにおけるIPv4アドレス移転の要件を、受領者がアドレスの必要性を証明することを必須とする（ニーズベースに変更する）ポリシー。北アメリカ地域を管轄するARINから、IPv4アドレス移転を可能にするために、ARIN地域のポリシーにAPNIC地域のポリシーを整合させた。

- 返却されたIPv4アドレスの配布に関するポリシー

IANAに返却され、地域レジストリに再配布されるIPv4アドレスや、地域レジストリに返却され、在庫となっているIPv4アドレスについて、IPv4アドレスを必要とする組織への配布を可能とするポリシー。返却アドレスの有効利用を可能とした。

これらのポリシーは、APNICコミュニティでの合意を得て制定、実装されている。IPv6関連ポリシーとして、

- IPv6アドレス配布ポリシー

IPv6サービスの普及をすすめるため、暫定的に制定されていたIPv6アドレス配布ポリシーを改訂した。

- 既存IPv6アドレスホルダ向けアドレスサイズ拡張ポリシー

新規IPv6アドレス取得者に対して実施されたアドレス取得サイズの緩和策を、既存IPv6アドレスホルダに対しても可能とした。

- IPv6プロバイダ非依存アドレス割り当てポリシー

エンドサイトに対し、プロバイダに依存しないIPv6アドレスブロックの配布を可能とした。

IPv6アドレス割り振り基準における経路集約要件の撤廃ポリシー

IPv6アドレスの新規割り振りの際と、追加割り振りの際に、経路集約に関する要件が違っていたことを訂正した。

等を提案、IPv6アドレス配布ポリシー環境の整備、プロバイダがIPv6を利用しやすいようなポリシーの制定を実施した。その他にも、「AS番号の移転」を可能とするポリシー提案を実施した。

筆者が提案し、実装された主なポリシーについて、制定後の利用状況は以下のようになっている。また、提案したアドレスポリシーが制定されなかった場合に想定される影響等も合わせて示す。

- 最後の IPv4 アドレス配布ポリシー

- ポリシー制定後、2011年2月にポリシーが実行され、各RIRに /8 が一つずつ配布された。APNIC 地域では、2015年2月現在、このポリシーによって配布された“最後の/8”空間から、IPv4アドレスの割り振りが実施されている。
- 本ポリシーが成立していなかった場合、IANA から、RIR に対する最後の IPv4 アドレス割り振りで競合が発生し、IPv4 アドレスが取得できた RIR 以外では、IPv4 アドレス在庫が突然に無くなり、IPv4 アドレス枯渇に対する対策が実施できず、混乱が発生した可能性がある。

- RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシー、APNIC におけるアドレス移転要件変更ポリシー

- この二つのポリシーが制定されたことにより、IPv4 アドレスの保有量が多い ARIN 地域から、IPv4 アドレスの移転が可能になった。制定後、日本のみでなく、オーストラリア、香港、インド、シンガポール等各国の組織が、ARIN 地域からのアドレス移転を実行している。2015年2月現在も、継続的に、RIR 間移転が実装され続けており、2012年に本ポリシーが成立してから、総計118件の移転が実施されている。移転先は、インド(55%)、香港(13%)、オーストラリア(8%)等となっている。
- 移転の利用状況から、本ポリシーが成立していなかった場合、APNIC 地域内で IPv4 アドレス在庫が不足し、インターネットサービス提供に影響が出ていたと考えられる。特に、インド地域等インターネット発展が顕著な地域での影響が大きかったことが想定される。

- 返却された IPv4 アドレスの配布に関するポリシー

- 2014年5月に本ポリシーが成立し、実装された後、本ポリシーを利用し、国内外の多くの組織が IPv4 アドレスを取得している。2014年5月に本ポリシーによるアドレス配布が開始されてから、1,000件以上のドレス申請が発生している。

-
- 利用状況から、本ポリシーが成立していなかった場合、APNIC 地域内で IPv4 アドレス在庫が不足し、インターネットサービス提供に影響が出ていたことが想定される。

- IPv6 アドレス配布ポリシー

制定当初から、いくつかのポリシー変更実施されたが、現在も利用されている IPv6 アドレス配布ポリシーの原型となっている。

- 既存 IPv6 アドレスホルダ向けアドレスサイズ拡張ポリシー

- 本ポリシーを利用し、国内外の ISP が取得した IPv6 アドレス空間を拡張している。
- 本ポリシーが成立しなかった場合、初期に IPv4 アドレスを取得したユーザアドレス空間を拡張できず、サービス展開上、不利になった可能瀬がある。

- IPv6 プロバイダ非依存アドレス割り当てポリシー

- 2008 年に本ポリシーが成立した後、800 以上の組織がプロバイダ非依存アドレスを取得している。
- 本ポリシーが成立していなかった場合、IPv4 にてプロバイダ非依存アドレスを利用している組織における IPv6 導入が困難になり、IPv6 普及に影響が出ていたことが考えられる。

- AS 番号移転ポリシー

ポリシー制定後、いくつかの組織が AS 番号を移転している。

このように、筆者が制定に関わった、IPv4 の延命、IPv6 の普及推進に関する各ポリシーは、アジア太平洋地域にて多くの組織に実際に広く利用されており、インターネットの普及推進に寄与していると考えられる。

インターネット資源管理ポリシーは、時々状況により、適宜見直しをする必要がある。制定したポリシーについても、ポリシー提案時に想定していない利用方法や、想定以上の利用がある場合、状況によって、ポリシー変更の提案を実施することが必要と考えられる。例えば、「IPv6 プロバイダ非依存アドレス割り当てポリシー」は、

IoT(Internet of Things: モノのインターネット)サービスの普及が期待されている現在、サービス用のIPv6アドレス入手に利用が想定される。しかしながら、このポリシーの過度の利用は、IPv6 インターネットにおいても、IPv4 での課題の一つとなっている経路表の急激な増加によってルータのメモリ不足が発生する等、新たな問題の発生に繋がる可能性が高い。

インターネットの安定を考慮するため、制定したポリシーについても、利用状況をモニタし、必要に応じて技術、資源管理ポリシー双方での対応を検討していく予定である。

8.2. アドレスポリシー策定と APNIC コミュニティ

前節で述べたポリシー提案は、APNIC が規定しているポリシー策定プロセスに従い、APNIC コミュニティ内で議論した。

APNIC を含む各 RIR におけるポリシー策定はボトムアップで実施されており、アドレスを管理する RIR や IANA 等がトップダウンで実施するものではない。アドレスポリシーは誰でも提案することが可能で、提案を含め、議論、意思決定プロセスに関与することに関し、参加資格等の制限はない。

上記のことは、基本的に国の代表によって議論がすすめられ、必要に応じて、国ごとに平等な投票によって意思決定が図られる ITU や ISO の国際標準化や、国際連合におけるプロセスとは大きく異なっている。インターネット資源管理ポリシー策定に関する議論は実利用者を含む複数のステークホルダが参加するマルチステークホルダモデルにより実施され、意思決定は参加者のコンセンサスベースとなっている。このポリシー策定プロセスにおいては、国家も一参加者として議論に加わることとなっている。アジア太平洋地域の一部の国では、IP アドレス等は電話番号等の電気通信番号と同様、国家の管理となっている場合もあるが、国に対して意思決定上、特に強い権限は与えられていない。

APNIC のポリシー策定プロセスにおいては、提案ポリシーの採択・非採択も、コミュニティから選挙で選ばれたポリシープロセスの監督者（ポリシー SIG チェア）が議論の結果を考慮し、判断する。ミーティングにおいて、議論の後、挙手等による賛成、反対の状況が確認されるが、これはチェアが判断の参考とするための情報とするという位置づけで、多数決でポリシー採択・非採択が決定されるわけではない。採択されたポリシー提案は、APNIC 事務局によって文書化され、公示期間の後、有

効化される。国ごとのアドレス配布組織である NIR を含め、IP アドレスが必要な組織は、この文書に基づいてアドレスを申請、受領することとなる。

ポリシー策定プロセスにおいては、提案提出後の最初の face-to-face ミーティングである APNIC オープンポリシーミーティング (AOPPM) が大きな位置を占める。AOPPM にて、ポリシー決定プロセス上の最初の提案採択判断が実施される。AOPPM はマルチステークホルダの参加により実施されており、毎回 50 名～100 名程度の参加者で開催されている。主な参加者は以下のようになっている。

- 国別レジストリ (NIR) のメンバ (一部の国では、NIR が国家組織になっており、NIR メンバは国家組織の構成員 (役人) となる)
- アドレスポリシーに直接影響を受ける ISP 等ローカルインターネットレジストリ (LIR) のアドレス管理・申請担当者やオペレーション担当者
- 企業、大学等でアドレスポリシーやインターネットの運用に興味を持つ参加者、研究者 (APNIC 地域に限らない)
- APNIC 事務局員
- 他 RIR の事務局員

この他、APNIC 事務局がオフィシャルに準備し、相互に映像・音声を交換するリモート会場が用意される。この場合、リモート会場も、メインのミーティング会場と同等に扱われる。また、会場の画像、音声を配信するリモート参加環境も用意されており、会場におらずとも意見を述べることで、意思決定に参加することが可能となっている。

以上のような参加者のもと、筆者が対応してきた IPv4 延命、IPv6 普及推進に関わるポリシー提案活動を通じ、AOPPM には、以下のような特徴が見受けられた。

- 固定されたメンバによる発言が多いこと
- 声の大きい発言者、有名な発言者の影響力が大きいこと
- コンセンサスの確認が、多数意見に引きづられる傾向があること
- ポリシ受益者が、必ずしも AOPPM に参加していないこと
- 複雑な提案 (アルゴリズム等) は、合意を得られにくいこと

これらの特徴は、APNICがカバーするアジア太平洋地域の以下の性質によるものが大きいと考え等得れる。

- ダイバシティの大きさ

- － 言語：会議の公用語である英語を母国語とする参加者が多くはないこと
ニュージーランド、オーストラリアのような、英語を母国語とする参加者の発言が多くなる傾向がある。また、英語を母国語とする、他の RIR 地域からの参加者の意見が重要視されることにもつながっている。
- － 経済的発展状況：インターネットの利用状況に大きな差があること
インターネット提供形態の国ごとの違いが、ポリシーに影響する可能性がある。例えば、インターネット利用がネットカフェ等、特定形態の利用が主な地域、各家庭にインターネット環境が提供されている地域、携帯等モバイルデバイスでのインターネット利用が中心な地域等で、IP アドレスの利用形態は違い、IP アドレスの取得ポリシーに影響してくることが想定される。
- － 政治形態：法制度等が大きく違うこと
国がインターネット資源を管理している場合、提案したポリシーが適用できない場合がある。例えば、国によっては、IP アドレス等のインターネット資源の管理が、法律や政令等により実施されている場合には、当該規則の変更が必要になる。

- 文化的な違い

言語の問題にも関連するが、積極的に発言する、という文化でない国が多いこと。

資源管理ポリシー制定においては、このようなアジアにおける地域的特徴のなかで、インターネットのグローバル性から発生する、他の地域との整合性を考慮した議論を実施する必要がある。

実施してきたポリシー提案のうち、「RIR 間 IPv4 アドレス移転ポリシー提案」においては、議論の最終段階における識者の指摘により、コミュニティ全体においても必要性が高いと考えられていたポリシーの合意が得られなかった。この提案は、次の

APOPMに議論持ち越しとなったが、続く議論では、特に反対意見も無く、提案が成立した。このことより、“著名な発言者の影響の大きさ”が特に顕著に見られた例だと考えられる。また、IPv4アドレスの移転については、APNIC地域内で、施行していないNIRも存在する。例えば、台湾のアドレスを管轄するTWNICや、韓国のアドレスを管轄するKRNICでは、それぞれ管轄している範囲外の組織とのIPv4アドレス移転を許していないため、所属組織がARIN等他RIRからのアドレス移転ポリシーを利用する事ができない。このような制限は、国の法制度に起因することもあり、APNIC地域でのポリシー議論を実施する際に考慮すべき点となっている。

「返却されたIPv4アドレスの再配布ポリシー提案」に関する議論においては、議論中、国がアドレスを管理しているNIRの参加者より、当該国ではIPv4アドレスは足りており、当該ポリシーの必要性を感じない、という意見を得た。ポリシーは成立したが、ポリシー実装後、当該国のISPより、このポリシーを利用して多くのアドレス申請が発生したことが確認できた。これは、意見者と、実際にポリシーを利用する人（ポリシー受益者）との間に認識の齟齬があるためだと考えられ、“ポリシー受益者が、必ずしもAPOPMに参加していない”例となる。また、このポリシーを提案した際、事前に実施したコミュニティからの意見募集にて、ポリシー提案に対する需要の有無や、提案ポリシーにおけるパラメータの値（配布アドレス量など）に対して、疑義が提示された。この意見を検討、アンケートを実施し、ポリシー利用者の意見を収集、データの分析結果を提示、疑問点に対する回答を示した。これにより、議論がスムーズに実行できた。

「IPv6アドレス空間の効率的活用に関するポリシー提案」の議論においては、ほぼ一人の意見によって、ポリシー提案内容が合意を得られるかどうかに影響を受けた。これは、“声の大きい発言者”の影響が強い例である。このポリシーは合意を得ることができなかったが、特定の発言者の同意を得ることによって、議論全体を誘導できるため、不適切なポリシー提案が合意を得る可能性があることを示していると考えられる。

これらの特徴、及び、議論における対応から、APNIC地域にてポリシー提案を成立させるには、以下を実施することが効果的であることがわかった。

- 発言の多い参加者と事前に調整を実施すること
- 声の大きい発言者、有名な発言者の合意を得、サポートしてもらうこと

-
- 提案するポリシーの受益者から意見を収集すること
 - 提案内容は極力簡素化し、分かりやすい説明とすること。

APNIC コミュニティにおける上記の特徴のうち、はじめの二点は、少数による不適切なポリシー制定に結びつく可能性があると考えられる。このため、以下の点について検討を進めることを提言する。

- ポリシ提案数を増やし、コミュニティの意見をポリシーに反映すること

昨今、APNIC 地域においては、ポリシー提案の絶対数が少なくなっている。IPv4 アドレス在庫枯渇状況や、IPv6 普及状況が同様の状態にある RIPE-NCC では、多くの提案が実施されているため、普及フェーズのせいではないと考えられる。コミュニティからの意見をベースとしたボトムアップでの議論を推奨していく必要がある。

- 参加者の発言を増やし、ポリシーフォーラムでの議論を活性化すること

ミーティングに参加している人の発言を増やし、議論を活性化することにより、相対的に特定参加者や、識者の意見の重みを軽減することができると思われる。現在、ミーティング中にて取り組みが実施されている、Transcript 提供による議論内容の共有のみでなく、言語の問題を解決し、発言を容易にする様な手段を検討すべきである。

- 参加者に理解しやすい提案を推奨すること

APNIC 事務局から、提案文書や発表スライドのテンプレートが提供されているが、十分ではない。提案者を増やすためにも、提案、プレゼンテーション実施のサポートを含め、検討が必要だと考える。

- 国ごとのレギュレーションの違い等を認識した提案を実施すること

国ごとの、法制度や、インターネット普及形態の違いを考えに入れたポリシー提案を実施することは重要である。ポリシー提案の際、提案に影響するアジア太平洋地域各国の状況を調査できるような枠

組みを用意することができる。各国の NIR 等の協力で、実施可能と考えられる。

コミュニティベースのボトムアッププロセスによるインターネット運用を維持していくことは、オープン、イノベティブなインターネット環境を維持していくためにも重要である。今後、これらの提言を実現するために、ポリシープロセスの見直しも考慮に入れ、コミュニティの意思決定や、プロセス自体への改善提案等を継続的に実施していく予定である。

8.3. 今後のインターネットの発展と IP アドレス配布に関するポリシーの展開

インターネットは今日多くの人にとって欠くことができないデジタル情報基盤としての地位を占めるまでに発展している。これは ARPANET が TCP/IP に移行して以来、多くの人々がインターネットの発展に尽力したことによるが、インターネットで使用されていたプロトコルが継続的に改良され、セキュリティ的に強化され、より便利に情報基盤を利用できるよう数多くのアプリケーションが開発されたことによるところも大きい。

インターネットの運用に必要な IP アドレスは、32 ビット固定長として定義された。これは当時の計算機ネットワークの状況を考えれば、アドレスは無尽蔵にあるといっても良い数であり、それが枯渇するような状況に至るとは想像できなかったに違いない。一方、当初から IP アドレスを 64 ビットで定義していた場合、今日問題になっているような IPv4 アドレスの枯渇や IPv6 の策定・移行というような問題は発生していなかったかも知れないが、当時の計算機の能力を考えると、インターネットが今日のように発展することは難しかったのではないかと考えられる。

インターネットは完成されたものではない。現在も多くのプロトコルの変更が必要となり、新しいプロトコルが提案されている。また、今までのような WWW(World Wide Web) を主に提供する情報基盤とはまったく違った使い方が始まる可能性もあり、それに対応していろいろな変更が必要になるに違いない。

インターネットの運用や利用に必要なアドレスの割り当てポリシーは、誰でも参加できるミーティングで、参加者の合意が得られることによって決定されている。

これは、ITU や ISO などの参加各国の代表による投票で最終的に議決される仕組みとは大きく異なっている。アドレス割り当てポリシーは、技術者だけではなく、アドレスを利用する ISP 関係者や政府関係者など、非常に多彩な参加者のもとで議論される。議論を円滑に実施する手法は、多くの関係者によって模索され、策定されてきている。

本論文は、IPv4 から IPv6 に移行する際に発生する技術的問題と、IPv4 アドレスの節約によって IPv4 の延命を図り、IPv6 への移行に必要な時間を確保しつつ、IPv6 への移行を促進するアドレス割り当てポリシーに関して、筆者が 2002 年から活動した結果をまとめたものである。IPv6 への移行はまだ道半ばであるが、多くの関係者の努力により、日本国内ではほぼ全国で IPv6 インターネットへの接続性が利用可能となっており、また、現在の IPv4 インターネットユーザ環境を自動的に IPv4/IPv6 両対応にするような施策も進んでいる。世界的に見ても、ほぼ全てのアプリケーションで IPv6 にいち早く対応した Google の社向けの IPv6 トラフィック割合が、IPv4 比で 5% を超えるなど、導入は進展している。しかしながら、ユーザが使用している市販の家庭用ルータでは、IPv6 をサポートしていないものも数多く現用されていること、多くの携帯ネットワークや公衆無線 LAN では IPv6 がサポートされていないことなど、解決すべき課題は引き続き山積している。今後も、関係諸氏と技術面、ポリシー面をとわず協力し、更なるインターネットの発展に貢献していきたい。

謝 辞

本研究の指導教員であり、本研究に関連するインターネット黎明期からの重要ポイントにおける議論内容、鉄道等いろいろな社会システムの移行に関する状況等、幅広い知見からの確な指導とご指摘をいただきました、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の加藤朗教授に心から感謝いたします。

検討内容から論文執筆まで、様々な助言やご指導を頂きました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の砂原秀樹教授に心から感謝いたします。

研究内容や方向性、ご自身の経験に基づいたインターネット発展のための対応方法など、数多くの助言をいただきました、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の古川亨教授に心から感謝いたします。

審査委員をお引き受けいただき、数多くの助言やご指摘、丁寧なご指導をいただきました、慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の岸博幸教授に心から感謝いたします。

審査委員をお引き受けいただき、お忙しい中、ミーティングの合間を縫って論文執筆等、数多くの助言や根気強く暖かい叱咤激励をいただきました、東京大学の江崎浩教授に深く感謝いたします。

審査委員をお引き受けいただき、年の瀬のお忙しい時期にもかかわらず、幅広い知見からの確なご指導と数多くの助言をいただきました、国立情報学研究所の中村素典教授に心から感謝いたします。

先生方のご指導を頂き、こうして博士論文をまとめることができました。

IETFでの標準化における検討、APNICにおけるポリシー提案活動、日々の会社での研究活動において大変にお世話になりました、日本電信電話株式会社 旧情報流通プラットフォーム研究所の外山 勝保氏、加藤 淳也氏、松本 存史氏に感謝心から致します。皆様との研究活動を通じ、多くの刺激と示唆を頂きました。

ポリシー提案について、種々のコメント、アドバイスのみならず、ポリシー提案活動を通じ、アジア太平洋地域に閉じない、インターネットの健全な発展を考える必要性をご教授頂きました。Randy Bush氏、Geoff Huston氏をはじめとします、

APNIC コミュニティのメンバの皆様から心から感謝致します。

ポリシー提案に必要な各種データの提示や、ポリシー実装における考慮点など、ポリシー提案活動に関する継続的なご協力を頂きました JPNIC 事務局の奥谷 泉氏、川端 宏生氏、APNIC 事務局の Sanjaya 氏、Guangliang Pan 氏に心から感謝致します。

研究活動への理解のもと、生活面における支援支援をしてくださいました、家族に心から感謝致します。特に、大学院への進学における、経済方面に関する理解、自宅での休日・夜間における部屋への閉じこもりに関する理解なしでは、研究生活は継続できなかつたと思います。

今後もオープン、イノベティブなインターネットの維持・発展に少しでも寄与したく、微力ながら、取り組みを進めて行ければと思っております。

筆者の関連するアドレスポリシー, IETF 標準化文書プロダクトリスト

本節では, 筆者が関与したアドレスポリシー, IETF 標準化文書に関するリスト, 及び筆者の貢献内容概略を示す.

筆者が第一著者, もしくはそれ相当のもの

アドレスポリシー関連

- prop-021: Expansion of the initial allocation space for existing IPv6 address space holders[74]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆, APNIC 会合で発表, メーリングリスト, 会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行い, ポリシとして採択されるに至った.
- prop-082: Removing aggregation criteria for IPv6 initial allocations[87]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆, APNIC 会合で発表, メーリングリスト, 会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行い, ポリシとして採択されるに至った.
- prop-087: IPv6 address allocation for deployment purposes[95]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆, APNIC 会合で発表, メーリングリスト, 会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集をおこなった. 関連する提案者と議論, 提案のマージを実施.
- prop-095: Inter-RIR IPv4 address transfer proposal[85]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆, APNIC 会合で発表, メーリングリ

スト、会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行い、ポリシーとして採択されるに至った。

- prop-096: Maintaining demonstrated needs requirement in transfer policy after the final /8 phase[86]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆，APNIC 会合で発表，メーリングリスト，会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行い，ポリシーとして採択されるに至った。
- prop-105: Distribution of returned IPv4 address blocks (Modification of prop-088)[93]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆，APNIC 会合で発表，メーリングリスト，会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行い，ポリシーとして採択されるに至った。
- prop-107: AS number transfer policy proposal[104]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆，APNIC 会合で発表，メーリングリスト，会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行い，ポリシーとして採択されるに至った。
- prop-111: Request-based expansion of IPv6 default allocation size[97]
第一筆者としてポリシー提案文書を執筆，APNIC 会合で発表，メーリングリスト，会合におけるコミュニティからのフィードバックを反映するように編集を行った。
- RFC7078: Distributing Address Selection Policy Using DHCPv6[34] IETF の 6man WG にて，WG の議論アイテムとなるまで，第一著者としてドラフト執筆，議論に伴う改版等，標準化プロセス全体を実施。WG 議論アイテムとなった後，第二著者として技術的内容議論，改版をサポートを行った。
- Internet-draft: TCP Reaction to ICMPv6 Error Messages[38] 第一著者として，提案のドラフト，ML での議論，IETF エリアディレクタとの調整等を行った。

論文・研究報告

- 情報処理学会研究報告 IPv6/IPv4 デュアルネットワークにおけるフォールバック問題に関する考察 [44]
第一著者として、報告論文執筆、研究会における発表を行った。
- 情報処理学会研究報告 IPv6 サービスプロバイダの運用状況 [22]
第一著者として、報告論文執筆、研究会における発表を行った。
- 情報処理学会研究報告 IPv6 サービスプロバイダの構築と運用 [23]
第一著者として、報告論文執筆、研究会における発表を行った。
- 電子情報通信学会誌 IPv4 アドレス在庫枯渇対応と IPv6 による課題解決 [26]
第一著者として、報告論文執筆、研究会における発表を行った。

国外プレゼンテーション

- IPv6 Summit 2006 “Clear and Present Danger of IPv6 - IPv6/IPv4 fallback and DNS queries” [39]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。
- APRICOT 2014 “IPv6 Security activities in Japan” [57]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。
- APNIC 32 “World IPv6 Day in Japan” [60]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。
- APNIC 34 “Economy update Japan” [61]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。
- IPv6 Summit in TAIWAN 2013 “Japan IPv6 Measurement” [62]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。
- IPv6 Summit in TAIWAN 2013 “Japan IPv6 deployment status” [63]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。
- APNIC 36 “JP IPv6 Measurement” [64]
発表資料作成、カンファレンスでの発表を行った。

-
- APNIC 37 “Japan IPv6 Measurement” [65]
発表資料作成, カンファレンスでの発表を行った.
 - IPv6 Event in Vietnam “IPv6 deployment in Japan” [66]
発表資料作成, カンファレンスでの発表を行った.
 - VIETNAM IPV6 DAY 2014 “Updates on IPv6 deployment in Japan” [67]
発表資料作成, カンファレンスでの発表を行った.

国内プレゼンテーション

- OSC 2011 「IPv4 アドレス枯渇とその対応 ～IPv4 アドレス, 売り切れました～」 [58]
発表資料作成, カンファレンスでの発表を行った.
- OSC 2011 「IPv4 アドレス枯渇とその対応 ～IPv4 アドレス, 売り切れました～」 [59]
発表資料作成, カンファレンスでの発表を行った.

ASO/AC 活動報告

発表資料作成, カンファレンスでの発表を行った.

- APNIC 27 “ASO AC Report” [105]
- APNIC 29 “ASO AC Report” [106]
- APNIC 30 “ASO AC Report” [107]
- APNIC 31 “ASO AC Report” [108]
- APNIC 32 “ASO AC Report” [109]
- APNIC 33 “ASO AC Report” [110]
- APNIC 34 “ASO AC Report” [111]
- APNIC 35 “ASO AC Report” [112]

-
- APNIC 36 “ASO AC Report” [113]
 - APNIC 37 “ASO AC Report” [114]

筆者が所属するグループにて行ったしたもの

アドレスポリシ関連

- IPv6 address allocation and assignment policy [71]
チームメンバとして、ファーストドラフト議論、執筆に協力。また、複数のRIRにおける議論に参加、サポートを行った。
- prop-035: IPv6 portable assignment for multihoming [76]
チームメンバとして、国内、国外を通じ、ドラフト議論、執筆に協力。第一著者の部下としてサポート、識者のと打ち合わせ等を行った。
- prop-055: Global policy for the allocation of the remaining IPv4 address space [79] チームメンバとして、ファーストドラフト議論、執筆に協力、特にポリシ詳細議論に貢献。また、議論途中におけるドラフト改版に協力した。
- prop-106: Restricting excessive IPv4 address transfers under the final /8 block [115] 第二著者として、提案のドラフト、改版議論サポートを行った。

RFC, インターネットドラフト

- RFC5220: Problem Statement for Default Address Selection in Multi-Prefix Environments: Operational Issues of RFC 3484 Default Rules [32]
筆者が主導するチームにて、内容議論を行った、ドラフトの一部を執筆した。
- RFC5221: Requirements for Address Selection Mechanisms [33]
筆者が主導するチームにて、内容議論を行った、ドラフトの一部を執筆した。

論文・研究報告

- NTT 技術ジャーナル NTT における IPv6 研究実験ネットワーク (NTTtv6net) の構築 [21]
筆者が主導するチームにて，内容議論を行った，論文執筆に協力した。

IPv6 普及啓発関連文書

- IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書 「IPv6 マルチプレフィックス環境の構築に関する考察」 [43]
WG のメンバとして内容執筆に協力した。
- 「IPv6 家庭用ルータガイドライン (1.0 版 2009 年 6 月 22 日発行) [45]
WG チェアとして，内容議論を主導，ガイドライン執筆に協力した (一部執筆)。
- 「IPv6 家庭用ルータガイドライン (2.0 版 2010 年 7 月 29 日発行)」 [46]
WG チェアとして，内容議論を主導，ガイドライン執筆に協力した (一部執筆)。
- 「IPv6 家庭用ルータガイドライン第 2 版と TR-124i2 の比較」 (2014 年 6 月 18 日発行) [47]
WG チェアとして，内容議論を主導，ガイドライン執筆に協力した (一部執筆)。
- IPv6 Home Router Guideline (Ver.1.0 June 22 2009) [48]
WG チェアとして，内容議論を主導，ガイドライン執筆に協力した (一部執筆)。
- IPv6 Home Router Guideline (Ver.2.0 July 29 2010 / Translated January 12 2012)[49]
WG チェアとして，翻訳に協力した。
- IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書 「IPv6 導入時に注意すべき課題」 [50]
WG チェアとして，内容議論を主導，ガイドライン執筆に協力した (一部執筆)。

-
- 「国内 IPv6 対応サービス状況チェックで発見された事例について」 [51]
WG チェアとして、内容議論を主導、ガイドライン執筆に協力した (一部執筆).
 - IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書 「アプリケーションの IPv6 対応ガイドライン基礎編 (第 1.0 版)」 [53]
WG チェアとして、内容議論を主導、ガイドライン執筆に協力した (一部執筆).
 - IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書 「IPv6 対応セキュリティガイドライン (第 1.0 版)」 [55]
WG 副査として、内容議論、ガイドライン執筆に協力した (一部執筆).
 - IPv6 普及・高度化推進協議会 WG 文書 IPv6 Security List of Considerations (6SLoC) (Ver1.0-cfc) [56]
WG 副査として、内容議論、ガイドライン執筆に協力した (一部執筆).
 - NTT 広報文書 IPv6 Deployment Issues[52]
文書を執筆、公開作業を行った.

国外プレゼンテーション

- APRICOT 2011 “Operational Problems in IPv6: Fallback Issues” [40]
資料の作成サポート、発表サポートを行った.

付録A

関連するインターネット組織における活動，主貢献プロダクト詳細

A.1. ICANN ASO/AC

筆者は，2008年4月より，APNIC地域選出のICANN ASO/AC メンバとして活動している．本節では，ASO/ACの活動について述べる．

A.1.1 ASO/AC とは

ASOは，ICANNの支持組織の一つである．第2.3.3にて述べたように，ICANNは，理事会と各種委員会，3つの支持組織（SO：Supporting Organization）が基本構造である．支持組織はそれぞれ関連する分野の方針策定について理事会に助言，勧告を行う役割を負う．このうちIPアドレス，AS番号などのインターネットの番号資源に関する分野を受け持つのが，アドレス支持組織（ASO：Address Supporting Organization）である．ASOの意思決定は，世界各地から選出された15人の評議員による合議制で実施されている．この評議会をASO/AC（ASO Address Council）と呼ぶ．

ASO/ACの主な役割を以下に示す．

- IANA から RIR への番号資源割り振りポリシー（グローバルポリシー）提案が全ての RIR で合意に達した場合，ICANN 理事会へ回付して承認を求めるか，RIR のポリシーフォーラムへ差し戻すかの判断を行い，実行する．
- 新 RIR の承認に関し，ICANN 理事会に対して勧告を行う．
- ICANN 理事会メンバー 15 名のうち，2 名の指名を行う．

-
- ICANN 理事会に対し、番号資源割り振りポリシーに関する助言を行う。

A.1.2 ASO/AC の構成

ASO/AC は、5つの地域レジストリからそれぞれ3名ずつ、合計15名で構成される。3名のうち、1名は各RIRの理事会による指名、2名は各RIRの地域コミュニティから選挙で選出される。筆者は、2008年より2011年まではAPNIC理事会指名、2012年以降は選挙で選出されている。APNIC地域においては、選挙選出のASO/ACメンバは任期2年、指名メンバは任期1年である。

A.1.3 ASO/AC としての活動

これまで、ASO/AC として、実施した主な活動を以下に示す。

- インターネット資源配布ポリシーのコーディネーション

最終IPv4アドレスブロックのRIRへの配布グローバルポリシー [80]、IANAに返却されたIPv4アドレスを再配布するグローバルポリシー [89]、AS番号割り振りグローバルポリシー [116]等について、各RIRでの議論状況・コンセンサスの有無の確認、ICANN理事会への実装助言を実施。

- ICANN理事に対するインターネット資源管理ポリシーに関する助言

AS番号の配布について、ICANN理事に対し、配布方を助言 [117]。

- ASO 枠 ICANN 理事選出

ICANN理事の選出を実施。ASO内部委員会の委員として、候補者の選定活動を実施。

- ICANNにおけるASO Workshopでの講演

一年に3度実施されるICANNミーティングにて、ASO/ACワークショップが開催される。このワークショップにて、アジア太平洋地域のポリシー状況報告やITUにおけるIPv4アドレス関連動向の報告を実施。

- APNIC ミーティングにおける活動

年2回開催される APNIC ミーティングにおいて、APNIC コミュニティに対し、ASO/AC 活動の報告を実施 [105][106][107][108][109][110][111][112][113][114].

A.2. IETF Nomcom 2013-2014

A.2.1 IETF Nomcom (IETF 指名委員会) とは

第2.3で述べたインターネットの管理運世組織である、IAB, IAOC, IESG のメンバは、IETF 指名委員会により選出される。この指名委員会メンバは、応募者の中からランダムで選出される。

IETF Nomcom の活動

筆者は、2013年～2014年のIETF 指名委員会メンバとして選出され、候補者の選出活動を実施した¹。選出対象は、それぞれ任期の終了した、IAB 5名、IAOC 1名、IESG 7名であった。また、2013年の選出スケジュールは、以下の通りであった。

- 18 Oct 2013 Deadline for nominations, call for feedback
- 25 Oct 2013 Deadline for questionnaires
- 03 Nov 2013 In-person interviews (thru 08 Nov)
- 11 Nov 2013 Online interviews (thru 20 Nov)
- 20 Nov 2013 End of feedback period
- Early Feb 2014 Announcement of IAOC, IESG selections
- Mid-Feb 2014 Announcement of IAB slate

活動は、IETF ミーティングでのオフライン議論、メーリングリストでの議論、定期的なテレカンファレンスによって実施される。活動を通じ、応募者の書類選考、面接、選定議論を実施した。

¹<https://datatracker.ietf.org/nomcom/2013/>

A.3. 提出し，採択されたポリシ等

A.3.1 prop-021

prop-021 は “Expansion of the initial allocation space for existing IPv6 address space holders” と題した，既存組織に対し，導入されたポリシと同等の IPv6 アドレス空間の拡張を可能とするための提案である．IPv6 ポリシが改訂され，大きな IPv4 ネットワークを保有する組織が IPv6 アドレスを新規に取得する際，組織の保有する IPv4 ユーザ数を勘案することが許されるようになり，初期最小割り振りサイズである /32 以上の IPv6 アドレス空間を取得できるようになった．しかしながら，このポリシが導入される以前に IPv6 アドレスを取得した組織においては，従来と同じように，配布ポリシの「追加割り振り」要項により，必要数の IPv6 ユーザが存在することを示さねばならず，アドレス取得時期によって利用可能な IPv6 アドレスサイズに不均衡が発生していた．特に，日本においては，IPv6 アドレス配布開始当初にアドレスを申請，取得した組織が多く，この不均衡が課題の一つとなっていた．これを是正するため，2004年8月に APNIC にポリシ提案を提出，同月の APNIC オープンポリシミーティング，9月の APNIC メンバミーティングにて合意を得，実装されたものである．

prop-021-v001: Expansion of the initial allocation space for existing
IPv6 address space holders

Proposed by: Tomohiro Fujisaki, Nippon Telegraph and Telephone
Corporation/JPNIC Policy WG Chair
<fujisaki@syce.net>
Version: 1.0
Date: 4 August 2004

Introduction:

I propose making it possible for existing IPv6 address holders with the initial allocation address space to expand their address space without clearing the subsequent allocation requirement.

This proposal has reached a consensus at JPNIC Open Policy Meeting.

Summary of the current problem:

In the past, many of the organizations had requested for the minimum

allocation size(/32) as an initial allocation due to the following reasons:

- + Based on the idea of the "slow start" in IPv4 policy, many organizations believed it would be difficult to justify all of their address requirements at an initial allocation.
- + It was difficult to estimate their needs as IPv6 network was not commercially developed. Many organizations requested for address space for a test service in order to kick off the commercial service, not for the commercial service itself.
- + 'PROVISIONAL IPv6 ASSIGNMENT AND ALLOCATION POLICY DOCUMENT' specified the initial allocation size as /35. LIRs which received allocations under this policy were only allowed an upgrade of their allocations to a /32.

In recent days, most of the ISPs learned that /32 space is too small for the real scale service deployment if they cover their existing IPv4 users.

Organizations currently requesting for initial allocations can simply request for a larger space as the RIRs actively emphasize to their communities that they are able to request for allocations greater than /32, which is already a common practice.

However, ISPs with the default address space need to design the IPv6 service network within the small space until they clear the subsequent allocation requirement (HD-Ratio) for more address space. This makes the real IPv6 service deployment difficult, especially for large ISPs.

Situation in other RIRs:

none.

Details of your proposal:

Existing IPv6 initial allocation address holders should be able to expand their address space without satisfying subsequent allocation criteria if they are able to demonstrate their concrete plan. The same criteria should apply as organizations requesting for an initial allocation larger than /32.

This proposal does not intend to change the current policy but to apply the current allocation practice to existing IPv6 address holders.

If it is possible to expand the address space under the current policy, it is desirable to be documented clearly (e.g. in the guidelines document).

Advantages and disadvantages of adopting the proposed policy:

Advantages:

Existing IPv6 address holders will be possible to start their services under up-to-date situation.

Disadvantages:

none

Effect on APNIC members:

The expanded address space would be considered in the assessment of the APNIC membership tier of the organization, on the renewal of their membership.

Effect on NIRs:

NIRs providing IPv6 address allocation service should apply the same policy.

A.3.2 prop-035

prop-035 は, “IPv6 portable assignment for multihoming” と題した, IPv6 プロバイダ非依存アドレスを配布するためのポリシー提案である. IPv6 の普及に伴い, IPv4 と同等のプロバイダ非依存アドレスを用いたマルチホーム手法に対する要望が強くなってきた. この要望に対応するため, 2006 年 5 月に APNIC にポリシーを提案, 同年 9 月の APNIC オープンポリシーミーティング, APNIC メンバミーティングにて合意を得, 実装されたものである.

prop-035-v002: IPv6 portable assignment for multihoming

Authors: Katsuyasu Toyama
Takashi Arano
Tomohiro Fujisaki
Toshinori Ishii
Kosuke Ito
Dai Nishino,
Noriaktsu Ohishi
Izumi Okutani

Version: 2

Date: 6 September 2006

SIG: Policy

Introduction

This policy allows 'end-sites' to be assigned IPv6 portable addresses only if the end-sites are multihomed, or plan to be multihomed.

Summary of the current problem

The current policy does not allow IPv6 portable assignment to any end-sites. This obstructs end-site organizations which need redundancy in internet connectivity for stable network operation.

Shim6, another multihoming technology discussed in IETF, is not a perfect replacement of the current multihoming technology using BGP due to traffic engineering. In addition, it will take time to standardize and implement Shim6.

Situation in other RIRs

ARIN has been discussing the IPv6 Provider-independent address. The draft was proposed in 2005 and moved to the last call after the meeting consensus in April 2006.

RIPE started PI discussion at RIPE in this May.

AFRINIC and LACNIC discussed similar proposals recently in their Open Policy meetings. In those regions, the issue has been returned to their public mailing lists for further discussion.

Note: APNIC uses the term "portable" rather than "provider-independent" (PI).

Details

(1) Assignment target:

End-sites which are multihomed or plan to be multihomed, regardless of their size.

(2) Assignment criteria:

(2-a) The end site which is assigned IPv6 portable address space must be multihomed using the assigned portable address space in three (3) months.

(2-b) If the portable address space is not used for multihoming after three (3) months, the address space should be reclaimed.

(2-c) The end site which is assigned IPv6 portable address space pays the normal APNIC fee for the space.

(3) Portable address space:

(3-a) The portable assignment should be made from a specified block separate from address space used for portable allocations

(3-b) The portable assignment size to an end-site should be a /48, or a shorter prefix if the end-site can justify it.

Pros/Cons

Advantages:

- (1) Provides the solution for end-sites which require redundancy in IPv6 and currently not able to do so due to the lack of technical solutions.
- (2) Assignment of the portable address space is limited only to 'multihoming purposes'; only end-sites which are or planned to be multihomed can be assigned a portable address. This reduces the consumption of portable address space as well as the growth of the global routing table.
- (3) Portable assigned address space is separate from portable allocated address space, therefore:
 - (3-1) It helps preventing 'punching holes' in the portable allocated address space because prefixes which are longer than /32 can be filtered in portable allocated space.
 - (3-2) it is relatively easy to abandon the portable assigned address space in case some better technical solutions are developed in the future.

Disadvantages:

It may lead to growth in the global routing table, but we think the growth is almost the same in case that providers and end-sites start using 'punching holes' for multihoming.

Effect on APNIC

No direct effect on the existing APNIC members, nor changes to the current IPv6 allocation criteria.

Effect on NIRs

NIR can adopt this policy at its discretion.

A.3.3 prop-055

prop-055 は, “Global policy for the allocation of the remaining IPv4 address space” と題した, IANA における IPv4 アドレス在庫を混乱無く配布し終えるための提案である. IPv4 アドレス在庫が少なくなるにつれ, その配布を混乱無く終了させることが必須であると考えられた. 解決方法として, IANA の IPv4 在庫が残り /8 単位のアドレスブロックが5つとなった時点で, それぞれの RIR に /8 のアドレスブロックを一つずつ配布し, IANA 在庫を払拭することを提案した. 同提案は, 2008 年 1 月に APNIC に提案され, 同年 8 月の APNIC オープンポリシミーティング, APNIC メンバミーティングにて合意を得た. 本ポリシはグローバルポリシであり, その後, 各 RIR のオープンポリシミーティングでの議論, 合意の後, 2009 年 3 月に ICANN 理事会に承認された.

prop-055-v002: Global policy for the allocation of the remaining IPv4
address space

Authors: Roque Gagliano, ANTEL
Francisco Obispo, CENIT
Haitham EL Nakhal, MCIT
Didier Allain Kla, ISOC Cote d'Ivoire
JPNIC IPv4 countdown policy team
- Akinori Maemura
- Akira Nakagawa
- Izumi Okutani
- Kosuke Ito
- Kuniaki Kondo
- Shuji Nakamura
- Susumu Sato
- Takashi Arano
- Tomohiro Fujisaki
- Tomoya Yoshida
- Toshiyuki Hosaka

Version: 2

Date: 22 July 2008

1. Introduction

The exhaustion of IPv4 address space is projected to take place within the next few years. This proposal seeks to focus on measures that should be taken globally in the address management area in order to prepare for the situation in all RIR regions.

2. Summary of current problem

To continue applying a global coordinated policy for distribution of the last piece(s) of each RIR's unallocated address block does not match the reality of the situation in each RIR region.

Issues each RIR region will face during the exhaustion period vary by region as the level of development of IPv4 and IPv6 are widely different. As a result, applying a global co-ordinated policy may not adequately address issues in a certain region while it could be work for the others.

For example, in a region where late comers desperately need even small blocks of IPv4 addresses to access to the IPv4 Internet, a policy that defines the target of allocations/assignments of IPv4 address space to be late comers would be appropriate in such region. This would allow availabililty of IPv4 address space for such requirements for more years.

Another example comes from difference in IPv6 deployment rate. For a region where IPv6 deployment rate is low, measures may be necessary to prolong IPv4 address life for the existing business as well as for new businesses until networks are IPv6 ready. Some regions may have strong needs to secure IPv4 address space for translators.

A globally coordinated policy which addresses all the issues listed above to meet the needs for all RIR regions may result in not solving issues in any of the regions.

3. Situation in other RIRs

This proposal has been be submitted to all RIRs. The status in each RIR region is as follows:

AfriNIC	Reached consensus at AfriNIC 8
ARIN	Reached consensus at ARIN XXI and approved by Board of Trustees (June 2008)
LACNIC	Reached consensus at LACNIC XI
RIPE	Currently under discussion

4. Details of the proposal

This policy describes the process for the allocation of the remaining IPv4 space from IANA to the RIRs. When a minimum amount of available space is reached, one /8 will be allocated from IANA to each RIR, replacing the current IPv4 allocation policy.

In order to fulfill the requirements of this policy, at the time it is adopted, one /8 will be reserved by IANA for each RIR. The reserved allocation units will no longer be part of the available space at the IANA pool. IANA will also reserve one /8 to any new RIR at the time it is recognized.

The process for the allocation of the remaining IPv4 space is divided in two consecutive phases:

4.1. Existing Policy Phase:

During this phase IANA will continue allocating IPv4 addresses to the RIRs using the existing allocation policy. This phase will continue until a request for IPv4 address space from any RIR to IANA either cannot be fulfilled with the remaining IPv4 space available at the IANA pool or can be fulfilled but leaving the IANA remaining IPv4 pool empty.

This will be the last IPv4 address space request that IANA will accept from any RIR. At this point the next phase of the process will be initiated.

4.2. Exhaustion Phase:

IANA will automatically allocate the reserved IPv4 allocation units to each RIR (one /8 to each one) and respond to the last request with the remaining available allocation units at the IANA pool (M units).

4.2.1. Size of the final IPv4 allocations:

During this phase IANA will automatically allocate one /8 to each RIR from the reserved space defined in this policy. IANA will also allocate M allocation units to the RIR that submitted the last request for IPv4 addresses.

4.2.2. Allocation of the remaining IPv4 Address space:

After the completion of the evaluation of the final request for IPv4 addresses, IANA MUST:

- A) Immediately notify the NRO about the activation of the second phase of this policy.
- B) Proceed to allocate M allocation units to the RIR that submitted the last request for IPv4 address space.
- C) Proceed to allocate one /8 to each RIR from the

reserved space.

5. Advantages and disadvantages of the proposal

Advantages:

- It allows each RIR community to define a policy on how to distribute the last piece(s) of allocations which best matches their situation.

Disadvantages:

- Concerns could be raised about allocating a fixed size to all RIRs, that it artificially fastens the consumption rate of some RIR regions. However, its impact is kept to minimum by keeping the allocation size to a single /8 which makes merely 3-4 months difference.
- Concerns could be raised that explicitly allowing regional policies will encourage RIR shopping. However, this should not happen if the requirements within each region is adequately reflected in each RIR's policy through PDP. RIR may also chose to add criteria to prevent LIRs from other regions submitting such requests.

6. Effect on APNIC members

APNIC members will be able to define a policy on how to distribute the last piece(s) of allocations which best matches the situation in AP region.

7. Effect on NIRs

The effect on APNIC members applies to members of NIRs. NIRs are therefore expected to inform their communities of the situation.

A.3.4 prop-082

prop-082 は “Removing aggregation criteria for IPv6 initial allocations” と題した、IPv6 ポリシの不整合を訂正するための提案である。当時の IPv6 アドレス割り振り・割り当てポリシでは、初期割り振りの際に、割り振られた IPv6 アドレスを、集成してアナウンスすることが要件となっていた。一方で、追加割り振りを受けた際には集成が要件とはなっていなかった。これは、ポリシ的に不整合であると考え、2010年2月に、APNIC に対し、初期割り振りとは追加割り振りでは要件を一致

させることを提案，同年3月のAPNICオープンポリシミーティング，APNICメンバミーティングにて合意を得た。

prop-082-v002: Removing aggregation criteria for IPv6 initial allocations

Author: Tomohiro Fujisaki
<fujisaki@syce.net>

Co-authors: Akira Nakagawa
Fuminori Tanizaki
Masaru Akai
Toshio Tachibana

Version: 2

Date: 24 February 2010

1. Introduction

This is a proposal to remove the aggregation requirement from the IPv6 initial allocation policy.

2. Summary of the current problem

The initial IPv6 address allocation criteria requires that LIRs:

"Plan to provide IPv6 connectivity to organizations to which it will make assignments, by advertising that connectivity through its single aggregated address allocation." [1]

However, there is no similar aggregation requirement in either the criteria for subsequent allocations, or in the new IPv6 allocation criteria for APNIC members.

Including the aggregation requirement is problematic for two reasons:

1. It is inconsistent the criteria for IPv6 allocations under two other APNIC policies, which do not require aggregation. These policies are:
 - Subsequent IPv6 allocations
 - The new kick start IPv6 allocation criteria to be implemented 10 February 2010 [2]
2. Registry policy should not concern itself strongly with routing issues.

3. Situation in other RIRs

LACNIC:

The LACNIC community is currently discussing the following proposal to remove the requirement to announce an initial allocation as a single prefix in favour of announcing the prefix with the minimum possible level of disaggregation:

2007-01: Modifications to the IPv6 Prefix Initial Allocation Policy
<<http://www.lacnic.net/documentos/politicas/LAC-2007-01v3-propuesta-en.pdf>>

RIPE:

The RIPE community has recently removed routing requirements from IPv6 policy:

2009-06: Removing Routing Requirements from the IPv6 Address Allocation Policy
<<http://www.ripe.net/ripe/policies/proposals/2009-06.html>>

AfriNIC and ARIN initial IPv6 allocation criteria require a plan to aggregate, with no requirement for aggregation for subsequent allocation criteria. Neither RIR is has any proposal to modify these criteria.

4. Details

This is a proposal to:

- 4.1 Remove the requirement under the initial IPv6 allocation criteria to advertise an initial allocation as a single (aggregate) prefix.
- 4.2 Include a stronger recommendation about the importance of aggregation to the IPv6 policy document.

The APNIC IPv6 policy document currently does include information about the importance of aggregation[3]. However, it is the opinion of this proposal's authors that the recommendation should be more strongly expressed.

5. Pros/Cons

5.1 Advantages

- This policy reduces the number of requirements to obtain IPv6 address.

-
- Other RIR communities are discussing removing aggregation requirements from their policies, so it would be appropriate for APNIC policy to maintain similar criteria to other regions.

5.2 Disadvantages

- By removing the aggregation requirement in the policy, deaggregated routes may begin to be announced more frequently.

6. Effect on APNIC members

APNIC members can apply for IPv6 addresses without ensuring aggregation.

7. Effect on NIRs

NIRs should remove the aggregation requirement from IPv6 initial allocation criteria.

8. References

- [1] See section 5.2.1, "IPv6 Address Allocation and Assignment Policy"
<<http://www.apnic.net/policy/ipv6-address-policy#5.2.1>>
- [2] prop-073: Simplifying allocation/assignment of IPv6 to APNIC members with existing IPv4 addresses
<<http://www.apnic.net/policy/proposals/prop-073>>
- [3] See section 3.4, "IPv6 Address Allocation and Assignment Policy"
<<http://www.apnic.net/policy/ipv6-address-policy#3.4>>

A.3.5 prop-095

prop-095 は, “Inter-RIR IPv4 address transfer proposal” と題した, RIR 間における IPv4 アドレス移転を可能とするための提案である. 従来, IP アドレスは, “リース” されているものであり, 他者へ譲ることが禁止されていると考えられていた. IPv4 アドレス在庫枯渇に伴い, IPv4 アドレスを極力有効活用するために, 利用していない IPv4 アドレスを, 必要とする組織等に “移転” することが提案され, 世界中ほぼすべての地域で移転が認められるようになった. しかしながら当初, IPv4 アドレス移転は各地域内に閉じており, IPv4 アドレスの在庫の消費が世界各地で均一ではないこと, 特に北アメリカ地域に, インターネット初期に割り

当てられた「歴史的 IPv4 アドレス」が集中しており、移転利用可能な IPv4 アドレス在庫が多いと考えられたことから、2011 年 1 月に APNIC に RIR 間移転ポリシーを提案、同年 3 月の APNIC オープンポリシミーティング、APNIC メンバミーティングにて合意を得た。

prop-095-v003: Inter-RIR IPv4 address transfer proposal

Author: Tomohiro Fujisaki

Co-authors: Fuminori Tanizaki
Masaru Akai
Toshio Tachibana
Akira Nakagawa

Version: 3

Date: 24 February 2011

1. Introduction

This is a proposal to allow and define a mechanism for the transfer of IPv4 address space between APNIC account holders and organizations in other RIR region(s), providing that the counterpart RIR has a policy that allows transfers of address space with APNIC account holders.

2. Definitions

2.1 Source

When the source is from the APNIC region, the definition of "source" from the active APNIC transfer policy [1] is to be used. That is, the source must be a current APNIC account holder.

When the source of the transfer is from another RIR region, then the source must be that RIR's equivalent to the "source" defined in the active APNIC transfer policy.

2.2 Recipient

When the recipient is from the APNIC region, the definition of "recipient" from the active APNIC transfer policy is to be used. That is, the recipient must be a current APNIC account holder.

When the recipient of the transfer is from another RIR region, then

the recipient must be that RIR's equivalent to the "recipient" defined in the active APNIC transfer policy.

3. Summary of the current problem

The goal of the APNIC transfer policy was to help distribute IPv4 addresses from those who no longer need the addresses to organizations that need the addresses, but can no longer obtain them from their RIR.

However, the current APNIC transfer policy is restricted to IPv4 transfers within the APNIC region. It does not allow transfers between APNIC account holders and organizations with IPv4 addresses registered with other RIRs. This restriction limits the ability of APNIC's transfer policy's goal of allowing IPv4 addresses to be transferred to networks that need them by preventing surplus and need to be balanced across regional boundaries as well as within the APNIC region.

4. Situation in other RIRs

ARIN:

The ARIN has draft policy ARIN-2011-1, "Globally Coordinated Transfer Policy".

https://www.arin.net/policy/proposals/2011_1.html

There are no similar proposals in the AfriNIC, LACNIC or RIPE regions.

5. Details

It is proposed that:

5.1 Inter-RIR transfers be permitted when the other RIR involved in the transfer has a policy in place that permits transfers of IPv4 address space between APNIC and their own region.

5.2 APNIC acknowledge and process the transfer of IPv4 space between APNIC account holders and an equivalent of account holders in other RIRs, according to the following processes and conditions:

5.2.1 Conditions on the space to be transferred

- The IPv4 address space should be under the management of the RIR which the transfer source holds an account
- The authentic holder of the space should match with the source without any disputes.

5.2.2 Conditions on the source of the transfer

The conditions of the transfer defined by RIR where the source organization holds an account, will apply to the source of the transfer:

- For transfers from an APNIC account holder to an account holder of the counterpart RIR(*), the conditions defined in APNIC transfer policy at the time of the transfer will apply
- For transfers from an account holder of the counterpart RIR(*) to an APNIC account holder, the conditions defined in the counterpart RIR's transfer policy at the time of the transfer will apply

(*) Counterpart RIR is the RIR that APNIC transfers the IPv4 address space from/to

5.2.3 Conditions on the recipient of the transfer

The conditions of the transfer defined by RIR where the recipient organization holds an account, will apply to the recipient of the transfer:

- For transfers from an account holder of the counterpart RIR(*) to APNIC account holder, the conditions defined in APNIC transfer policy at the time of the transfer will apply
- For transfers from APNIC account holder an account holder of to the counterpart RIR(*), the conditions defined in the counterpart RIR's transfer policy at the time of the transfer will apply

(*) Counterpart RIR is the RIR that APNIC transfers the IPv4 address space from/to

5.2.4 Approval of the transfer

The transfer must have the approval of both the counterpart RIR and APNIC to proceed with the transfer, with confirmation that both the source and recipient have agreed to the transfer.

6. Pros/Cons

Advantages:

- This proposal will expand the scope of transferable IPv4 address space outside of the APNIC region, and therefore better meet the goals of the APNIC transfer policy.

Disadvantages:

- None.

7. Effect on APNIC

When APNIC account holders are the recipient of a transfer, and the source is located in another RIR, the account holder must be aware of the transfer policy in place at that other RIR.

8. Effect on NIRs

NIRs are given a choice on whether to adopt this policy. If NIRs choose to adopt this policy, the transfer procedure will be processed via APNIC.

9. References

- [1] Section 3, "Transfers of IPv4 addresses," in "APNIC transfer, merger, acquisition, and takeover policy"
<http://www.apnic.net/policy/transfer-policy>

A.3.6 prop-096

prop-096 は, “Maintaining demonstrated needs requirement in transfer policy after the final /8 phase” と題した, APNIC 地域内における IPv4 アドレス移転要件の変更提案である. APNIC 地域内では, IPv4 アドレス移転ポリシーを検討, 実装する際に, 移転に関する要件を特に規定していなかった. 北アメリカ地域の RIR である ARIN において, ARIN と RIR 間アドレス移転を実施する組織は, 移転を受ける組織が, 移転を受ける量の IPv4 アドレスを必要としていることを証明する「needs base ポリシ」が検討され始めた. APNIC 地域において, ARIN からのアドレス移転を可能とするために, prop-095 と同時に APNIC に対し, 移転要件を変更する提案を実施, 2011 年 8 月の APNIC オープンポリシーミーティング, 9 月の APNIC メンバミーティングにて合意を得, 実装されたものである.

prop-096-v001: Maintaining demonstrated needs requirement in transfer
policy after the final /8 phase

Author: Tomohiro Fujisaki
Co-authors: Masaru Akai
Fuminori Tanizaki
Toshio Tachibana
Akira Nakagawa
Version: 1
Date: 25 January 2011

1. Introduction

This is a proposal to maintain the requirement for recipients of IPv4 transfers to justify their need for address space beyond the current allocation phase and into the final /8 phase.

2. Summary of the current problem

The current APNIC transfer policy removes the requirement to demonstrate a need for transferred IPv4 addresses after the final /8 phase begins.

However, this removal of justification of need once APNIC enters the final /8 phase will make APNIC the only RIR that does not require a demonstrated need to be shown for an IPv4 transfer to be approved.

If an inter-RIR transfer policy, such as prop-095, were to be approved, given that any transfers would be conducted according to the transfer policy of the source RIR, it would disadvantage APNIC if other RIRs were to be able to transfer IPv4 addresses from APNIC without requiring any justification.

Contrast this with transfers where APNIC is the recipient of the transfer, and must follow the transfer policy of the source RIR. Since all other RIRs require justification in transfers, it would be more difficult to have transfers of addresses into the APNIC region than it would for addresses to be transferred out of the APNIC region.

In addition, having no justification requirement in the final /8 phase is raising concerns in some RIR regions and making them reluctant to recognize any inter-RIR transfer policy with APNIC. Therefore, it is possible that even if APNIC were to adopt prop-095, no other RIR may be willing to engage in such inter-RIR transfers with APNIC.

3. Situation in other RIRs

All other RIRs that adopt the IPv4 transfer policy require demonstrated

need at the time of the transfer.

AfriNIC:

AfriNIC permits transfers of IPv4 addresses as part of name changes and transfers of tangible assets associated with addresses. Utilization of the addresses must be verified. See Section 8.1, "Introduction" in "IPv4 Address Allocation Policies":

<http://www.afrinic.net/docs/policies/AFPUB-2005-v4-001.htm>

ARIN:

ARIN policy requires that transfers to specified recipients can take place provided the recipient can demonstrate the need for such resources, as a single aggregate, in the exact amount which they can justify under current ARIN policies. See Section 8.3, "Transfers to Specified Recipients" in the "ARIN Number Resource Policy Manual":

<https://www.arin.net/policy/nrpm.html#eight2>

LACNIC:

LACNIC policy has a transfer policy that will take effect when LACNIC or any of its NIRs becomes unable, for the first time, to cover an IPv4 block allocation or assignment because of a lack of resources. Under this policy, the recipient of the transfer must be able to justify its need for the IPv4 addresses. See Section 2.3.2.18, "Transfer of IPv4 Blocks within the LACNIC Region," in the LACNIC Policy Manual (v1.4):

<http://lacnic.net/en/politiclas/manual3.html>

RIPE:

The RIPE policy permits transfers of complete or partial blocks of IPv4 allocations. The RIPE NCC will evaluate the real need of the receiving LIR as per the policies for further allocation. For more, see section 5.5, "Transfers of Allocations", in "IPv4 Address Allocation and Assignment Policies for the RIPE NCC Service Region:

<http://www.ripe.net/ripe/docs/ripe-509.html>

4. Details

It is proposed that recipients of transfers continue to be required to justify their need for IPv4 address space after the final /8 policy is activated.

5. Pros/Cons

Advantages:

- It allows APNIC to maintain consistency with the pre-final /8 transfer policy and to observe its impact before any potential future removal of the justification requirement.
- It places APNIC policy in line with other RIRs on the transfer conditions during APNIC's final /8 phase.
- It will also prevent the APNIC region from having its address space transferred to other regions without the recipient in the other region needing to demonstrate a need for those addresses.

Disadvantages:

- Some may argue that justifying need is an unnecessary additional requirement to the transfer of IPv4 addresses in the final /8 phase and could potentially be a barrier to the accurate recording of transferred IPv4 blocks registered in the APNIC Whois Database.

However, if organizations have a genuine need for IPv4 addresses, they should be able to explain and justify their requirements for transferred IPv4 addresses, as they do before the final /8 phase today.

6. Effect on APNIC

This will change the condition of the transfer in the APNIC region in the final /8 phase. However, since the criteria remains the same as today, Members will actually not feel the impact.

7. Effect on NIRs

It is the NIR's choice as to whether to adopt this policy.

A.3.7 prop-105

prop-105 は, “Distribution of returned IPv4 address blocks (Modification of prop-088)” と題した, RIR に対して返却された IPv4 アドレスを必要な組織に再配布する提案である。従来, 不要になった IPv4 アドレスは, IANA, もしくは RIR に返却されることとなっており, 返却された IPv4 アドレスも相当数存在した。こ

の返却された IPv4 アドレスについては、各 RIR に均等に再配布されるグローバルポリシーが成立しており、2014 年に配布が開始された。APNIC においては、IPv4 アドレス配布に関して、「最後の /8 割り振りポリシー」が施行されており、このポリシーでは、返却アドレスが再配布された場合、「最後の /8 割り振りポリシー」用にプールすることが提案、了承されていた。しかしながら、このプール空間は、残数が非常に多く、返却・追加したアドレスは、無駄になることが想定された。このため、2013 年 1 月に返却された IPv4 アドレスを必要な組織に配布するポリシーを提案、同年 8 月の APNIC オープンポリシーミーティング、APNIC メンバミーティングにて合意を得、実装されたものである。

prop-105-v002: Distribution of returned IPv4 address blocks
(Modification of prop-088)

Authors: Tomohiro Fujisaki fujisaki@syce.net

JP IPv4 address allocation discussion team

1. Introduction

After the final /8 policy is implemented, IPv4 address blocks received by APNIC are handled as being part of the final /8 pool and to redistribute these resources according to the final /8 policy (prop-088). This policy proposes to define a separate distribution policy for all non-103 IPv4 address blocks in the APNIC pool, to start the distributions once "Global policy for post exhaustion IPv4 allocation mechanisms by the IANA" is activated.

2. Summary

While rapid implementation of IPv6 is in progress throughout the APNIC region, demands for IPv4 address still continue.

In May 2012, the global policy (Global Policy for Post Exhaustion: IPv4 Allocation Mechanisms by the IANA) was ratified by ICANN board, and it will be implemented soon. Based on this policy, IPv4 address space returned to IANA will be distributed to RIRs, and its size is not expected to be so large but substantial enough to be able to consider an additional minimum allocation for APNIC members.

APNIC is expected to have 6,917,683 (over /10) IPv4 addresses in its pool once the Global Policy is activated, as an re-allocation from IANA and IPv4 address space directly returned to APNIC from its members.

Currently, these address blocks will be added to the reserve for distributions according to the final /8 policy, in addition to 103/8 block already reserved for the purpose. Therefore, even if additional blocks are added in APNIC's pool while reserves remain in the 103/8 block range, it is reserved for distribution under the final /8 policy. We propose to distribute this newly received address block and address blocks returned to APNIC to APNIC account holders.

According to our survey conducted to the APNIC community, over 70% of the respondents expressed the needs to receive IPv4 address space, if a separate distribution policy is defined from the final /8 policy.

3. Situation in other RIRs

ARIN: no final /8 like policy.

RIPE-NCC: similar /8 policy.

4. Details

Modify prop-088 to distribute non-103 IPv4 address blocks to APNIC account holders who meet the IPv4 distribution criteria define in APNIC policies.

If APNIC account holder, who was allocated an /22 from the final /8 pool, needs an additional IPv4 address block, they are eligible to receive another distribution of IPv4 block.

The same policy as the final /8 policy will be applied in terms of the criteria and the size of the distribution given the requestor has utilized a total of /22 block from 103/8.

This policy will be effective after allocation of returned IPv4 address blocks from IANA, based on "Global policy for post exhaustion IPv4 allocation mechanisms by the IANA".

The distribution policy for 103/8 block will remain unchanged, based on the final /8 policy.

- Address size Consideration

The current IPv4 Address size recovered by IANA from RIRs is 18,204,416. If this is equally distribute to 5 RIRs, APNIC is expected to receive 3,640,883 after the global policy is activated.

APNIC also has a pool recovered directly from its account holders, with the total of 50 x 16s (max)*. By adding them up, APNIC is estimated to have 6,917,683 (over /10) IPv4 address after global policy will be activated.

* Address blocks in ERX range need some coordination to distribute.

APNIC has about 3,800 members, and about 4,800 members if NIR members is included. We can now distribute about 1,441 IPv4 address to all 4,000 members, which is over /22.

From the current final /8 address distribution trends, it will allow all LIRs who have received 103/22 to receive an additional /22 under this policy from the above IPv4 address pool (6,917,683) until 2017-2018.

- Subsequent IPv4 address re-allocated from IANA/returned to APNIC from its account holders

If there are subsequent IPv4 address as described above, such IPv4 address space will be pooled until:

- Total IPv4 address size in APNIC pool will reach enough size which can distribute the maximum distribution size at at time (currently, /22 to a member) to all APNIC members.
- After the APNIC pool reaches the size sufficient to distribute to all APNIC members at that point in time, additional IPv4 address distribution will start from that pool.

Reference

IANA pool size:

<http://www.icann.org/en/news/public-comment/report-comments-implementing-ipv4-post-17dec12-en.pdf>

5. Pros/Cons

Advantages: Able to utilize non-103/8 address pool in APNIC for immediate distribution, instead of keeping as a reserve, in addition to 103/8.

Disadvantages: Some may feel the concern that adopting this policy discourages IPv6 deployment in the APNIC region. However, according to our survey, majority of the respondents responded revising the policy does not impact their IPv6 deployment plan.

6. Effect on APNIC

APNIC account holders can obtain one more IPv4 block of minimum allocation size as the upper limit (currently /22).

7. Effect on NIRs

NIRs can choose whether to implement this policy or not.

A.3.8 RFC7078

RFC7078は、“Distributing Address Selection Policy Using DHCPv6”と題した、IPv6 ノードに対して、DHCPv6 を利用し、IP アドレス選択ポリシーを配布するためのオプションの規定である。2000 年代前半、東日本電信電話株式会社のインターネット接続性提供サービス“フレッツ”において、IPv6 アドレスを利用した閉域網の構築が実施された。将来的に、IPv6 インターネットが利用される際に、各家庭が、フレッツネットワークのアドレスと ISP のアドレス双方が割り当てられるマルチプレフィックス状態になり、アドレス選択が課題になることが想定された。この課題の解決方法として、始点アドレス選択ポリシーを ISP/キャリアから各家庭に配布、エンドノードに設定する方式を IETF に対して 2004 年に提案、2014 年に DHCPv6 のオプションとして標準化された。

この本標準化は、日本電信電話株式会社情報流通プラットフォーム研究所にて、筆者の所属するチームにて方式を検討、策定した。当該方式を IETF にて標準化するため、インターネットドラフト draft-fujisaki-dhc-addr-select-opt を執筆、DHC WG にて提案、その後、ipv6, v6ops WG での提案、ML での議論等を実施した。社内で研究体制の変更があり、6man wg にて、WG アイテムとして取り上げられることが確定した後、First author をドラフトの 2nd author に譲り、その後は、DHCPv6 オプション定義の詳細検討などについて協力した。

Internet Engineering Task Force (IETF)
Request for Comments: 7078
Category: Standards Track
ISSN: 2070-1721

A. Matsumoto
T. Fujisaki
NTT
T. Chown
University of Southampton
January 2014

Distributing Address Selection Policy Using DHCPv6

Abstract

RFC 6724 defines default address selection mechanisms for IPv6 that allow nodes to select an appropriate address when faced with multiple source and/or destination addresses to choose between. RFC 6724 allows for the future definition of methods to administratively configure the address selection policy information. This document defines a new DHCPv6 option for such configuration, allowing a site administrator to distribute address selection policy overriding the default address selection parameters and policy table, and thus allowing the administrator to control the address selection behavior of nodes in their site.

Status of This Memo

This is an Internet Standards Track document.

This document is a product of the Internet Engineering Task Force (IETF). It represents the consensus of the IETF community. It has received public review and has been approved for publication by the Internet Engineering Steering Group (IESG). Further information on Internet Standards is available in Section 2 of RFC 5741.

Information about the current status of this document, any errata, and how to provide feedback on it may be obtained at <http://www.rfc-editor.org/info/rfc7078>.

Copyright Notice

Copyright (c) 2014 IETF Trust and the persons identified as the document authors. All rights reserved.

This document is subject to BCP 78 and the IETF Trust's Legal Provisions Relating to IETF Documents (<http://trustee.ietf.org/license-info>) in effect on the date of publication of this document. Please review these documents carefully, as they describe your rights and restrictions with respect to this document. Code Components extracted from this document must include Simplified BSD License text as described in Section 4.e of the Trust Legal Provisions and are provided without warranty as described in the Simplified BSD License.

This document may contain material from IETF Documents or IETF Contributions published or made publicly available before November 10, 2008. The person(s) controlling the copyright in some of this material may not have granted the IETF Trust the right to allow modifications of such material outside the IETF Standards Process. Without obtaining an adequate license from the person(s) controlling the copyright in such materials, this document may not be modified outside the IETF Standards Process, and derivative works of it may not be created outside the IETF Standards Process, except to format it for publication as an RFC or to translate it into languages other than English.

1. Introduction

[RFC6724] describes default algorithms for selecting an address when a node has multiple destination and/or source addresses to choose from by using an address selection policy. This specification defines a new DHCPv6 option for configuring the default policy table.

Some problems were identified with the default address selection policy as originally defined in [RFC3484]. As a result, RFC 3484 was updated and obsoleted by [RFC6724]. While this update corrected a number of issues identified from operational experience, it is unlikely that any default policy will suit all scenarios, and thus mechanisms to control the source address selection policy will be necessary. Requirements for those mechanisms are described in [RFC5221], while solutions are discussed in [ADDR-SEL]. Those documents have helped shape the improvements in the default address

selection algorithm in [RFC6724] as well as the requirements for the DHCPv6 option defined in this specification.

This option's concept is to serve as a hint for a node about how to behave in the network. Ultimately, while the node's administrator can control how to deal with the received policy information, the implementation SHOULD follow the method described below uniformly to ease troubleshooting and to reduce operational costs.

1.1. Conventions Used in This Document

The key words "MUST", "MUST NOT", "REQUIRED", "SHALL", "SHALL NOT", "SHOULD", "SHOULD NOT", "RECOMMENDED", "MAY", and "OPTIONAL" in this document are to be interpreted as described in [RFC2119].

1.2. Terminology

This document uses the terminology defined in [RFC2460] and the DHCPv6 specification defined in [RFC3315]

2. Address Selection Options

The Address Selection option provides the address selection policy table and some other configuration parameters.

An Address Selection option contains zero or more policy table options. Multiple policy table options in an Address Selection option constitute a single policy table. When an Address Selection option does not contain a policy table option, it may be used to just convey the A and P flags for Automatic Row Additions and Privacy Preference, respectively.

The format of the Address Selection option is given below.

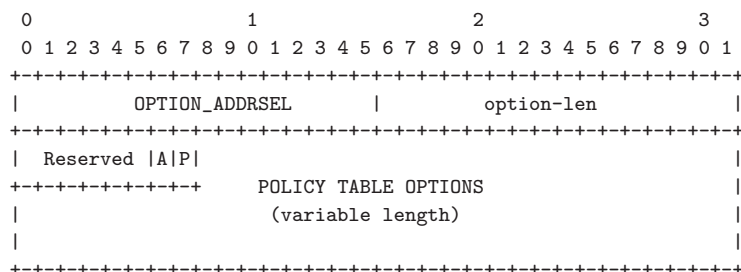


Figure 1: Address Selection Option Format

option-code: OPTION_ADDRSEL (84).

option-len: The total length of the Reserved field, A and P flags, and POLICY TABLE OPTIONS in octets.

Reserved: Reserved field. The server MUST set this value to 0, and the client MUST ignore its content.

A: Automatic Row Addition flag. This flag toggles the Automatic

Row Addition flag at client hosts, which is described in Section 2.1 of [RFC6724]. If this flag is set to 1, it does not change client host behavior; that is, a client MAY automatically add additional site-specific rows to the policy table. If set to 0, the Automatic Row Addition flag is disabled, and a client SHOULD NOT automatically add rows to the policy table. If the option contains a POLICY TABLE option, this flag is meaningless, and automatic row addition SHOULD NOT be performed against the distributed policy table. This flag SHOULD be set to 0 only when the Automatic Row Addition at client hosts is harmful for site-specific reasons.

P: Privacy Preference flag. This flag toggles the Privacy Preference flag on client hosts, which is described in Section 5 of [RFC6724]. If this flag is set to 1, it does not change client host behavior; that is, a client will prefer temporary addresses [RFC4941]. If set to 0, the Privacy Preference flag is disabled, and a client will prefer public addresses. This flag SHOULD be set to 0 only when the temporary addresses should not be preferred for site-specific reasons.

POLICY TABLE OPTIONS: Zero or more Address Selection Policy Table options, as described below. This option corresponds to a row in the policy table defined in Section 2.1 of [RFC6724].

0										1										2										3									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OPTION_ADDRSEL_TABLE										option-len																													
label										precedence										prefix-len																			
										prefix (variable length)																													

Figure 2: Address Selection Policy Table Option Format

option-code: OPTION_ADDRSEL_TABLE (85).

option-len: The total length of the label field, precedence field, prefix-len field, and prefix field.

label: An 8-bit unsigned integer; this value is for correlation of source address prefixes and destination address prefixes. This field is used to deliver a label value in the [RFC6724] policy table.

precedence: An 8-bit unsigned integer; this value is used for sorting destination addresses. This field is used to deliver a precedence value in the [RFC6724] policy table.

prefix-len: An 8-bit unsigned integer; the number of leading bits in the prefix that are valid. The value ranges from 0 to 128. If an option with a prefix length greater than 128 is included, the

whole Address Selection option MUST be ignored.

prefix: A variable-length field containing an IP address or the prefix of an IP address. An IPv4-mapped address [RFC4291] must be used to represent an IPv4 address as a prefix value.

This field is padded with zeros up to the nearest octet boundary when prefix-len is not divisible by 8. This can be expressed using the following equation: $(\text{prefix-len} + 7)/8$

So, the length of this field should be between 0 and 16 bytes.

For example, the prefix 2001:db8::/60 would be encoded with a prefix-len of 60; the prefix would be 8 octets and would contain octets 20 01 0d b8 00 00 00 00.

3. Processing the Address Selection Option

This section describes how to process a received Address Selection option at the DHCPv6 client.

This option's concept is to serve as a hint for a node about how to behave in the network. Ultimately, while the node's administrator can control how to deal with the received policy information, the implementation SHOULD follow the method described below uniformly to ease troubleshooting and to reduce operational costs.

3.1. Handling Local Configurations

[RFC6724] defines two flags (A and P) and the default policy table. Also, users are usually able to configure the flags and the policy table to satisfy their own requirements.

The client implementation SHOULD provide the following choices to the user.

- (a) replace the existing flags and active policy table with the DHCPv6 distributed flags and policy table.
- (b) preserve the existing flags and active policy table, whether this be the default policy table or the user configured policy.

Choice (a) SHOULD be the default, i.e., that the policy table is not explicitly configured by the user.

3.2. Handling Stale Distributed Flags and Policy Table

When the information from the DHCP server goes stale, the flags and the policy table received from the DHCP server SHOULD be deprecated. The local configuration SHOULD be restored when the DHCP-supplied configuration has been deprecated. In order to implement this, a host can retain the local configuration even after the flags and the policy table is updated by the distributed flags and policy table.

The received information can be considered stale in several cases, e.g., when the interface goes down, the DHCP server does not respond

for a certain amount of time, or the Information Refresh Time has expired.

3.3. Handling Multiple Interfaces

The policy table, and other parameters specified in this document, are node-global information by their nature. One reason being that the outbound interface is usually chosen after destination address selection. So a host cannot make use of multiple address selection policies even if they are stored per interface.

The policy table is defined as a whole, so the slightest addition/deletion from the policy table brings a change in the semantics of the policy.

It also should be noted that the absence of a DHCP-distributed policy from a certain network interface should not infer that the network administrator does not care about address selection policy at all, because it may mean there is a preference to use the default address selection policy. So, it should be safe to assume that the default address selection policy should be used where no overriding policy is provided.

Under the above assumptions, we can specify how to handle received policy as follows.

In the absence of distributed policy for a certain network interface, the default address selection policy SHOULD be used. A node should use Address Selection options by default in any of the following two cases:

- 1: A single-homed host SHOULD use default address selection options, where the host belongs exclusively to one administrative network domain, usually through one active network interface.
- 2: Hosts that use advanced heuristics to deal with multiple received policies that are defined outside the scope of this document SHOULD use Address Selection options.

Implementations MAY provide configuration options to enable this protocol on a per-interface basis.

Implementations MAY store distributed address selection policies per interface. They can be used effectively on implementations that adopt per-application interface selection.

4. Implementation Considerations

- o The value 'label' is passed as an unsigned integer, but there is no special meaning for the value; that is, whether it is a large or small number. It is used to select a preferred source address prefix corresponding to a destination address prefix by matching the same label value within the DHCP message. DHCPv6 clients SHOULD convert this label to a representation appropriate for the local implementation (e.g., string).

-
- o The maximum number of address selection rules that may be conveyed in one DHCPv6 message depends on the prefix length of each rule and the maximum DHCPv6 message size defined in [RFC3315]. It is possible to carry over 3,000 rules in one DHCPv6 message (maximum UDP message size). However, it should not be expected that DHCP clients, servers, and relay agents can handle UDP fragmentation. Network administrators SHOULD consider local limitations to the maximum DHCPv6 message size that can be reliably transported via their specific local infrastructure to end nodes; therefore, they SHOULD consider the number of options, the total size of the options, and the resulting DHCPv6 message size when defining their policy table.

5. Security Considerations

A rogue DHCPv6 server could issue bogus address selection policies to a client. This might lead to incorrect address selection by the client, and the affected packets might be blocked at an outgoing ISP because of ingress filtering, incur additional network charges, or be misdirected to an attacker's machine. Alternatively, an IPv6 transition mechanism might be preferred over native IPv6, even if it is available. To guard against such attacks, a legitimate DHCPv6 server should communicate through a secure, trusted channel, such as a channel protected by IPsec, Secure Neighbor Discovery (SEND), and DHCP authentication, as described in Section 21 of [RFC3315]. A commonly used alternative mitigation is to employ DHCP snooping at Layer 2.

Another threat surrounds the potential privacy concern as described in the security considerations section of [RFC6724], whereby an attacker can send packets with different source addresses to a destination to solicit different source addresses in the responses from that destination. This issue will not be modified by the introduction of this option, regardless of whether or not the host is multihomed.

6. IANA Considerations

IANA has assigned option codes to OPTION_ADDRSEL (84) and OPTION_ADDRSEL_TABLE (85) from the "DHCP Option Codes" registry (<http://www.iana.org/assignments/dhcpv6-parameters/>).

7. References

7.1. Normative References

- [RFC2119] Bradner, S., "Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels", BCP 14, RFC 2119, March 1997.
- [RFC3315] Droms, R., Bound, J., Volz, B., Lemon, T., Perkins, C., and M. Carney, "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)", RFC 3315, July 2003.
- [RFC6724] Thaler, D., Draves, R., Matsumoto, A., and T. Chown, "Default Address Selection for Internet Protocol Version 6 (IPv6)", RFC 6724, September 2012.

7.2. Informative References

- [ADDR-SEL] Chown, T., Ed., and A. Matsumoto, Ed., "Considerations for IPv6 Address Selection Policy Changes", Work in Progress, April 2013.
- [RFC2460] Deering, S. and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, December 1998.
- [RFC3484] Draves, R., "Default Address Selection for Internet Protocol version 6 (IPv6)", RFC 3484, February 2003.
- [RFC4291] Hinden, R. and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC 4291, February 2006.
- [RFC4941] Narten, T., Draves, R., and S. Krishnan, "Privacy Extensions for Stateless Address Autoconfiguration in IPv6", RFC 4941, September 2007.
- [RFC5220] Matsumoto, A., Fujisaki, T., Hiromi, R., and K. Kanayama, "Problem Statement for Default Address Selection in Multi-Prefix Environments: Operational Issues of RFC 3484 Default Rules", RFC 5220, July 2008.
- [RFC5221] Matsumoto, A., Fujisaki, T., Hiromi, R., and K. Kanayama, "Requirements for Address Selection Mechanisms", RFC 5221, July 2008.

Appendix A. Acknowledgements

The authors would like to thank to Dave Thaler, Pekka Savola, Remi Denis-Courmont, Francois-Xavier Le Bail, Ole Troan, Bob Hinden, Dmitry Anipko, Ray Hunter, Rui Paulo, Brian E. Carpenter, Tom Petch, and the members of 6man's address selection design team for their invaluable contributions to this document.

Appendix B. Examples

[RFC5220] gives several cases where address selection problems happen. This section contains some examples for solving those cases by using the DHCP option defined in this text to update the hosts' policy table in a network, accordingly. There is also some discussion of example policy tables in Sections 10.3 to 10.7 of RFC 6724.

B.1. Ingress Filtering Problem

In the case described in Section 2.1.2 of [RFC5220], the following policy table should be distributed when the Router performs static routing and directs the default route to ISP1 as per Figure 2. By putting the same label value to all IPv6 addresses (::/0) and the local subnet (2001:db8:1000:1::/64), a host picks a source address in this subnet to send a packet via the default route.

Prefix	Precedence Label
--------	------------------

::1/128	50	0
::/0	40	1
2001:db8:1000:1::/64	45	1
2001:db8:8000:1::/64	45	14
::ffff:0:0/96	35	4
2002::/16	30	2
2001::/32	5	5
fc00::/7	3	13
::/96	1	3
fec0::/10	1	11
3ffe::/16	1	12

B.2. Half-Closed Network Problem

In the case described in Section 2.1.3 of [RFC5220], the following policy table should be distributed. By splitting the closed network prefix (2001:db8:8000::/36) from all IPv6 addresses (::/0) and giving different labels, the closed network prefix will only be used when packets are destined for the closed network.

Prefix	Precedence	Label
::1/128	50	0
::/0	40	1
2001:db8:8000::/36	45	14
::ffff:0:0/96	35	4
2002::/16	30	2
2001::/32	5	5
fc00::/7	3	13
::/96	1	3
fec0::/10	1	11
3ffe::/16	1	12

B.3. IPv4 or IPv6 Prioritization

In the case described in Section 2.2.1 of [RFC5220], the following policy table should be distributed to prioritize IPv6. This case is also described in [RFC6724].

Prefix	Precedence	Label
::1/128	50	0
::/0	40	1
::ffff:0:0/96	100	4
2002::/16	30	2
2001::/32	5	5
fc00::/7	3	13
::/96	1	3
fec0::/10	1	11
3ffe::/16	1	12

B.4. ULA or Global Prioritization

In the case described in Section 2.2.3 of [RFC5220], the following policy table should be distributed, or the Automatic Row Addition flag should be set to 1. By splitting the Unique Local Address (ULA) in this site (fc12:3456:789a::/48) from all IPv6 addresses (::/0) and giving it higher precedence, the ULA will be used to connect to

servers in the same site.

Prefix	Precedence	Label
::1/128	50	0
fc12:3456:789a::/48	45	14
::/0	40	1
::ffff:0:0/96	35	4
2002::/16	30	2
2001::/32	5	5
fc00::/7	3	13
::/96	1	3
fec0::/10	1	11
3ffe::/16	1	12

Authors' Addresses

Arifumi Matsumoto
NTT NT Lab
3-9-11 Midori-Cho
Musashino-shi, Tokyo 180-8585
Japan

Phone: +81 422 59 3334
EMail: arifumi@nttv6.net

Tomohiro Fujisaki
NTT NT Lab
3-9-11 Midori-Cho
Musashino-shi, Tokyo 180-8585
Japan

Phone: +81 422 59 7351
EMail: fujisaki@nttv6.net

Tim Chown
University of Southampton
Southampton, Hampshire SO17 1BJ
United Kingdom

EMail: tjc@ecs.soton.ac.uk

参 考 文 献

- [1] DECnet Protocols. <http://www.protocols.com/pbook/decnet.htm>. Accessed: 29th November 2014.
- [2] SNA Protocols. <http://www.protocols.com/pbook/sna.htm>. Accessed: 29th November 2014.
- [3] Rekhter, Li Y., T., and S. Hares Eds. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). RFC 4271, RFC Editor, January 2006. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4271.txt>.
- [4] BYLAWS FOR INTERNET CORPORATION FOR ASSIGNED NAMES AND NUMBERS. Icann document, ICANN, 2012. Accessed: 19th October 2014.
- [5] A. Falk. Definition of an Internet Research Task Force (IRTF) Document Stream. RFC 5743, RFC Editor, December 2009. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5743.txt>.
- [6] H. Alvestrand and R. Housley. IESG Procedures for Handling of Independent and IRTF Stream Submissions. BCP 92, RFC Editor, December 2009. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5742.txt>.
- [7] APNIC policy deployment process. Apnic policy, APNIC Secretariat, February 2004.
- [8] Tao of IETF. <http://www.ietf.org/tao.html>, November 2012. Accessed: 8th February 2015.
- [9] Elise Gerich. Guidelines for Management of IP Address Space. RFC 1466, RFC Editor, May 1993. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1466.txt>.

-
- [10] IPv4 アドレスの在庫枯渇に関して. <https://www.nic.ad.jp/ja/ip/ipv4pool/>. Accessed: 26th May 2014.
- [11] Stephen E. Deering and Robert M. Hinden. Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification. RFC 1883, RFC Editor, December 1995. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1883.txt>.
- [12] Robert M. Hinden, Robert Fink, and Jon Postel. IPv6 Testing Address Allocation. RFC 2471, RFC Editor, December 1998. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2471.txt>.
- [13] Kim Hubbard, Mark Kosters, David Conrad, Daniel Karrenberg, and Jon Postel. INTERNET REGISTRY IP ALLOCATION GUIDELINES. BCP 12, RFC Editor, November 1996. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2050.txt>.
- [14] R. Housley, J. Curran, G. Huston, and D. Conrad. The Internet Numbers Registry System. RFC 7020, RFC Editor, August 2013. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7020.txt>.
- [15] Provisional IPv6 assignment and allocation policy. Apnic resource distribution policy, APNIC Secretariat, July 1999.
- [16] Smoot Carl-Mitchell and John S. Quarterman. Using ARP to implement transparent subnet gateways. RFC 1027, RFC Editor, October 1987. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1027.txt>.
- [17] Q. Vohra and E. Chen. BGP Support for Four-Octet Autonomous System (AS) Number Space. RFC 6793, RFC Editor, December 2012. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6793.txt>.
- [18] 日本の地上デジタルテレビ放送. <http://ja.wikipedia.org/wiki/日本の地上デジタルテレビ放送>. Accessed: 26th May 2014.
- [19] 沖縄の復帰に伴う特別措置に関する法律. <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S46/S46H0129.html>. Accessed: 26th May 2014.

- [20] 730 (交通). [http://ja.wikipedia.org/wiki/730_\(交通\)](http://ja.wikipedia.org/wiki/730_(交通)). Accessed: 26th May 2014.
- [21] 太田賢治, 藤崎智宏, 三上博英. NTTにおけるIPv6研究実験ネットワーク (NTTv6net) の構築. Technical report, 電気通信協会, 2000年9月. NTT技術ジャーナル 12(9), 10-13.
- [22] 藤崎智宏, 太田賢治, 上水流由香. IPv6 サービスプロバイダの運用状況. 情報処理学会研究報告, DSM, [分散システム運用技術], Vol. 99(44), pp. 43-48, 1999年5月.
- [23] 藤崎智宏, 柏木伸一郎. IPv6 サービスプロバイダの構築と運用. 情報処理学会研究報告, DSM, [分散システム運用技術], Vol. 98(66), pp. 13-18, 1998年7月.
- [24] P. Ferguson and D. Senie. Network Ingress Filtering: Defeating Denial of Service Attacks which employ IP Source Address Spoofing. BCP 38, RFC Editor, May 2000. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2827.txt>.
- [25] D. Thaler, R. Draves, A. Matsumoto, and T. Chown. Default Address Selection for Internet Protocol Version 6 (IPv6). RFC 6724, RFC Editor, September 2012. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6724.txt>.
- [26] 藤崎智宏. IPv4 アドレス在庫枯渇対応とIPv6による課題解決. 電子情報通信学会誌, Vol. 94(5), pp. 407-411, 2011年5月.
- [27] Hiroataka Matsuoka, Tomohiro Fujisaki, and Jun ya Kato. Source Address Selection Policy option for DHCPv6. Internet-Draft draft-hiroataka-dhc-source-address-selection-opt-00, IETF Secretariat, October 2004. <http://tools.ietf.org/html/draft-hiroataka-dhc-source-address-selection-opt-00>.
- [28] Tomohiro Fujisaki, Arifumi Matsumoto, and Jun ya Kato. Distributing Default Address Selection Policy using DHCPv6. Internet-Draft draft-fujisaki-dhc-addr-select-opt-00, IETF Secretariat, June 2005. <http://tools.ietf.org/html/draft-fujisaki-dhc-addr-select-opt-00>.

-
- [29] A. Matsumoto, T. Fujisaki, R. Hiromi, and K. Kanayama. Problem Statement of Default Address Selection in Multi-prefix Environment: Operational Issues of RFC3484 Default Rules. Internet-Draft draft-arifumi-v6ops-addr-select-ps-00, IETF Secretariat, June 2006. <http://tools.ietf.org/html/draft-arifumi-v6ops-addr-select-ps-00>.
- [30] A. Matsumoto, T. Fujisaki, R. Hiromi, and K. Kanayama. Problem Statement of Default Address Selection in Multi-prefix Environment: Operational Issues of RFC3484 Default Rules. Internet-Draft draft-ietf-v6ops-addr-select-ps-00, IETF Secretariat, June 2006. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-v6ops-addr-select-ps-00>.
- [31] A. Matsumoto, T. Fujisaki, R. Hiromi, and K. Kanayama. Requirements for distributing RFC3484 address selection policy. Internet-Draft draft-ietf-v6ops-addr-select-req-00., IETF Secretariat, November 2006. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-v6ops-addr-select-req-00>.
- [32] A. Matsumoto, T. Fujisaki, R. Hiromi, and K. Kanayama. Problem Statement for Default Address Selection in Multi-Prefix Environments: Operational Issues of RFC 3484 Default Rules. RFC 5220, RFC Editor, July 2008. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5220.txt>.
- [33] A. Matsumoto, T. Fujisaki, R. Hiromi, and K. Kanayama. Requirements for Address Selection Mechanisms. RFC 5221, RFC Editor, July 2008. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5221.txt>.
- [34] A. Matsumoto, T. Fujisaki, and T. Chown. Distributing Address Selection Policy Using DHCPv6. RFC 7078, RFC Editor, January 2014. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7078.txt>.
- [35] 萩野純一郎. IPv6 ネットワークプログラミング. アスキー, 2003. ISBN : 4-7561-4236-2.
- [36] A. Conta, S. Deering, and M. Gupta. Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification.

-
- RFC 4443, RFC Editor, March 2006. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4443.txt>.
- [37] Robert Braden. Requirements for Internet Hosts - Communication Layers. STD 3, RFC Editor, October 1989. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1122.txt>.
- [38] Tomohiro Fujisaki and Arifumi Matsumoto. TCP Reaction to ICMPv6 Error Messages. Internet-Draft draft-fujisaki-tcpm-icmpv6-reaction-00, IETF Secretariat, February 2007. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-fujisaki-tcpm-icmpv6-reaction-00.txt>.
- [39] Tomohiro Fujisaki. Clear and Present Danger of IPv6 - IPv6/IPv4 fallback and DNS queries. In *IPv6 Summit 2006 in APRICOT 2006*, February 2006.
- [40] Shingo Okada and Tomohiro Fujisaki. Operational Problems in IPv6: Fallback Issues. In *APOPS Plenary - IPv6 Operations in APRICOT 2011*, February 2011.
- [41] F. Gont. TCP's Reaction to Soft Errors. RFC 5461, RFC Editor, February 2009. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5461.txt>.
- [42] D. Wing and A. Yourtchenko. Happy Eyeballs: Success with Dual-Stack Hosts. RFC 6555, RFC Editor, April 2012. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6555.txt>.
- [43] IPv6 普及・高度化推進協議会 移行WG マルチプレフィックス検討SWG. IPv6 マルチプレフィックス環境の構築に関する考察. Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2007年6月.
- [44] 松本存史藤崎智宏. IPv6/IPv4 デュアルネットワークにおけるフォールバック問題に関する考察. 情報処理学会研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 93(2007-DSM-047), pp. 37-42, 2007年9月.
- [45] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存WG IPv6 家庭用ルータSWG. IPv6 家庭用ルータガイドライン 1.0 版. Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2009年6月.

- [46] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGIPv6 家庭用ルータ SWG. IPv6 家庭用ルータガイドライン 2.0 版. Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2010 年 7 月.
- [47] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGIPv6 家庭用ルータ SWG. IPv6 家庭用ルータガイドライン第 2 版と TR-124i2 の比較. Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2014 年 6 月.
- [48] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGIPv6 家庭用ルータ SWG. IPv6 Home Router Guideline (Ver.1.0 June 22 2009). Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2009 年 6 月.
- [49] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGIPv6 家庭用ルータ SWG. IPv6 Home Router Guideline (Ver.2.0 July 29 2010 / Translated January 12 2012). Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2012 年 1 月.
- [50] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGPv6 導入に起因する問題検討 SWG. IPv6 導入時に注意すべき課題. Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2011 年 9 月.
- [51] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGPv6 導入に起因する問題検討 SWG. 国内 IPv6 対応サービス状況チェックで発見された事例について . Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2014 年 7 月.
- [52] IPv6 Deployment Issues. Technial report, NTT Infomation Sharing Platform Laboratories, 2012.
- [53] IPv6 普及・高度化推進協議会 IPv4/IPv6 共存 WGIPv6 のアプリケーションの IPv6 対応検討 SWG. アプリケーションの IPv6 対応ガイドライン基礎編 (第 1.0 版) . Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2012 年 12 月.
- [54] Guidelines for the Secure Deployment of IPv6. Technial report, National Institute of Standards & Technology (NIST), December 2010. Technical Report SP 800-119.
- [55] IPv6 普及・高度化推進協議会セキュリティWG. IPv6 対応セキュリティガイドライン (第 1.0 版) . Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2012 年 9 月.

-
- [56] IPv6 普及・高度化推進協議会セキュリティWG. IPv6 Security List of Considerations (6SLoC) (Ver1.0-cfc) . Technial report, IPv6 普及・高度化推進協議会, 2014年4月.
- [57] Tomohiro Fujisaki. IPv6 Security activities in Japan. In *NSDs (Network Security Devices) IPv6 Verification BoF in APRICOT 2014*, February 2014.
- [58] 藤崎智宏. IPv4 アドレス枯渇とその対応 ～IPv4 アドレス, 売り切れました～. オープンソースカンファレンス 2011 Tokyo/Spring, 2011年3月.
- [59] 藤崎智宏. IPv4 アドレス枯渇とその対応 ～IPv4 アドレス, 売り切れました～. OSS チャリティーセミナー, 2011年5月.
- [60] Tomohiro Fujisaki. World IPv6 Day in Japan. In *Asia Pacific IPv6 Task Force meeting in APNIC 32*, August 2011.
- [61] Tomohiro Fujisaki. Economy update Japan. In *Asia Pacific IPv6 Task Force meeting in APNIC 34*, August 2012.
- [62] Tomohiro Fujisaki. Japan IPv6 Measurement. In *IPv6 Summit in TAIWAN*, December 2013. <http://www.ipv6.org.tw/summit2013>.
- [63] Tomohiro Fujisaki. Japan IPv6 deployment status. In *IPv6 Summit in TAIWAN*, December 2013. <http://www.ipv6.org.tw/summit2013>.
- [64] Tomohiro Fujisaki. JP IPv6 Measurement. In *IPv6 Readiness Measurement BoF in APNIC 36*, August 2013.
- [65] Tomohiro Fujisaki. Japan IPv6 Measurement. In *IPv6 Readiness Measurement BoF in APRICOT 2014*, February 2014.
- [66] Tomohiro Fujisaki. IPv6 deployment in Japan. In *IPv6 TECHNOLOGY AND APPLICATIONS FOR VIETNAM*, June 2012. <http://www.ipv6event2012.vn/en/program.html>.
- [67] Tomohiro Fujisaki. Updates on IPv6 deployment in Japan. In *VIETNAM IPV6 DAY 2014*, May 2014. <http://www.ipv6event2014.vn/en/default.html>.

-
- [68] Robert M. Hinden and Stephen E. Deering. An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format. RFC 2374, RFC Editor, July 1998. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2374.txt>.
- [69] Robert M. Hinden and Stephen E. Deering. IP Version 6 Addressing Architecture. RFC 2373, RFC Editor, July 1998. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2373.txt>.
- [70] Christian Huitema. The H Ratio for Address Assignment Efficiency. RFC 1715, RFC Editor, November 1994. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc1715.txt>.
- [71] IPv6 address allocation and assignment policy. Apnic resource distribution policy, APNIC Secretariat, February 2013. First version was appeared in July 2002.
- [72] APNIC Secretariat. Should APNIC allocate global unicast IPv6 address space to 'unconnected' networks? Policy proposal prop-015, APNIC Secretariat, January 2004.
- [73] APNIC Secretariat. IPv6 allocations to IPv4 networks. Policy proposal prop-016, APNIC Secretariat, January 2004.
- [74] Tomohiro Fujisaki. Expansion of the initial allocation space for existing IPv6 address space holders. Policy proposal prop-021, APNIC Secretariat, August 2004.
- [75] E. Nordmark and M. Bagnulo. Shim6: Level 3 Multihoming Shim Protocol for IPv6. RFC 5533, RFC Editor, June 2009. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5533.txt>.
- [76] Katsuyasu Toyama, Takashi Arano, Tomohiro Fujisaki, Toshinori Ishii, Kosuke Ito, Dai Nishino, Noriakitsu Ohishi, and Izumi Okutani. IPv6 portable assignment for multihoming. Policy proposal prop-035, APNIC Secretariat, May 2006.

-
- [77] David Woodgate. Removing multihoming requirement for IPv6 portable assignments. Policy proposal prop-101, APNIC Secretariat, February 2012.
- [78] Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy For Allocation of IPv4 Blocks to Regional Internet Registries. Icann resource distribution policy, ICANN, February 2012.
- [79] Roque Gagliano, Francisco Obispo, Haitham EL Nakhal, Didier Allain Kla, and JPNIC IPv4 countdown policy team. Global policy for the allocation of the remaining IPv4 address space. Policy proposal prop-055, APNIC Secretariat, January 2008.
- [80] Global Policy for the Allocation of the Remaining IPv4 Address Space. Icann resource distribution policy, ICANN, February 2012.
- [81] Philip Smith, Jonny Martin, and Randy Bush. Use of final /8. Policy proposal prop-062, APNIC Secretariat, July 2008.
- [82] Shirou Niinobe, Takeshi Tomochika, Jiro Yamaguchi, Dai Nishino, Hiroyuki Ashida, Akira Nakagawa, and Toshiyuki Hosaka. Proposal to create IPv4 shared use address space among LIRs. Policy proposal prop-058, APNIC Secretariat, January 2008.
- [83] Yasuhiro Shirasaki, Shin Miyakawa, Akira Nakagawa, Jiro Yamaguchi, and Hiroyuki Ashida. NAT444 with ISP Shared Address. Internet-Draft draft-shirasaki-nat444-isp-shared-addr-01, IETF Secretariat, March 2009. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-shirasaki-nat444-isp-shared-addr-01.txt>.
- [84] J. Weil, V. Kuarsingh, C. Donley, C. Liljenstolpe, and M. Azinger. IANA-Reserved IPv4 Prefix for Shared Address Space. BCP 153, RFC Editor, April 2012. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6598.txt>.
- [85] Tomohiro Fujisaki, Fuminori Tanizaki, Masaru Akai, Toshio Tachibana, and Akira Nakagawa. Inter-RIR IPv4 address transfer proposal. Policy proposal prop-095, APNIC Secretariat, January 2011.

-
- [86] Tomohiro Fujisaki, Fuminori Tanizaki, Masaru Akai, Toshio Tachibana, and Akira Nakagawa. Maintaining demonstrated needs requirement in transfer policy after the final /8 phase. Policy proposal prop-096, APNIC Secretariat, January 2011.
- [87] Tomohiro Fujisaki, Akira Nakagawa, Fuminori Tanizaki, Masaru Akai, and Toshio Tachibana. Removing aggregation criteria for IPv6 initial allocations. Policy proposal prop-082, APNIC Secretariat, February 2010.
- [88] Alejandro Acosta, Nicolas Antonello, S. Moonesamy, Douglas Onyango, Medel Ramirez, and Masato Yamanishi. Global Policy for post exhaustion IPv4 allocation mechanisms by the IANA. Policy proposal prop-097, APNIC Secretariat, January 2011.
- [89] Global Policy for Post Exhaustion IPv4 Allocation Mechanisms by the IANA. Iann resource distribution policy, ICANN, May 2012.
- [90] LACNIC's IPv4 Address Pool Now Down to a /9. <http://www.lacnic.net/web/anuncios/2014-el-stock-de-direcciones-de-ipv4-de-lacnic-alcanzo-el-9>. Accessed: 26th May 2014.
- [91] APNIC receives an IPv4 /12 from IANA. <http://blog.apnic.net/2014/09/04/apnic-receives-an-ipv4-12-from-iana/>. Accessed: 26th May 2014.
- [92] Randy Bush and Philip Smith. Distribution of IPv4 addresses once the final /8 period starts. Policy proposal prop-088, APNIC Secretariat, November 2010.
- [93] Tomohiro Fujisaki and JP IPv4 address allocation discussion team. Distribution of returned IPv4 address blocks (Modification of prop-088). Policy proposal prop-105, APNIC Secretariat, January 2013.
- [94] W. Townsley and O. Troan. IPv6 Rapid Deployment on IPv4 Infrastructures (6rd) – Protocol Specification. RFC 5969, RFC Editor, August 2010. <http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc5969.txt>.

-
- [95] Tomohiro Fujisaki. IPv6 address allocation for deployment purposes. Policy proposal prop-087, APNIC Secretariat, July 2010.
- [96] Skeeve Stevens. Alternative criteria for subsequent IPv6 allocations. Policy proposal prop-083, APNIC Secretariat, February 2010.
- [97] Tomohiro Fujisaki. Request-based expansion of IPv6 default allocation size. Policy proposal prop-111, APNIC Secretariat, January 2014.
- [98] Draft Policy ARIN-2011-1: ARIN Inter-RIR Transfers. Policy proposal, ARIN Secretariat, 2011.
- [99] APNIC guidelines for IPv6 allocation and assignment requests. Apnic document, APNIC Secretariat, November 2013.
- [100] K. Ishihara et al. Packet Filter and Route Filter Recommendation for IPv6 at xSP routers. <https://www.team-cymru.org/ReadingRoom/Templates/IPv6Routers/xsp-recommendations.html>, May 2013. Accessed: 29th November 2014.
- [101] IPv6 BGP filter recommendations. <http://www.space.net/~gert/RIPE/ipv6-filters.html>, June 2013. Accessed: 29th November 2014.
- [102] S. Millet and G. Huston. Proposal to amend APNIC IPv6 assignment and utilisation requirement policy. Policy proposal prop-031, APNIC Secretariat, March 2007.
- [103] G. Huston and R. Bush. End site assignment policy for IPv6. Policy proposal prop-033, APNIC Secretariat, March 2007.
- [104] Tomohiro Fujisaki. AS number transfer policy proposal. Policy proposal prop-107, APNIC Secretariat, July 2013.
- [105] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 27*, February 2009.
- [106] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 29*, March 2010.
- [107] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 30*, August 2010.

-
- [108] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 31*, February 2011.
- [109] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 32*, August 2011.
- [110] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 33*, February 2012.
- [111] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 34*, August 2012.
- [112] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 35*, February 2013.
- [113] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 36*, August 2013.
- [114] Tomohiro Fujisaki et al. ASO AC Report. In *APNIC 37*, February 2014.
- [115] Shin SHIRAHATA and Tomohiro FUJISAKI. Restricting excessive IPv4 address transfers under the final /8 block. Policy proposal prop-106, APNIC Secretariat, January 2013.
- [116] Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy for Allocation of ASN Blocks to Regional Internet Registries. Icann document, ICANN, September 2010.
- [117] ASO AC Advice on the Implementation of the Global Policy for Allocation of ASN Blocks to RIRs. <https://aso.icann.org/category/news/>, September 2014. Accessed: 29th November 2014.
- [118] A. Matsumoto, T. Fujisaki, and J. Kato. Distributing Address Selection Policy using DHCPv6. Internet-Draft draft-ietf-6man-addr-select-opt-00, IETF Secretariat, June 2006. <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-6man-addr-select-opt-00>.