

# エミュレータを用いたIPv6ネットワーク 構築実習教材作成

2010SE044 平石 晃大 2010SE050 堀 直高

指導教員：後藤 邦夫

## 1 はじめに

コンピュータネットワークの世界で利用されている通信規約(プロトコル)には、OSIの7階層モデルとTCP/IPモデルの4階層モデルが知られている。これら二つの通信規約モデルにおいて、OSI参照モデルの3層めとTCP/IPモデルの2層目にそれぞれ割り当てられているのが、ネットワーク層である。

これまでバージョン4の32ビット長のIPv4アドレスが利用されているが、アドレス枯渇が想定されたため128ビット長のIPv6アドレスが策定され1999年から実際に割り当てが開始された。

現在IPv4アドレスの新規の割り当てができなくなる“IPv4アドレス在庫枯渇”が生じており、そこで、NAT[2]などの対策が考案されたが、この問題を本質的に解決するためにはIPv6への移行が必要となる。しかし様々な経緯があり普及しているとはいえない状況である。IPv4とIPv6は異なるプロトコルであるため、そこで利用されるルーティングプロトコルもIPv4とIPv6で違いがある。これを表1に示す。IPv6ネットワーク構築時には、この違い

表1 IPv4とIPv6のルーティング方式比較

ルーティング方式	IPv4	IPv6
静的	利用可	利用可
デフォルト ルート	利用可	利用可
RIP	v1/v2	RIPng
OSPF	v2	v3
BGP	BGP4	BGP4+

を認識し環境に適した手法が要求される。

こういった状況を踏まえ、本研究ではネットワークを運用する技術者の育成や、学校支援を目的とし、IPv6アドレスの実装を通じてネットワーク構築の実習用教材を作成する。研究方法としてCORE(Common Open Research Emulator)[1]とルーティングソフトウェアであるQuagga, radvd(Router Advertisement Daemon)を利用することによって、仮想ネットワークを1台のPC上で実現し、IPv6ネットワークの接続性を確認する。その結果、低コストでネットワークをエミュレート可能である。

なお、実験は共同で行い、ネットワークの構築は主に平石が担当し、ルータの設定は主に堀が行った。

## 2 ネットワーク構築実習カリキュラム

このネットワーク構築実習では、IPv6のシステム概要から、ルーティングを含むIPv6ネットワーク接続までをする。ルーティングは小規模用IGPからEGP間のネッ

トワーク構築をする。またDNS, Web, メール等のサービスやDHCPはこの実習のカリキュラムには含まない。

現在、様々なネットワークエミュレータが存在するが本研究ではCOREを用いて実験をする。Quaggaを搭載しており、かつフリーソフトという点が他のエミュレータより優れている。

### 2.1 CORE

COREとは仮想ネットワークを構築するためのツールである。エミュレータとして、COREは、抽象的なモデルが使用されているシミュレーションとは対照的に、リアルタイムで実行される実際のコンピュータネットワークの表現を構築する。これは、Linuxが提供する仮想化を活用して、実際のアプリケーションおよびプロトコルを実行するための環境を提供する。COREを利用した理由は、効率的でスケラブル、GUIのため操作が容易、また高度なカスタマイズが可能であるため。

### 2.2 Quagga

Quaggaとは、高機能なルーティングデーモンである。RIPng, OSPFv3等に加え、BGP4+等のEGPのルーティングプロトコルもサポートしている[4]。Quaggaの特徴としてTCP/IPの統合的な設定ができるフレームワークとなるよう設計されている。またCisco社のルータに似たユーザインタフェースを持っており、Cisco社のルータの操作[6]の学習にもよく利用されている。本研究では、ルーティングソフトウェアであるQuaggaを使って、仮想動的ルータを作成した。Quaggaを利用した理由を次に記す。

- 導入が容易である。
- ユーザインタフェースがCiscoに似ており、使いやすい。
- IPv6ルーティングをサポートしている。

特に、ユーザインタフェースが既存のものに似ていることは、技術者の教育という観点から見て、最大の利点であると考えられる。

### 2.3 RIPng

RIPngとはRouting Information Protocol next generationの略であり、IPv6で動作するRIPのこと。IPv6用のルーティング・プロトコルとしては一番早く標準化された。RIPngで経路交換をするルータは、自分が持つすべての経路情報をRIPngルータに対するマルチキャスト・アドレスをあて先として、直接接続されているネットワークへ送信する。

経路情報を受けとったルータは、自分の持っている経路情報と比較し、メトリックがより小さい経路情報を新

しい経路として採用する。仕様が簡単であるため、多くの機器で実装されている。

## 2.4 OSPFv3

OSPFv3とは Open Shortest Path First version 3の略であり、IPv6で動作し、大規模ネットワークに適したルーティング・プロトコル。階層化したルーティングを実現できる点が特徴で、ネットワークをエリアと呼ぶ小さな単位に分割し、エリア間を結ぶ。伝送路の帯域幅やユーザーが指定した「コスト値」をパラメータとして組み込むことが可能である。コストとは、OSPF インタフェースに付けられる負荷値のこと。ホップ数だけに基づく単純な RIP ルーティングよりもネットワークを有効利用できる。

## 2.5 BGP4+

BGPはAS[3]間の経路交換のために作られたプロトコルである。他の経路制御プロトコルと違い、組織内での設計と機器の準備だけでは利用することができない。BGPでは経路制御をする組織ごとにインターネットの世界で唯一の番号が割り当てられ、個々の経路を識別する。

## 2.6 アドレス自動設定

COREを用いて実習する際、アドレスの自動設定を利用する。次にルータ広告と、そのデーモンについて説明する。

### 2.6.1 ルータ広告

IPv6ルータは必要に応じて自身と接続されているPCに対し、プレフィクスを通知する。プレフィクスを受け取ったIPv6ホストは、EthernetのMACアドレスなどから自らインタフェースIDを生成してプレフィクスと合体させ、自分のIPv6アドレスを作成できる。ルータ自身のプレフィクスなどのネットワーク情報を定期的に送信することをRA(Router Advertisement: ルータ広告)と呼ぶ。

### 2.6.2 radvd

radvdとはルータ広告をするデーモンであり、これを立ち上げておくことによって、ルータに接続されているPCのIPアドレスを自動で割り当てることができる。設定ファイルであるradvd.confは事前に設定しておく。

## 3 ネットワーク構築の実習

本節では、実際にCOREを用いて実習をする。ルーティングが容易に行えるため、小規模なルーティングからする。また、エミュレータを使用することによりコストの削減、より現実性のある実習をすることが可能である。そのため、実習は次の手順です。

1. 小規模 LAN のスタティックルーティングの設定
2. radvdによるルータ広告
3. 小規模 LAN における RIPng の設定と構築
4. 小規模 LAN における OSPFv3 の設定と構築
5. AS 間における BGP4+ の設定と構築

## 6. 小規模 LAN から AS 間におけるルーティングの設定と構築

### 3.1 小規模のスタティックルーティングの設定

複数のルーティングプロトコルを組み合わせたネットワーク

各ルータにスタティックルートを設定することで、直接つながっていないホストやルータ同士の接続を可能にするように設定する。2台のルータ同士を接続する。それぞれのルータには1台のスイッチが接続され、さらにスイッチには1台のPCが接続されている。このネットワークを図1に示す。この際、COREのルータ設定でradvd, Quaggaを起動させないようにしておく。n1からn3にping6コマンドを実行して通信できていないことを確認し、スタティックルートを設定する。例えばn1からn2へ

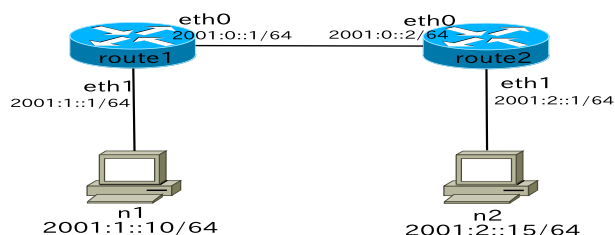


図1 小規模 LAN のスタティックルーティングの設定

の設定手順は次のようになる。

1. 各 PC に IPv6 アドレスを ifconfig コマンドで設定する
2. n1 から n2 への経路を route コマンドで設定する
3. n2 から n1 への経路を route コマンドで設定する
4. 経路設定を行った後、n1 において ping6 コマンドを n2 に対して実行し、通信できるか確認する

### 3.2 radvd によるルータ広告

radvdによるルータ広告でアドレスを自動割り当てする。図2のようなネットワークを例とする。この際、COREのルータ設定でradvdを起動し、eth0のみ自動割り当てする設定をする。なお、eth1は手動で設定する。各ホストの端末でそれぞれifconfigコマンドを実行し、割り当てられたIPv6アドレスを確認する。その後router1において、radvdでdefault経路が設定されたことを、routeコマンドで確認する。

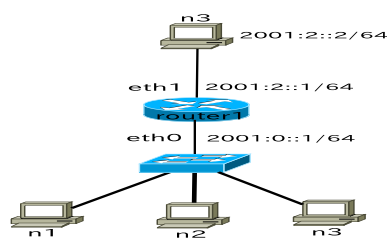


図2 radvdによるルータ広告

なお、設定例の一部を次に記す。

```
interface eth0 —eth0 に接続されたホストに通知
{
  AdvSendAdvert on; —RA を定期的に送信
  するか
  prefix 2001::/64 —通知するプレフィクス }

```

### 3.3 RIPng の設定と構築

2 台のルータ同士を接続し、それぞれのルータには 1 台の PC が接続されている。このネットワークを図 3 に示す。

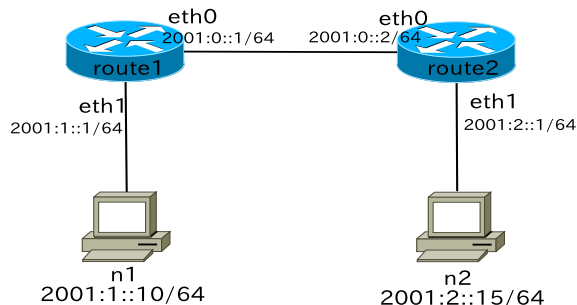


図 3 小規模 LAN における RIPng の設定と構築

RIPng は zebra の設定ファイルの中で設定する。末端 LAN の n1 と n2 は RIPng を聞かないので必要ない。eth0 でのみ有効にしルータ間のみで RIPng を使用する。router2 においても PC への RIPng は必要ないため、eth0 でのみ有効にする。

経路情報の設定が完了した後、端末上で ping6 コマンドを実行し応答を確認する。また、ルータで route コマンドを実行しルーティングテーブルを確認する。なお、設定例の一部を次に記す。

```
router ripng —RIPng の動作を宣言
  redistribute static —スタティックルーティング情報
  の再配布
  redistribute connected —直接接続のネットワーク
  をルーティングプロトコルに再配送
  network eth0 —RIPng で経路を交換するインタ
  フェースを指定

```

### 3.4 OSPFv3 の設定と構築

4 台のルータ同士を接続する。このネットワークを図 4 に示す。

OSPFv3 は zebra の設定ファイルの中で設定する。この設定ファイルのなかではルータ ID やエリア指定、有効にするインタフェースなどを設定する。経路情報の設定が完了した後、端末上で ping6 コマンドを実行し応答を確認する。また、ルータで route コマンドを実行しルーティングテーブルを確認する。なお、設定例の一部を次に記す。

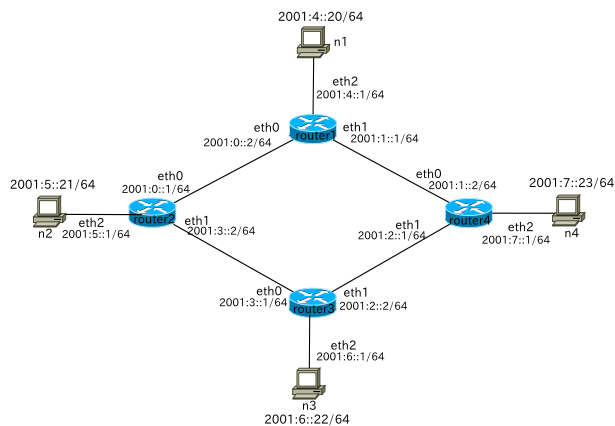


図 4 小規模 LAN における OSPFv3 の設定と構築

```
router ospf6 —OSPFv3 の動作を宣言
router-id 0.0.0.1 —ルータ ID の設定(ここでは IPv6
アドレスは不可)
redistribute connected
interface eth0 area 0.0.0.0 —eth0 を area0.0.0.0 に
設定

```

### 3.5 BGP4+ の設定と構築

3 台の BGP ルータを IX に接続する。AS 番号とネットワークを図 5 に示す。

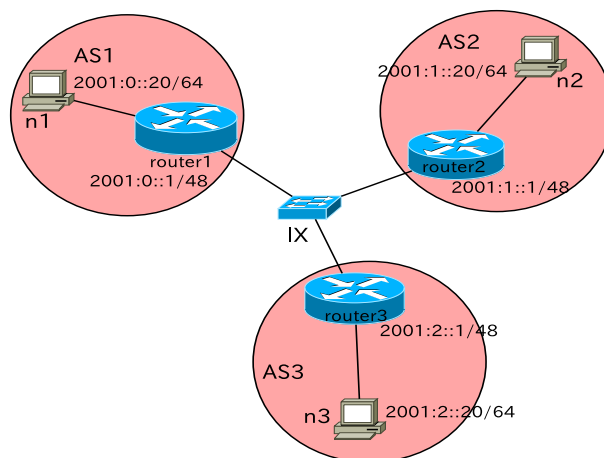


図 5 AS 間における BGP4+ の設定と構築

各ルータと PC のアドレスは初期設定されたものを使用する。設定ファイルで AS 番号と IP アドレスの割り当てをした後、上流 ISP や IX への接続が必要。その後、自組織の BGP ルータと接続先の BGP ルータ間でピアと呼ばれる経路の交換の設定をする。BGP による経路制御はこのピアを通して行い、ピアを設定後、自組織の IP アドレスを接続先へピアを通じて通知する [5]。

経路情報の設定が完了した後、端末上で ping6 コマンドを実行し応答を確認する。また、ルータで route コマンドを実行しルーティングテーブルを確認する。なお、設定例の一部を次に記す。

```

router bgp 1—BGP4+の動作と AS 番号を宣言
  bgp router-id 0.0.0.1—ネイバーのリンクローカル
  IPv6 アドレスをローカルルータのネイバーテーブル
  に追加
  neighbor 2001:1::1 remote-as 2—接続先の AS 情報
  を設定
  no neighbor 2001:1::1 activate—隣接インターフェー
  スの BGP 接続を有効にする

```

### 3.6 小規模 LAN から AS 間におけるルーティングの設定と構築

総合演習として radvd と RIPng, OSPFv3, BGP4+ のルーティングプロトコルを組み合わせたネットワーク構築図を次 6 の図に示す. AS 間ルーティングは BGP4+ を

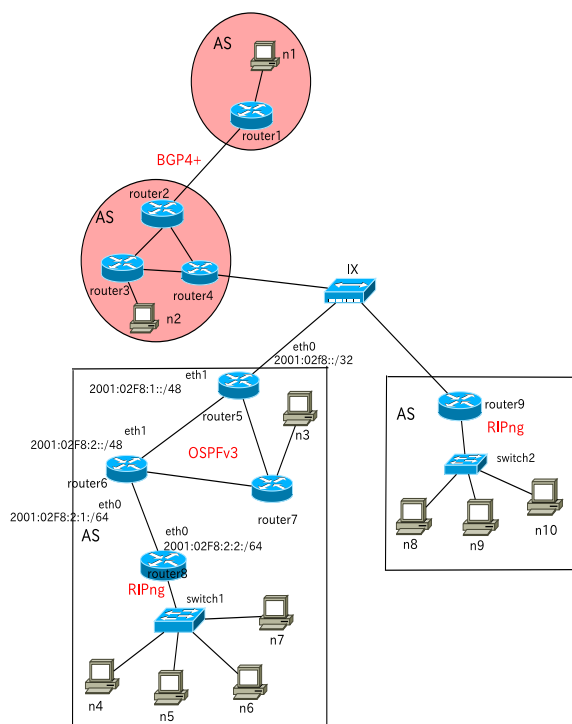


図 6 小規模 LAN から AS 間におけるルーティングの設定と構築

用いる. AS 内ルーティングは RIPng, OSPFv3 である.

1. router5, router6, router7 で ISP LAN を想定し, BGP4+ と OSPFv3 でルーティングする. IX から router5 へ BGP4+ で接続する. router6, router7 には BGP4+ は通知せず, OSPFv3 でルーティングをする. router6 の eth0 では RIPng を設定し, redistribute static を追加する.
2. router8 で顧客 LAN を想定し, RIPng でルーティングする. ここで, ISP との接続ルータから LAN に default 経路を送出する.
3. ほかの顧客 LAN を想定した router9 では radvd の設定をし, ルータ広告でアドレスを割り当てる.
4. 経路情報の設定が完了した後, 端末上で ping6 コマ

ンドを実行し応答を確認する. また, ルータで route コマンドを実行しルーティングテーブルを確認する.

## 4 評価

今回は南山大学後藤研究室の学生を対象とし, 実際に理解から構築までの実験をした. 総合演習のように複雑な構築をできなかった学生はいたが, 各ルーティングプロトコルの小規模な構築, IPv4 の知識を学ぶとともに, IPv6 に関する基礎的な知識, また応用的な知識を付録を参照することで身につけることができた. スタティックルートを通して, 自ら手動で設定をすることも可能になった. そのため本研究はネットワーク構築教材として使用可能であることが分かった.

また, システムのインストール方法や CORE の詳しい操作説明などを付録として収録し, これを参照することで, 効率よく実習を進めることができた.

## 5 おわりに

本研究で作成した IPv6 のネットワーク構築実習教材を通して, 基礎的な知識から容易な構築, 応用的な構築までの実習をした. 各ルーティングプロトコルのメリット, デメリット, またルーティング方法の詳細を学ぶことができた. RIPng は仕様が簡単で理解しやすいため, CORE 上での設定を容易にすることが可能だった. OSPFv3 では, 構築をエリア別に行うことができなかったが, 小規模な構築の設定を完成することができた. また, BGP4+ では設定例が複雑で規模が大きいため, 設定例を完成させるのに苦労した. しかし, ルーティングプロトコルや radvd の IPv6 用の知識が身につく, 枯渇問題である IPv4 の良い対策になったと思う. 今後, ネットワーク運用経験が少ない技術者にとっても, IPv6 ネットワークを容易に構築できるようになったことを期待する.

また, OSPFv3 のエリア別構築, Web やメールサーバなどのアプリケーションサービス, LAN でのマルチキャストルーティングは今回の実習に含まれていない. そのため, 今後の課題とする.

## 参考文献

- [1] Ahrenholz, J.: *Comparison of CORE Network Emulation Platforms*, pp. 864–869, Proceedings of IEEE MILCOM Conference (2010).
- [2] Egevang, K.: The IP Network Address Translator RFC1631 (1994).
- [3] Hawkinson, J.: Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System RFC1930 (1996).
- [4] Ishiguro, K.: Quagga (accessed Jan. 2014). <http://www.nongnu.org/quagga/docs/quagga.html>.
- [5] van Beijnum, I.: BGP-TCP/IP ルーティングとオペレーションの実際, オーム社 (2004).
- [6] 木村 滋 Cisco ISR ルータ教科書, インプレス (2006).