

# IETF

## 第8回

# IETF Routing Areaの動向

鈴木伸介 (株) 日立製作所

suz@crl.hitachi.co.jp

### はじめに

今回の「連載IETF」では、IETF Routing Areaの動向に関してその概要とホットトピックとを、特にルーティングプロトコルに注目して解説する。

Routing AreaはIETFの中でインターネットを支える経路制御技術に関連した議論を行うためのエリアであり、2002年6月現在13のWGが存在する(表1参照)。

経路制御はインターネットの packets 中継を支える基盤技術であるため、さまざまな分野の議論がRouting Area内のWGで行われている。またこれらのWGの中には、発足時はRouting Areaに属していても時間が経つと他のエリア(Internet Area, Sub-IP Areaなど)に移るものもある(たとえば現在はInternet Areaに属しているmobileip WGは、発足当初はRouting Areaに所属していた。発足当時はモバイルネットワーク向けの経路制御、という位置づけをされていたためと思われる)。

以上の理由からWG構成に頻繁な変化があるものの、経路制御を取り扱うというエリアの性格上、Rout-

ing Area内のWGは、

- ユニキャスト系
- マルチキャスト系
- その他

の3グループに分けることができる。以下この3つの分類に従って各WGの概要を説明する。

なお上述のように経路制御はインターネットの基盤技術であるため、同じトピックが他のWGやエリアに跨って議論されることもしばしばある。そのため経路制御関連の動向を知るには、Routing Areaだけではなく、関連する他のエリアの動向も同時に知る必要がある。そのため以下の各WGの説明では、他エリアの関連WGについても触れる。

### ユニキャスト系

このグループに属するWGでは、インターネットにおけるユニキャスト通信(1対1通信)を支えるユニキャスト経路制御プロトコルに関連する議論を行っている。

インターネットは、隣接ルータ間でのパケット交換により送信者と受信者とが通信を行うネットワークである。

その実現のためには与えられた送信先にパケットを転送するためのルールを、インターネット内のすべてのルータが矛盾なく共有する必要がある。しかもそのルールは回線ダウンやルータ増設などのネットワーク状態の変化に追従している必要がある。ユニキャスト経路制御プロトコルは、ルータ間での情報交換の手順やパケット転送ルールの計算手順を規定し、ルータ間でのパケット転送を自動的に実現するための技術である。

ルータ間の情報交換量やルータ内の転送ルールの計算量などの最適化ポイントの違いによりユニキャスト経路制御プロトコルには数種類のものがあり、Routing Areaにはそれぞれのユニキャスト経路制御プロトコルに1つのWGが存在している。

どのWGにおいてもすでに、ユニキャスト経路制御プロトコルの基本的な仕様の議論は終了している。しかしながらインターネットの世界において仕様と実装とは必ずしも一致していない。そのため仕様の実装結果や相互接続実験結果に基づいた仕様の再修正を、常に各WGは行っている。その他にトラフィックエンジニアリングなどの応用的な経路制御向けのユニキャスト経路制御プロトコルに関しても、他WGと

WG名 (正式名)	議長
[ユニキャスト系]	
IDR (Inter-Domain Routing)	Susan Hares Yakov Rekhter
ISIS (IS-IS for IP Internets)	Tony Li Tony Przygienda
OSPF (Open Shortest Path First IGP)	John Moy Scott Corson
RIP (Routing Information Protocol)	G. Malkin
[マルチキャスト系]	
BGMP (Border Gateway Multicast Protocol)	Bill Fenner Brad Cain Jeremy Hall
IDMR (Inter-Domain Multicast Routing)	Bill Fenne
MSDP (Multicast Source Discovery Protocol)	David Meyer
PIM (Protocol Independent Multicast)	T. Pusateri L. Wei
SSM (Source-Specific Multicast)	Hugh Holbrook Supratik Bhattacharyya
[その他]	
FORCES (Forwarding and Control Element Separation)	Patrick Droz David Putzolu
MANET (Mobile Ad-hoc Networks)	Joseph Macker
UDLR (UniDirectional Link Routing)	Emmanuel Duros Hidetaka Izumiya
VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol)	Bob Hinden

表-1 2002年6月現在のRouting Areaの全WG<sup>1)</sup>

関係して議論が行われている。

一般に異なる実装間でのプロトコル相互接続は、プロトコル仕様の解釈の違いによりなかなかうまくいかないものである。にもかかわらずインターネットというさまざまな実装のルータからなる世界規模の巨大ネットワークにおいて、ユニキャスト経路制御はライフラインたり得るくらい完全に動作している。この奇跡のような事実の裏には、以下に紹介するWGのたゆまぬ努

力があるのである。“rough consensus and running code”という言葉に象徴されるIETFの精神が最も具現化されている分野であるといっても過言ではないだろう。

■ ISIS (IS-IS for IP Internets)

IS-IS (Intermediate System to Intermediate System routing information exchange protocol) とは元々OSIネットワーク向けの

AS (Autonomous System) 内経路制御プロトコルであり、ISO10589として規定されている。このIS-ISにてIPもサポートするためのプロトコル拡張についての議論を行うWGである。

IPv4, IPv6 いずれについてもそれぞれRFC, draftが作成済みであり、そのレビューや拡張などが現在の議題である。

■ OSPF (Open Shortest Path First IGP (Interior Gateway Protocol))

AS内ルーティングプロトコルであるOSPFに関する議論を行うWG。OSPFは同じAS内ルーティングプロトコルであるIS-ISにプロトコル的には類似しているもののIS-ISとは異なりIETFにて新規に標準化されたルーティングプロトコルであるため、IS-ISとは別WGで議論されている。

すでにIPv4, IPv6についての仕様がRFC化済みであり、ここしばらくIETF大会にてWGセッションは開かれていない。メーリングリスト上では、OSPF仕様に関する確認の議論・Graceful Restart (ルータダウンなどに伴う経路情報交換や再計算の時間を短くするための拡張) などに関して議論が行われている。その他トラフィックエンジニアリング向けのOSPF拡張についての議論が、Sub-IP AreaのTE (Traffic Engineering) WGと連係して行われている。

■ IDR (Inter-Domain Routing)

AS間ルーティングプロトコルであるBGP (Border Gateway Protocol) に関する議論を行うWG。すでにIPv4についての基本プロトコル仕様のほか、IPv6対応のBGP拡張やその他運用上便利なBGP拡張の仕様がRFC化済みである。

しかしながらプロトコル仕様については、解釈が曖昧な部分があることや実装状況にマッチしない仕様記述が多いことが問題視されている。その他、基本仕様に拡張機能を継ぎ足す形で拡張が進められた経緯上、拡張仕様間に整合性がないこと (e.g. MIB (Managed Information Base) がIPv6 BGPに対応していない) が問題視されている。

そのため最近では、BGPのプロトコル仕様 (RFC1771) やMIBの最新機能への追従に関する議論が盛んに行われている。その他Graceful

Restartに関する議論や、AS番号の枯渇に対応するための4 Byte AS対応の議論も行われている。

以上述べた通りIDRではBGP自体についての議論が行われているが、他にもBGPの運用に関する議論がOperation Areaのptomaine (Prefix Taxonomy Ongoing Measurement & Inter Network Experiment) WGにて行われている。

■ RIP (Routing Information Protocol)

AS内ルーティングプロトコルであるRIPに関する議論を行うWG。RIPは同じAS内ルーティングプロトコルであるIS-ISやOSPFに比べてスケラビリティに欠けるものの単純であることを特徴としたユニキャスト経路制御プロトコルである。本WGにてすでにIPv4, IPv6についての仕様がRFC化済みである。相互接続上の問題点の洗い出しが完了していることやプロトコルの性格上機能拡張が行われないことから、事実上活動は行われていない。

マルチキャスト系

このグループに属するWGでは、インターネットにおけるマルチキャスト通信 (1対n通信) を支えるマルチキャスト経路制御プロトコルに関連する議論を行っている。

マルチキャスト通信は、入力パケットをルータがパケット転送ルールに従い1個所ではなく複数個所に転送することにより、1つのパケットを同時にn人の受信者に到達させる技術である。マルチキャストによってn人の受信者にパケットを転送することはユニキャストをn回行うことと見かけ上等価であるが、ユニキャストをn回行う場合に比べてマルチキャストを1回行う方がパケットの流量が少なくなる。そのために回線帯域使用量やパケット送信者の負荷が減少することが、ユニキャストに対するマルチキャストの利点である。

ネットワーク回線の高速化やルータのパケット転送能力の向上に伴い、回線帯域使用量が減少することはマルチキャストの大きなメリットにはならなくなっているものの、パケット送信者の負荷減少は特に最近



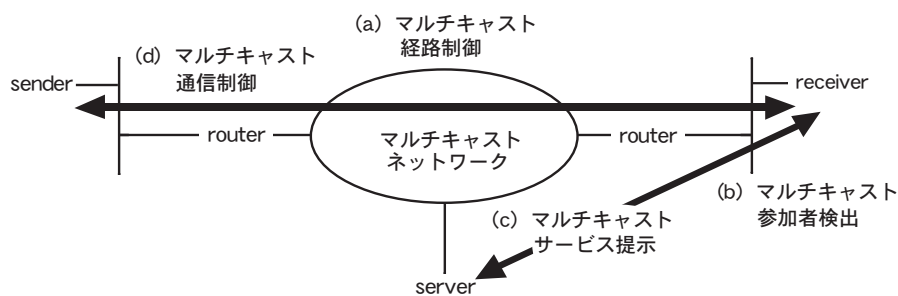


図-1 マルチキャストネットワークの構成

マルチキャストの大きなメリットとして注目されつつある。昨今の常時接続の普及によりインターネットでのストリーミングが普通のサービスになろうとしている中、大量のエンドユーザへのストリーミングを同時に行うためにストリーミングサーバが通信ボトルネックになることが課題になると予測されるからである。マルチキャストではサーバを利用するエンドユーザの数が増えてもサーバからのパケット送信量は増えない。そのためマルチキャストは上記通信ボトルネック問題への有力解である。

マルチキャストネットワークは、図-1に示すように

- (a) ルータールータ間でのマルチキャスト経路制御
- (b) ルーターホスト間でのマルチキャスト参加者検出
- (c) ホストへのマルチキャストサービス提示
- (d) サーバーホスト間でのマルチキャスト通信制御

といった要素から構成される。Routing Areaのマルチキャストグループが扱うのはこれらのうち(b)の一部ならびに(a)である。後述のように、(c)および(d)は主に

Transport Areaの担当である。

マルチキャストネットワークには今日多くの課題があるが、経路制御という側面から見たときの最大の課題はスケーラビリティとオペレーションの複雑さである。

マルチキャストネットワークにおけるパケット中継では、ユニキャストにおけるパケット中継とは異なり、送信先アドレスのみならず送信元アドレスも考慮したパケット中継が必要になる。そのためパケット転送ルールは、送信元アドレス、送信先アドレス、さらにはパケットループを防ぐために入力インタフェース、そして出力先インタフェースリストから構成される必要がある。通常のユニキャストのパケット転送ルールが送信先アドレスと出力先アドレスから構成されるのと比べると、何億台と端末のあるインターネットで単純にマルチキャストネットワークを運用するとルールの数が肥大化して破綻をきたすことは自明であろう。

Routing Areaでは、前者の課題はAS間でのマルチキャスト経路制御のあり方という形で、後者の課題はより単純なマルチキャスト経路制御のあり方という形でそれぞれ議論されている。

## ■ BGM (Border Gateway Multicast Protocol)

AS間マルチキャスト経路制御に関する議論を行うWG。BGMはAS間ユニキャスト経路制御プロトコルであるBGPの拡張機能であり、BGPと同じ枠組みでAS間マルチキャスト経路制御を行うことを目的としている。しかしながらマルチキャストグループへのアドレス割り振りを完全にやり直す必要があることから現実性に乏しい提案と見なされ、最近はあまり活発な活動が見られない<sup>2)</sup>。

## ■ IDMR (Inter-Domain Multicast Routing)

AS間マルチキャスト経路制御に関する議論を行うWGであったが、WGの歴史的経緯により、実際に行われている議論はWGの名前とは異なりAS内マルチキャストであるDVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)、IGMP (Internet Group Management Protocol) などである。

DVMRPは一番最初に設計されたAS内マルチキャスト経路制御プロトコルであるものの、現在はPIM (後述) にとってかわられているためほとんど用いられていない。またIGMP関連の議論はInternet AreaのMAGMA (Multicast Anycast Group Management) WGに議論の場を移している。そのためIDMR WGは活動を終了する予定である。

## ■ MSDP (Multicast Source Discovery Protocol)

マルチキャスト送信元情報を交換するプロトコルMSDPに関する議論を行うWG。複数のAS内マルチキャストルーティングドメインの間でマルチキャスト送信元情報を交換することにより、AS間マルチキャストルーティングを可能にする。

## ■ PIM (Protocol Independent Multicast)

AS内マルチキャスト経路制御プロトコルであるPIMに関する議論を行っているWG. “Protocol Independent” という名前は、マルチキャストトラフィックの送信者のいる方向の計算に際してユニキャスト経路表そのものを用い、PIM自体はユニキャスト経路計算を行わないことに由来する。

IPv4についてのプロトコル仕様はすでにRFC (RFC2362) 化されているものの、細かい状態遷移に仕様バグがあることが分かっているため、最近RFC2362の仕様改善に関する議論が中心に行われている。この仕様改善版には、IPv6対応PIM-SMに関する議論やSSM (後述) に関する議論も含まれている。

## ■ SSM (Source-Specific Multicast)

ソース特定型マルチキャストSSMの枠組み全般を議論するWGである。

マルチキャスト経路制御の本質は、送信者から受信者群に至るツリーを自動生成することにある。現在のマルチキャストでは、受信者はマルチキャストグループに参加する時に送信者が誰なのかを知らずにマルチキャストトラフィックを受信できる仕組みになっている。このことは、ネットワークを構成する機器がマルチキャストグループへのトラフィック送信者を自動的に検出して、その検出結果とマルチキャストグループへのトラフィック受信要求とを組み合わせ合わせてツリー構築をする必要があることを意味する。

仮に受信者から送信者が誰なのかをネットワークに通知することができれば、ネットワークを構成する機器がマルチキャストグループへのトラフィック送信者を検出する作業がなくなる分、マルチキャストツリー構築が非常に簡単になり、マルチキ

ャストの大きな技術課題の1つであるプロトコルの複雑さが解消される。なお、受信者が送信者が誰なのかを知ること自体は、セッション制御プロトコルを用いることにより容易に実現可能である。

SSMとは、上述のように受信者が送信者を指定した上でマルチキャストグループに参加する、マルチキャストの実現方法である。マルチキャストの大きな使い道であるストリーミングでは送信者は特定の1つか2つのホストに限定されることを考えると、無理のない仮定によりプロトコルを単純にするよき提案であるといえる。

SSM WGの活動はPIM WGやInternet AreaのMAGMA WGの活動とも一部オーバーラップするため、SSM WGはこれらのWGと連係しながらSSMのプロトコル仕様の議論を進めている。

## マルチキャスト系 (Routing Area以外)

前述のように、マルチキャスト関連の議論はRouting Area以外のところでも議論されているので、各Areaの関連WGを簡単に紹介する。

### ■ Internet Area

– MAGMA (Multicast Anycast Group Membership)

マルチキャストグループ管理プロトコルであるIGMP (Internet Group Management Protocol=IPv4版) やMLD (Multicast Listener Discovery protocol=IPv6版) の議論を行うWG. 図-1の (b) に属する。IDMR WGの活動収束に伴い、かつてIDMR WGで議論していた内容を継続議論している。

現在は、IGMPv3 (SSM対応のIGMP)、MLDv2 (IGMPv3のIPv6版)、IGMP/MLD snooping (LANスイッチにおけるグループ管理)、マルチキャストルータ検出プ

ロトコルなどが議題の中心である。

### ■ Operation Area

– MBONED (MBONE Deployment)

世界に跨るマルチキャスト実験ネットワークであるMBONE (IP Multicast Backbone on the Internet) の運用に関する議論を行うWG.

### ■ Security Area

– MSEC (Multicast SEcURITY)

マルチキャストでセキュアかつ安全に通信するための方法に関する議論を行うWG. 現在は特に鍵管理プロトコルに関する議論が活発に行われている。

### ■ Transport Area

– AVT (Audio Video Transport)

音声や画像などのリアルタイムトラフィックをIPで送るためのプロトコルRTP (Realtime Transport Protocol) に関する議論を行うWG. 図-1の (d) に属する。

– MALLOC (Multicast Address Allocation)

マルチキャストグループアドレスの動的割り当てプロトコルに関するWG.

– MMUSIC (Multiparty Multimedia Session Control)

マルチメディア通信のためのセッション制御プロトコルについて議論するWG. 図-1の (c) に属する。

– RMT (Reliable Multicast Transmission)

UDPマルチキャスト通信においてパケットロスなく通信を行うための、プロトコルや誤り訂正符号について論じるWG. 図-1の (d) に属する。

筆者はIPv6マルチキャストルー

タの実装経験やIPv6マルチキャストネットワークのオペレーション<sup>3)</sup>経験から、本章の最初に述べたマルチキャストの課題のうちオペレーションの複雑さを解消することが最優先課題であると考えている。ドメイン内限定であってもマルチキャスト通信は有用なサービスたりえる。にもかかわらず現在、マルチキャスト通信はドメイン内限定ですらあまり普及していない。現在のマルチキャスト経路制御プロトコルは複雑であるために障害発生時の原因個所の特定が難しい。そのためマルチキャストパケットを疎通させることはできても運用管理までは難しいことが、マルチキャスト通信普及を妨げる大きな原因であると考えられるからである。

そのため筆者はマルチキャスト関連WGの中でも、特にSSM関連の動向に注目している。

## その他のWG

ユニキャストにもマルチキャストにも分類できないWG群をここにまとめた。

### ■ FORCES (Forwarding and Control Element Separation)

昨今のルータは、高速化のためにパケット中継部をその制御部から分離させた構造をとることが多い。そのような機能分化に対応した中継部と制御部との情報のやりとりを標準化するために、2001年8月から発足したWGである。

### ■ MANET ( Mobile Ad-hoc Networks)

ワイヤレスネットワークを用いて、アドホックなネットワークを構築するための経路制御のあり方について議論をするWG。

### ■ UDLR (UniDirectional Link Routing)

衛星回線に代表される片方向通信のみ可能なリンクに関する議論を行うWG。特にユニキャスト/マルチキャスト経路制御プロトコルのあり方やセキュリティ上の課題について議論がなされている。

### ■ VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol)

ルータ冗長化プロトコルVRRPの仕様に関して議論を行うWG。現在IPv4 VRRP仕様の再修正ならびにIPv6 VRRPの仕様やMIBの仕様のメインの議題である。

### ■ RPSEC BOF (Routing Protocol Security BOF)

WGではないが、最近Routing Areaで注目されているBOFなのでここで紹介する。

経路制御プロトコルの暗号化/認証などのあり方について議論するBOFである。このBOFができる前は各経路制御プロトコルごとにセキュリティ拡張のあり方を考察していた。ところがある経路制御プロトコルに対するセキュリティ拡張の考え方は、他の経路制御プロトコルに対しても応用できることが多い。そのため経路制御プロトコルのセキュリティについて、一括して議論を行うために設けられたBOFである。

経路制御プロトコルはルータの管理を自動化する反面、悪意のある人間に経路制御パケットを改ざんされたりや偽の経路情報を流されたりすると、自動的にネットワークを破綻させるという危険な側面も有する。現在のネットワークオペレーションでは経路フィルタを設定することによりパケットを悪意のある人間のところに中継するような最悪な事態は防ぐことはできるものの、不要な経路計算によりルータの計算負荷が上がることを防ぐことはできない。そのため経路制御プロトコル自体に暗

号化機能や認証機能を追加することにより、こうした危険をさけることが狙いである。

### ■ General RTG Area Discussion ML

Routing Areaの議論は、他WG、エリア間に跨る議論が多い。General RTG Area Discussion MLは、そのような議論を行う場として設けられたメーリングリストである。加入方法など詳細については以下のURLを参照されたい。  
<http://www.rtg.ietf.org/>

## おわりに

Routing Areaの各WGの概要と関連WGに関して、特にルーティングプロトコルを中心に解説した。

ルーティングプロトコルは、実装し運用を積み重ねてその結果を仕様フィードバックしないと、洗練されないものである。もし大学の研究室、企業、ISPなどでルータの運用をされる機会があるならば、使っているプロトコルのRFCと実際の動きとを比較されることをお勧めする。プロトコルでできることやできないことが明らかになるので、自ずとオペレーションを楽にする知恵やトラブルシューティングのノウハウがたまっていくはずだ。運よくプロトコルのバグを見つけて該当するWGに報告していただければ、それだけでRouting Areaに貢献したことになる。

### 参考文献

- 1) IETF Working Groups, <http://www.ietf.org/html.charters/wg-dir.html>
- 2) 朝枝 仁: Source Specific Multicastによる新たな通信アーキテクチャ, 情報処理, Vol. 43, No. 3, pp.260-265 (Mar. 2002).
- 3) IPv6普及・高度化推進協議会, IPv6マルチアングル野球中継実験, <http://contents.pr.v6pc.jp/apwg/event02.html>

(平成14年7月4日受付)