

事例研究によるネットワーク技術の体系化とその教育展開

- 第1報 コンセプトと実験システム -

山崎 悟史[†]

概要：2010年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書(経産省)によると、学校で獲得しておけばよかったスキルおよび今後伸ばしたいスキルの分野の筆頭として通信分野が挙げられている。近年、ロボットを題材とした組込みシステムやPBLなどに関する教育コンテンツについて事例が多く見られるが、通信ネットワークに関する教育コンテンツは十分に確立されていないようである。そこで毎年、所属高専の低学年において実施されている自由研究のテーマとしてネットワークを取り上げ、ネットワーク技術の体系化を試みている。さらに、その内容を高学年における授業・教育へ活用することを目指している。本稿では、教育コンセプトと実際に構築した実験システムについて報告する。

キーワード：事例研究、通信ネットワーク、体系化、教育コンセプト、実験システム

Systematizing of Network Technology due to Case Study and its Expansion for Education

- The First Report : Concept and Experimental system -

SATOSHI YAMAZAKI[†]

1. はじめに

2010年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書によると、“学校で獲得しておけばよかったスキル”および“今後伸ばしたいスキル”の筆頭分野として「通信」が挙げられている（前者が20%弱、後者が60%弱であり、ともに全38分野で首位）[1]。しかし、一言で“通信”といっても図1に示すようにその分野は多岐に渡る[2]。つまり、ハードウェアからソフトウェア、後者に関しても信号・情報理論から上位のネットワーク理論を意味し、“通信ネットワーク”として扱われることも多い。また、今後の更なる高速大容量化の実現に向け、有線と無線の境界もなくなりつつあり、要求されるスキルも多様化している。

ところで、大学や高専などの教育研究機関において授業科目を担当する際、自分の専門分野以外の科目を担当しなければならないことも多い。そのような局面において、自分の研究分野や他の担当科目との関連を見出し、activeに新科目の準備、担当したいものである。そこで、筆者（通信工学、特にデジタル無線通信を専門とする教員）は、“ミニ研究”（沼津高専2年半期で開講される学科横断型研究。以降、“事例研究”と称す）[3]を活用して2016年度4月から開講予定科目“ネットワーク基礎”（沼津高専制御情報工学科5年で開講）の準備を進めてきた。本稿では、“ネットワーク基礎”開講にあたりネットワーク教育に関する一考察を述べ、過去4年の事例研究にて構築してきた教育用ネットワークシステムの変遷を示す。最後に、本システムの教育・研究への活用や課題について述べる。

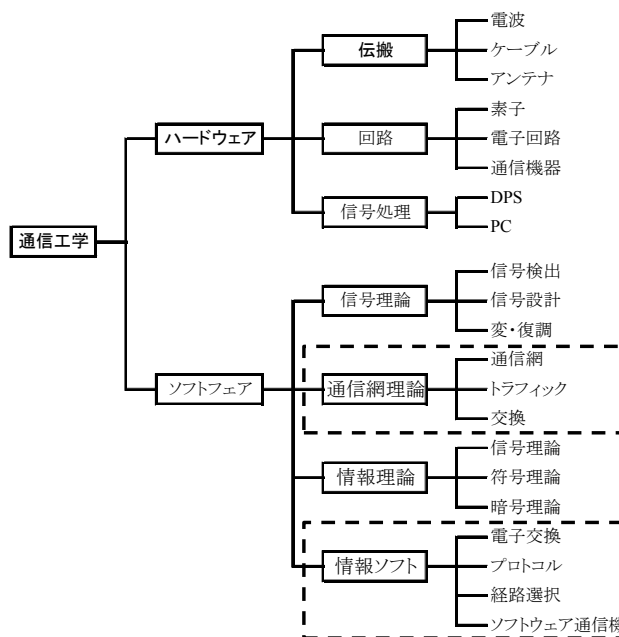


Figure 1 Fields in communications technology [2].

2. ネットワーク教育に関する一考察

(2.1) 通信とネットワーク

ネットワークは、LANやインターネットとして、社会の隅々まで浸透している。いまやネットワークは企業の経営活動、流通活動を支える重要な基盤（インフラ）である。ここで、通信とネットワークの意味を考えてみると、図2に示すように、通信とはある主体から他の主体へ情報を伝えることであり（図2(A)）、ネットワークとは「場」を通

[†] (独)沼津工業高等専門学校 制御情報工学科
National Institute of Technology, Numazu College.

した「主体」間の相互システムであると考えられる(図2(B)). 現実社会では、これらの明確な区別を要する場面は少なく、まとめて“通信ネットワーク”などと称することが多いが、本稿では、いわゆるネットワークを対象とする。それは、図1において点線で囲まれた分野が該当する。また、図2(A)において、ノードとノードを結ぶ媒体(リンク)が光ファイバケーブルや電線ケーブルの場合が有線であり、電磁波を媒体とした開空間の場合が無線であるが、いずれの場合も“ノード間の情報(信号)を伝えること”が通信の本質であることに代わりはない。

(2.2) 教科科目の性質 1 - 解法と概念 -

一般に、ネットワークのような科目を教えることは、微積分のような科目より難しいようである。この点について、教科科目の性質を解法中心と概念中心と捉えると説明が付きそうである。つまり、解法中心の科目とは、微積分やX X工学のような数式を主体として教授する科目であり、学生は問題が“解けたか否か”で“わかったか否か”一定の感覚がつかめるようである。一方、概念中心の科目とは、コンピュータ系の科目であり、プログラミングのような手段をはじめとし、ネットワークやデータベース、オペレーティングシステムといった利用に力点が置かれるものが該当する。例えば文献[4]では、「教える側も“C 言語を教える”というのはとても苦しい。やはりそこに必然性がないからである」と述べ、近年のデジタル無線通信技術で重要となっている諸技術およびその理解に必要な諸現象を説明し、その実現をC言語で行う方法を示している。私見を述べると、概念中心の科目は、その実務経験を有していると教えやすいのではないかと考えている。また、それを有していると最新技術が登場しても、これまで経験した技術とのアナロジーで理解することが可能である。逆にいうと、教育機関においても実務経験を積めるような学習を進めると、概念中心の科目についても理解しやすくなると考えられる。

(2.3) 教科科目の性質 2 - ソフトとハード -

ロボットなどのメカトロニクス教育の場合、実際のハードが動作することにより理解が促される。プログラミングなどのソフトウェア教育においても、座学・机上だけで理解することは不可能であり、実際にコンピュータを用いたプログラミング実習が不可欠である。ネットワークやオペレーティングシステムのような直接“目に見えない”科目を教えることは難しく、学生も十分な理解を得ることが難しいようである。この点に関して、PC上で動作するネットワークシミュレータ(例えばオープンな ns3[5])等を用いて動作理解を深めることが期待できる。

(2.4) 教育内容の検討 1 - アーキテクチャの観点 -

ネットワークの基本アーキテクチャとして、どの教科書にも OSI 参照モデルが示されている。ネットワークのオー

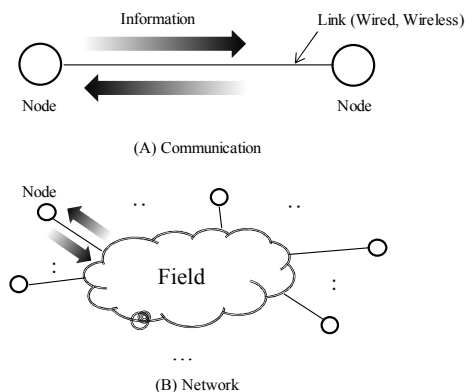


Figure 2 Communication and network

OSI参照モデル	TCP/IPモデル
第7層:アプリケーション層	アプリケーション層
第6層:プレゼンテーション層	
第5層:セッション層	
第4層:トランスポート層	トランスポート層
第3層:ネットワーク層	インターネット層
第2層:データリンク層	ネットワークインターフェース層
第1層:物理層	

Figure 3 Network architecture

ン化、マルチベンダ化の流れに伴い、ISO(国際標準化機構)が定めた通信体系が、OSI参照モデルと呼ばれるものである。一方、大学などの研究機関やコンピュータ業界が中心となって、TCP/IPプロトコルという体系がうまれた[6]。図3に両者の対応関係を示す。OSIの設計思想は“プロトコルに必要な機能は何か”であったが、TCP/IPのそれは当時のUNIX OSの流れもあり“プロトコルをコンピュータに実装するにはどのようにしたらよいか”というものであった。

ネットワークの教科書はOSI参照モデルの解説がなされているが、その大半は最下位の物理層からの記述(ケーブルの規格や伝送速度など)に始まり、順に上位の層を説明がなされている([6],[7]など)。この構成では、ユーザに最も遠い部位からの説明から入るため、初学者には退屈感を受ける。そこで、身近なインターネットなどの話題を用いてユーザに近いアプリケーション層から説明を始めれば、よりスムーズにネットワークの世界に入っていけることが期待される。

(2.5) 教育内容の検討 2 - 設計の観点 -

(2.2)において、実務経験を積めるような学習が重要であることを述べた。それはネットワークを機能からとらえるのではなく設計の観点からとらえなおすことと見なせる。図4に示すようにネットワーク構築は主に6つのフェーズから構成される[8]。すなわち、(1)要件定義(顧客の要件を検証(構築した環境で明確化し定義)、(2)基本設計(ネットワークのルールを規定)、(3)詳細設計(各機器のパラメータを決定)、(4)システム構築(詳細設計のパラメータ

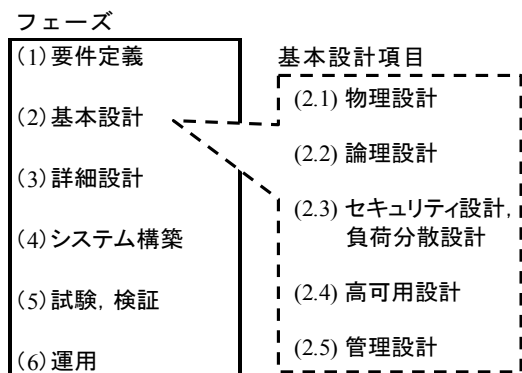


Figure 4 Network Design

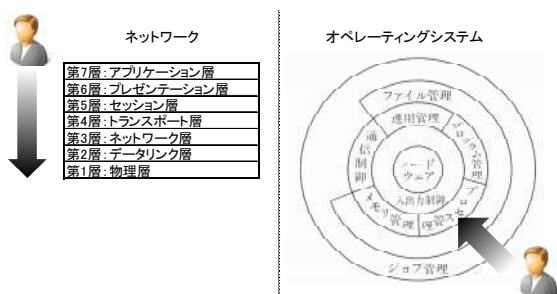


Figure 5 Network and OS from user viewpoint

に基づき設定), (5)試験, 種試験の実施), (6)運用 (構築した環境での利用) の6フェーズである. さらに, 基本設計は, 主に5つの基本設計項目からなる. 例えば, サーバサイトのネットワーク構築などを例に, 図4に従い設計することはネットワークの理解に大いに役立つと思われる. さらに, 各フェーズ毎にドキュメントを作成すればシステム開発全般の能力向上が期待できる.

(2.6) ネットワークと他分野との関連

ネットワークを学習する位置付けを示すために, 他分野との関連を考察する.

(2.6.1) プログラミングとの関連

文献[9]では, プログラムとプロトコル (通信規約) を次のような対応で捉えている.

- ✓プログラム = データ構造 + アルゴリズム
- ✓プロトコル = パケットの構造 + 動作の定義

静岡大学情報学部では, この思想の元, 1年時 (TCP/IP ネットワークコンピューティング入門) では, どんなブラックボックスがあるか一通り認識させ, 2年時 (コンピュータネットワーク講義) では, ブラックボックスの中身を勉強していく. 3年時 (ネットワークプログラミング演習) では実験系科目で中身をより深く体感させる授業設計をしている.

(2.6.2) オペレーティングシステムとの関連

筆者は所属機関にて“オペレーティングシステム” (高専4年時) を教えている. その際, その授業展開として図5

に示すように, OSの各機能をユーザ側からハード側に近づく方向へ教授している. これは, (2.4)で述べたユーザ視点からの教授法であり, 図5にユーザ視点からとらえたネットワークとOS像を示す.

3. 事例研究にて構築してきた教育用ネットワークシステムの変遷と設計・検証

(3.1) 2012～2013年に構築

まず, 図6に示すネットワークは初期段階として, ルーティング機能を実装せず, ネットワークグループの作成, 確認を行った[10][11].

(3.2) 2014年夏に構築

図7に示すネットワークは2.1からの改善点として, 業界標準 Cisco 社製 Cisco1812J[12]を導入した. 静的及び動的ルーティングを実装設定し, 異なるネットワーク環境における通信を確認した[13].

(3.3) 2014年秋に構築

(3.3.1) 要件定義

(3.2)のネットワークの問題点として, 現実社会での環境ではルータがリング状につながるため, バス型(直線状)での特性評価では不十分であることが挙げられる. また, 従来の教育題材[14][15]もバス型を対象としており, ルーティング特性が十分には示されていない. よって, 本研究ではインターネットの基本原理を理解するために, リング型ネットワークを含む設計し, ルーティング特性を確認するために実機試験を行う[16],[17].

(3.3.2) 物理設計

提案ネットワークの物理設計を図8に示す.

(3.3.3) 論理設計

提案ネットワークの論理設計を図9に示す.

(3.3.4) システム構築

提案ネットワークの概観を図10に示す (図のスペースの都合上, 図7の後に図10を配置する).

(3.3.5) 試験, 検証[17]

(3.3.5.1) 目的

まず, 各ルーティング(静的, RIP, OSPF)の特性評価を行う. 次に, 複数ルーティング設定(静的, OSPF)を混在させた時の優先制御について検証する.

(3.3.5.2) 方法

- 1 Cisco ルータに対して PC の gterm ターミナル画面から設定コマンドを入力し, ルーティング内容を設定する.
- 2 PC#5(172.19.23.1)から PC#7(172.19.24.1)にデータを流し, パケットが流れるかの確認を行う.
- 3 PC#5の端末上で traceroute コマンドを入力し, データの経路を確認する.

(A) 静的ルーティング単体

ルータ1～3に入力する設定コマンドは図11～13である.

設定後、ルータ 1 とルータ 2 の通信(10.2.2.1)を、ケーブルを抜くことで切断し、その状態での経路を確認する。

(B) 動的ルーティング単体

(A)の手順 3 の後、ルータ 1 とルータ 2 間の通信速度をターミナル画面から 10Mbps に変更する。

(B.1) RIP

RIP の設定コマンドは、図 14 である。RIP は全てのルータで同じ設定コマンドで設定する。

(B.2) OSPF

ルータ 1～3 に入力する設定コマンドは図 15～17 である。今実験では 1 つのエリアだけで OSPF を動作させるため、エリア ID を 0 に設定している。

(C) 静的と動的ルーティング(OSPF)混在

同じルータ内にルーティング設定を混在させる場合、Cisco ルータには最適な経路選択をするために表 1 の AD 値 (Administrative distance value)が設定されている。この値の小さい方のルーティング設定が優先される。

1 静的ルーティングと OSPF を同時に設定する。

2 ルータ 1 とルータ 2 の通信(10.2.2.1)を物理的に切断し、

Traceroute コマンドを発行し、経路を確認する。

3 ルーティングテーブルを確認する。

4 OSPF を優先するように静的ルーティングの AD 値を変更する。変更する場合の設定は図 18 に示す。これはルータ 1 の設定だが、ルータ 2, 3 にも静的ルーティング設定時に同様に設定する。その後、手順 2, 3 を行う。

(3.3.5.3) 結果と考察

(A) 静的ルーティング単体

PC#7 へ Ping コマンドを発行した結果は図 19 に示すとおり正常動作している。また、traceroute の結果を図 20 に示す。Network#3(172.19.24.254)から経路(10.2.2.1)を経由して PC#7(172.19.24.1)に通っていることがわかる。図 21 に示すように切断された場合、Network#3 から次に向かう先がなくなり、経路が途中で切れていることがわかる。

(B) 動的ルーティング単体

(B.1) RIP

RIP の traceroute の結果を図 21 に示す。静的ルーティングと同じ経路を選択している。また、通信速度を 10Mbps とした場合も同じ経路であった。よって、ポップ数が最短の経路を選択していることを確認できた。

(B.2) OSPF

OSPF の traceroute の結果は RIP と変わらなかった。しか

Title 1 Administrative distance.

ルートの情報源	デフォルトアドレスティビタンス値
接続されているインターフェイス	0
スタティックルート	1
OSPF	110
RIP	120

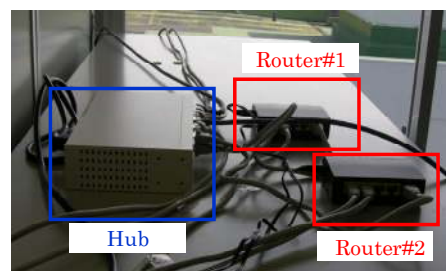


Figure 6 Established system in 2012~2013.

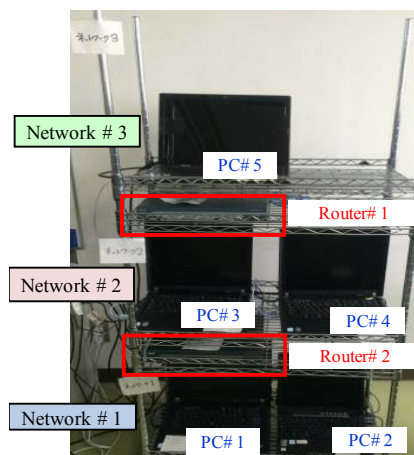


Figure 7 Established system in 2014 summer.

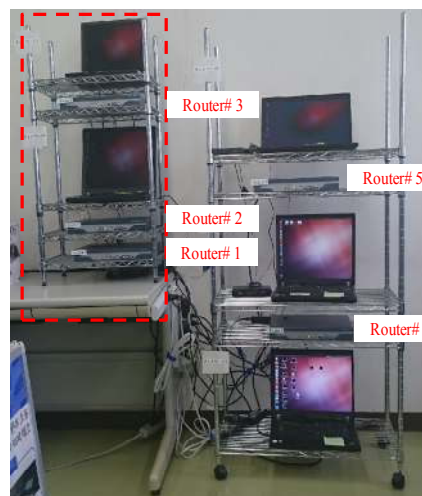


Figure 10 Established system in 2014 fall.

し、通信速度を 10Mbps とした場合の結果を図 21 に示す。通信速度が遅い、経路(10.2.2.1)を迂回して、経路(10.3.3.2)と経路(10.1.1.2)を通して PC#7 へ向かっている。このことから、コスト値の合計が小さい経路をたどっていることを確認できた。

(C) 静的と動的ルーティング(OSPF)混在

手順 1 の場合は静的ルーティングと同じように経路が途中で切れる。この時のルーティングテーブルは図 24 である。AD 値が小さい、静的ルーティングが優先されている。また、手順 4 の場合は切断された経路を迂回する OSPF と同

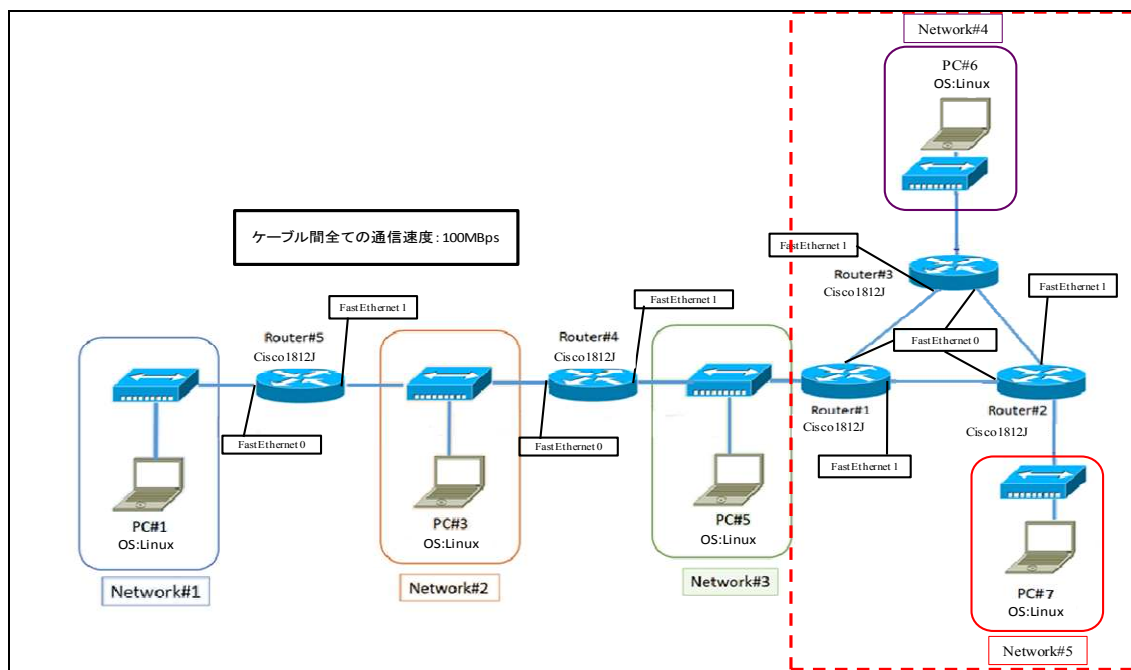


Figure 8 Physical design of the established system in 2014 fall. (Dotted part is an additional part from in 2014 summer).

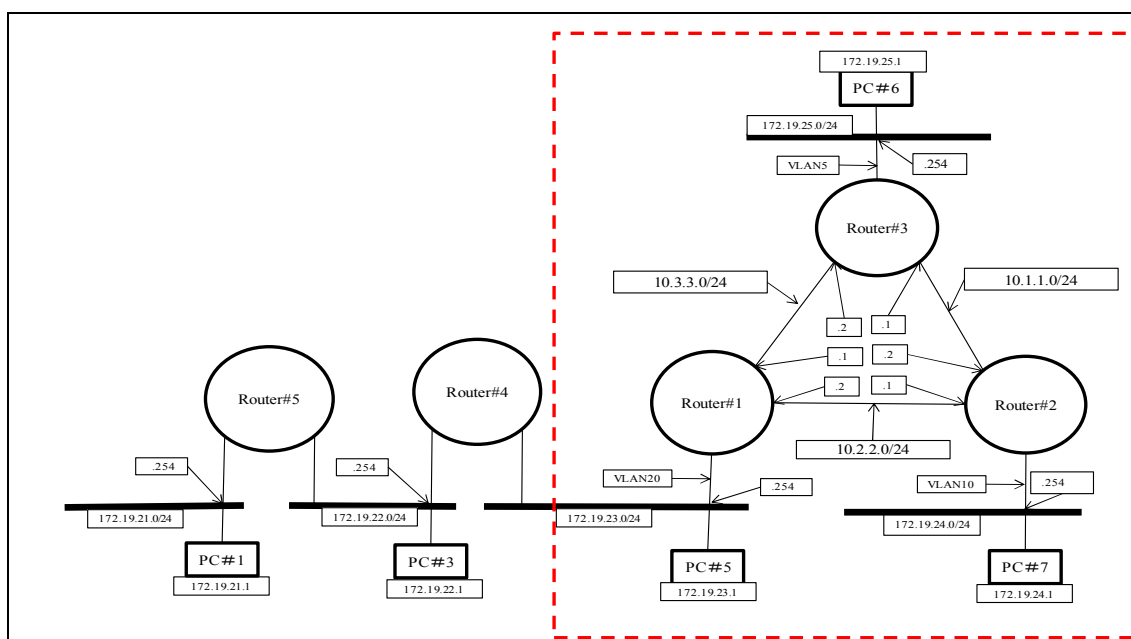


Figure 9 Logical design of the established system in 2014 fall. (Dotted part is an additional part from in 2014 summer).

じことがわかる。この時のルーティングテーブルは図 25 である。静的ルーティングの AD 値が OSPF よりも大きくなり、OSPF が優先されている。

4. むすび

毎年、所属高専の低学年において実施されている事例研究のテーマとしてネットワークを取り上げ、ネットワーク技術の体系化を試みている。本稿では、ネットワーク教育に対する一考察を示した後、実際に数年間構築してきた実験システムの変遷、設計、検証結果を示し、その有効性を示した。今後の課題は、ネットワーク技術に関して理解を

深化、体系化し、本稿での報告をふまえ、実際の授業カリキュラム、シラバス、ループリックを作成することである。さらに、継続して事例研究を通じてネットワーク設計、構築の実際について事例を蓄積していく。

謝辞

本学ミニ研究や卒業研究を通じて、本研究に参画、実施してくれた学生諸氏に感謝します。日頃、ネットワーク技術に関して有意義な議論をさせて頂いているソフトバンク(株) 友田亘氏に深謝致します。


```
Router(config)#ip route 172.19.24.0 255.255.255.0 10.2.2.1
Router(config)#ip route 172.19.25.0 255.255.255.0 10.3.3.2
```

Figure 11 Static routing setting command of router1.

```
Router(config)#ip route 172.19.23.0 255.255.255.0 10.2.2.2
Router(config)#ip route 172.19.25.0 255.255.255.0 10.1.1.1
```

Figure 12 Static routing setting command of router2.

```
Router(config)#ip route 172.19.23.0 255.255.255.0 10.3.3.1
Router(config)#ip route 172.19.24.0 255.255.255.0 10.1.1.2
```

Figure 13 Static routing setting command of router3

```
(config)#router rip
(config-router)#version 2
(config-router)#network 10.0.0.0
(config-router)#network 172.19.0.0
```

Figure 14 RIP setting command of router.

```
Router(config)#router ospf 1
Router(config-router)#network 10.2.2.0 0.0.0.255 area 0
Router(config-router)#network 10.3.3.0 0.0.0.255 area 0
Router(config-router)#network 172.19.23.0 0.0.0.255 area 0
```

Figure 15 OSPF setting command of router1.

```
Router(config)#router ospf 1
Router(config-router)#network 10.1.1.0 0.0.0.255 area 0
Router(config-router)#network 10.2.2.0 0.0.0.255 area 0
Router(config-router)#network 172.19.24.0 0.0.0.255 area 0
```

Figure 16 OSPF setting command of router2.

```
(config)#router ospf 1
(config-router)#network 10.3.3.0 0.0.0.255 area 0
(config-router)#network 10.1.1.0 0.0.0.255 area 0
(config-router)#network 172.19.25.0 0.0.0.255 area 0
```

Figure 17 OSPF setting command of router3.

```
Router(config)#ip route 172.19.24.0 255.255.255.0 10.2.2.1
Router(config)#ip route 172.19.25.0 255.255.255.0 10.3.3.2
```

Figure 18 AD value setting command.

```
dent2@ylab-client2:~$ ping 172.19.24.1
172.19.24.1 (172.19.24.1) 56(84) bytes of data:
from 172.19.24.1: icmp_req=1 ttl=62 time=1.03 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=2 ttl=62 time=0.920 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=3 ttl=62 time=0.941 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=4 ttl=62 time=0.892 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=5 ttl=62 time=0.911 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=6 ttl=62 time=0.900 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=7 ttl=62 time=0.887 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=8 ttl=62 time=0.901 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=9 ttl=62 time=0.889 ms
from 172.19.24.1: icmp_req=10 ttl=62 time=0.905 ms

172.19.24.1 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 900ms
avg/min/max = 0.887/0.977/1.633/0.222 ms
```

Figure 19 Ping result for the static routing.

```
ylab-student2@ylab-client2:~$ traceroute 172.19.24.1
traceroute to 172.19.24.1 (172.19.24.1), 30 hops max, 60 byte packets
1 172.19.23.254 (172.19.23.254) 0.609 ms 0.609 ms 0.694 ms
2 10.2.2.1 (10.2.2.1) 0.913 ms 0.907 ms 1.100 ms
3 172.19.24.1 (172.19.24.1) 0.823 ms 0.815 ms 0.804 ms
ylab-student2@ylab-client2:~$
```

Figure 20 Traceroute result for the static routing.

```
ylab-student2@ylab-client2:~$ traceroute 172.19.24.1
traceroute to 172.19.24.1 (172.19.24.1), 30 hops max, 60 byte packets
1 172.19.23.254 (172.19.23.254) 0.692 ms 0.685 ms 0.771 ms
2 172.19.23.254 (172.19.23.254) 0.882 ms !H * *
ylab-student2@ylab-client2:~$
```

Figure 21 Traceroute result when the line is cut.

```
ylab-student2@ylab-client2:~$ traceroute 172.19.24.1
traceroute to 172.19.24.1 (172.19.24.1), 30 hops max, 60 byte packets
1 172.19.23.254 (172.19.23.254) 0.643 ms 0.627 ms 0.676 ms
2 10.2.2.1 (10.2.2.1) 0.907 ms 0.896 ms 1.143 ms
3 172.19.24.1 (172.19.24.1) 0.814 ms 0.813 ms 0.802 ms
ylab-student2@ylab-client2:~$
```

Figure 22 Traceroute result of the static RIP.

```
ylab-student2@ylab-client2:~$ traceroute 172.19.24.1
traceroute to 172.19.24.1 (172.19.24.1), 30 hops max, 60 byte packets
1 172.19.23.254 (172.19.23.254) 0.573 ms 0.615 ms 0.690 ms
2 10.3.3.2 (10.3.3.2) 0.788 ms 0.788 ms 0.778 ms
3 10.1.1.2 (10.1.1.2) 1.193 ms 1.186 ms 1.403 ms
4 172.19.24.1 (172.19.24.1) 0.730 ms 0.721 ms 0.745 ms
ylab-student2@ylab-client2:~$
```

Figure 23 Traceroute result of the static OSPF.

```

  0 172.19.25.0 [1/0] via 10.3.3.2
  0 172.19.24.0 [1/0] via 10.2.2.1
  C 172.19.23.0 is directly connected, Vlan20
  0 172.19.22.0 [110/2] via 172.19.23.253, 00:04:46, Vlan20
```

Figure 24 Select static Routing routing table

```

  0 172.19.25.0 [130/0] via 10.3.3.2
  0 172.19.24.0 [110/2] via 10.2.2.1, 00:00:41, FastEthernet1
```

Figure 25 The one of the OSPF routing table

参考文献

- [1] 2010 年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書—技術者個人向け調査—, 経済産業省商務情報政策局情報処理復興課, 平成22年6月.
- [2] 福田明, 基礎通信工学 第2版, p7, 森北出版株式会社.
- [3] 勝山智男, 大庭勝久, 大沼巧, 鈴木正樹, 松田伸也, 押川達夫, “ミニ研究導入に向けた取り組み”, 沼津工業高等専門学校研究報告, 第47号, 2013.1.
- [4] 神谷幸宏, “C言語によるデジタル無線通信技術”, コロナ社, 2013.
- [5] <https://www.nsnam.org/>
- [6] 竹下隆史, 村山公保, 荒井透, 荻田幸雄, マスタリング TCP/IP 入門編 第5版, Ohmsha, 2012.
- [7] 井口信和, ネットワーク 目に見えない仕組みを構成する技術, 森北出版社, 2015.
- [8] みやたひろし, インフラ/ネットワークエンジニアのためのネットワーク技術&設計入門, SB Creative, 2013.
- [9] 峰野博史, 静岡大学情報学部 CS-B3 ネットワークプログラミング&情報科学実験 I 資料
- [10] 安孫子悠, 安齊和音, 稲葉巧, 山崎悟史, (独)沼津高専 2012 年ミニ研究発表会ポスター
- [11] 宮岸貴之, 志村秀, 桑原悠太, 山崎悟史, (独)沼津高専 2013 年ミニ研究発表会ポスター
- [12] <http://www.cisco.com/web/JP/product/hs/routers/c1812j/index.html> (Cisco 社ホームページ)
- [13] 加藤侑津希, 田中哲太, 野本大喜, 山崎悟史, (独)沼津高専 2014 年ミニ研究発表会ポスター
- [14] 井上博之, “IP ネットワーク設計演習”, 近代科学社.
- [15] <http://rcl.it.aoyama.ac.jp/router-net/index.html> (青山学院大学理工学部 情報ネットワーク演習)
- [16] 野本大喜, 山崎悟史, “リング状ネットワークの構築と動的ルーティングの適用効果”, 富士山麓 アカデミック&サイエンスフェア 2014, P38(B-9), 2014.11.25.
- [17] 中西雄紀, “教育用ネットワークシステムの開発 - システム構築とルーティング実装 -”, 沼津高専制御情報工学科 2015 年度卒業論文, 2015.3.
- [18] 山内健治, シスコ技術者認定教科書 CCENT/CCNA Routing and Switching ICND1 編 テキスト&問題集 [対応試験]100-101J/200-120J 初版, 株式会社翔泳社