

IP 通信ネットワークの理解に役立つ 工学実験教材の開発について

梶 久夫*

The Development of Technical Experiment Program for Better Understanding of IP Communication Network

Hisao KAJI

Synopsis

The INTERNET is prevailing. Mail and web browsing are indispensable both in business and our daily life in recent years.

IP(Internet Protocol) is communication procedure which is used not only in the INTERNET, but also in business network provided by communication carrier. Furthermore, public telephone network is shifting from TDM(Time Division Multiplex) to IP network.

Thus IP is becoming key communication technology, which should be studied by students in our school. In order to respond to these needs, this experimental program was developed in 2006 FY and introduced to our curriculum in 2007 FY.

This paper describes how experimental network designed and IP packet visually observed by network analyzer.

1. まえがき

インターネットに使用される通信方式である IP 通信ネットワークの理解に役立つ実験教材について平成 18 年度に開発し、19 年度から 5 学年の工学実験項目「IP 通信プロトコルの観測」として導入したので概要を紹介する。

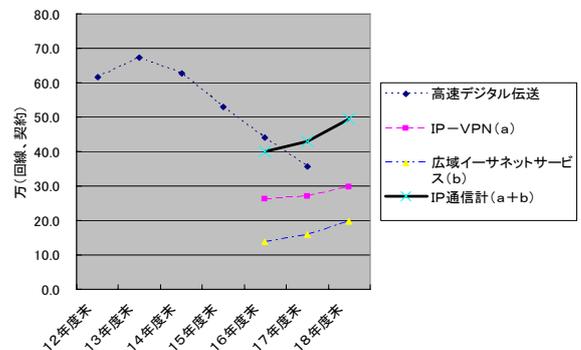
2. 本実験テーマ開発の背景

近年、インターネットは日常生活や社会経済活動に欠かすことができなくなっており、IP 通信ネットワークはインターネットの基盤として重要な役割を果たしている。

通信ネットワークの歴史を眺めてみると、通信方式はアナログからデジタルへそして今後は IP (インターネット・プロトコル, TCP/IP という言い方もあるが、ここでは IP と呼ぶことに

する) 通信方式が主流になりつつある。

筆者の通信事業会社での経験からすると、平成 10 年頃においては企業のコンピュータ・ネットワーク用の伝送回線は高速デジタル回線 (TDM; 時分割多重) からフレームリレーや ATM 回線などの (広い意味での) パケット通信方式に移行する状況にあった。



(注) 平成 19 年版総務省情報通信白書データより作成

図 1 企業用通信における IP 通信の伸び

*情報通信工学科

一方、その頃から日本においてインターネットの利用者数が伸び始め、通信事業会社においてはIP通信方式によるインターネット接続用のアクセス回線の整備がスタートした。

インターネットではIP通信方式が使用されているが、パケット通信方式の一種であるが故に通信料金が格段に安く、これが現在、インターネットが急成長している最も大きな理由の一つといえる。

ところで、企業用通信ネットワークは回線料金の安さに加え品質や信頼度、セキュリティの確保が要求される。公衆用のインターネットと共用したのではこれらに関して十分保障されないので、企業通信ネットワークはインターネットと同じIP通信方式を用いるものの、基本的にインターネットとは独立したネットワークが構築される。それが現在、企業用IP通信回線として伸びが著しい広域イーサネットサービスやIP-VPNと呼ばれるものである。(図1)

また、家庭においては最近FTHの導入も始まっており、通常のインターネット接続のほかにはIP電話も使えるようになってきた。

このようなことから企業や家庭向けの通信サービスにおいてもIP通信方式が主流となる時代になりつつあり、教育現場においてはIP通信に対応できる人材を育成することが喫緊の課題と考えたことが本実験テーマ開発のきっかけである。

3. 情報通信工学科でのIP通信関係教育の現状

IP通信ネットワークの授業については現在、座学として18年度より「計算機ネットワークI」がスタートしている。ここではコンピュータソフトを用いたネットワーク・シミュレーションが座学の補助として使用されている。また、インターネットについて「電気通信システムA」や「データ通信」においても学習項目の一つとして実施している。

学生がIP通信ネットワークについてより深い理解をするには、実際にIP通信ネットワークを構築し、IP通信についてのさまざまな実験することが望ましい。このため、筆者は16年度から始めた卒研テーマの中でこうしたIP通信に関するテーマが開発できないか模索していたが、18年度に学生実験を開設できる教材がほぼ出来上が

ったので、19年度から5学年を対象に、週4時間×3回の工学実験として試行導入し、20年度から一部内容を充実し(ルータの設定を追加)、週4時間×4回の実験として本格導入している。

4. 実験環境整備の考え方

本実験に使用するネットワークは以下の考えに基づき設計している。

①実際のIP通信ネットワークを使用した実験は利用者へのサービスに支障を与えたり、セキュリティ上の問題を起こす可能性があるため、実験専用のネットワークを構築し、IPアドレスはプライベートアドレスを使用する。

②一方、実験用のネットワークは現実のインターネットとルータを経由して接続し、一定のセキュリティを確保しながら、インターネットとの間でさまざまな実験ができる環境とする。

本実験ネットワークの構成を図2に示す。これは3つのローカルなネットワーク(LAN A, B, C)からなっている。この3つのLANはルータA, B, Cを経由してWAN回線で相互接続される。このうちLAN CからはルータDを経由して学内LANさらにインターネットに接続し、3つのどのLANからもインターネットへの接続が可能な構成にしている。

商用のネットワークと比べてみると、個々のLANはオフィスビルや学校構内などのLANに、また、WAN回線部分は通信事業者が提供する通信回線にそれぞれ該当している。このネットワークは小規模ではあるが、IP通信の基本機能を備えていると言える。

特にこのネットワークではWAN回線にイーサネットを使用しているため、LANアナライザ(後述)によりWAN回線に流れるパケットが観測可能である(このアナライザはシリアルケーブル、ATMあるいはFRでWAN回線を構成するとWAN回線上のパケットの観測はできない)。また、前述の広域イーサネットサービスにおいてはWAN回線もイーサネット方式になっていることやインターネット接続業者(ISP)の相互接続ポイント(IX)ではイーサネット方式で接続されるため、シンプルではあるが、現実のWAN回線に近い環境での実験といえる。

ネットワークのノードに設置されるルータ、スイッチングハブは市販品を導入し、経済的かつ簡

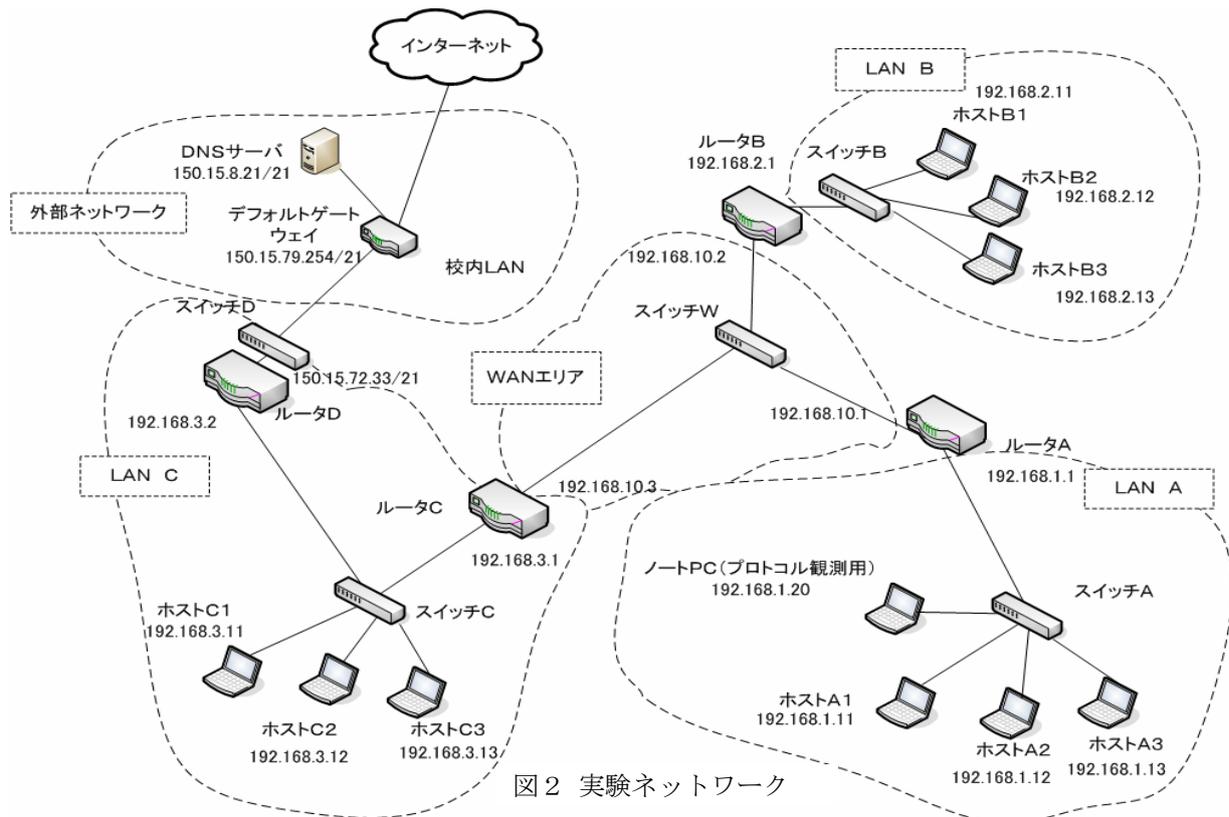


図2 実験ネットワーク

易に実験ネットワークが構築できるようにした。このうちルータはブロードバンドルータを導入し、LAN側ポート1個、WAN側1個の単純なものである。WAN側は行き先ルートが1個に限られるものの、スイッチングハブをWANネットワークの中核に設置することにより任意の複数の経路へ接続できるところがこのネットワークで工夫したところである。

この実験の主たる目的であるネットワークに流れるパケット観測のために市販のLANアナライザソフトウェアを導入した。これはパソコンに当該ソフトを搭載しネットワークに流れるパケットをLANインターフェイスからプロミスキュアスにパソコン内にキャプチャ(捕捉)し、ソフトウェア処理により、パケットのヘッダ部やデータ部の内容を視覚的に表示できるものである。

観測対象のネットワーク機器は図2を見るとわかるように必ずスイッチングハブに繋がっているので、スイッチングハブにミラーポート設定をすることにより、当該ネットワーク機器のポートに出入りするパケットをキャプチャできるようにしている。

本実験ネットワークは第一学科棟情報ネットワーク演習室内に構築し、演習室内の9台のデスクトップパソコンをネットワーク端末として利用

するようにしている。

本実験に使用する主要なネットワーク機器は以下のとおりである。

- ・スイッチングハブ allied Telesis 社製
Centre COM FS808TP V1 5台
- ・リピータハブ NEC社製
STACK HUB-EH10S/16 2台
- ・ルータ ヤマハ社製
RT57i 4台
- ・ホストコンピュータ パソコン工房 社製
OS ; WINDOWS XP 9台
- ・LANアナライザ
パケット分析用ソフトウェア
アステック社製 1個
パケットプロトコル観測端末
ノートPC DELL 社製 1台
OS ; WINDOWS XP

5. 実験項目の概要

IP通信の機能はOS I参照モデルの7層に分けると理解しやすい。このため実験ではLANアナライザにより各階層に関係するパケットのヘッダ部を観測し、ヘッダ部の個々のフィールドの内容を抽出する。抽出結果をRFCに規定されるル

ールと照合して正当性を確認し、データシートに記録整理する作業を通じて I P 通信の原理が理解できるようにした。

学生は実験手順書を見ながら実験を進めていくが、学生へは実験に入る前に 3 時間程度、パワーポイントスライドにより、各実験項目について概要やネットワーク機器の設定方法のヒントとなる説明をしておき、できるだけ自律的に実験を進めることを指向する。以下、実験項目の概要を時間的な流れに基づき記述する。

5.1 実験用 I P 通信ネットワークの構築

- (1) まず学生に自らの手で LAN ケーブルを作製させ、ケーブルの構造を理解させる。[レイヤ 1 の理解]
- (2) 図 2 を見ながらネットワーク機器を LAN ケーブルで結線する。
- (3) 9 台のホストコンピュータに所要の設定をする。(I P アドレス、デフォルトゲートウェイ、DNS サーバの I P アドレスの設定方法はグループで議論させる。)
- (4) 4 つのルータにホストコンピュータから RS-232C ケーブル経由で所要の設定をさせる。(LAN 側・WAN 側インターフェイス、ルーティングテーブル、NAT 機能の設定方法はグループで議論させる)

```

ip route default gateway 192.168.3.2
ip route 192.168.1.0/24 gateway 192.168.10.1
ip route 192.168.2.0/24 gateway 192.168.10.2
ip lan1 address 192.168.3.1/24
ip lan2 address 192.168.10.3/24
    
```

図 3 ルーティングテーブル設定 (ルータ C の場合)

- (5) PING コマンドにより同一 LAN 内、3 つの LAN 相互間、DNS サーバまでのネットワーク接続の正常性を確認後、ホストコンピュータのブラウザからインターネットのサイト画面が閲覧できることを試験する。(OS I 参照モデルでいうとレイヤ 1 から 7 まで実験ネットワークが正常に機能していることが確認できたことになる)

5.2 レイヤ毎の I P 通信プロトコルの観測

ここでは以下の項目について、ネットワークに流通するパケットをキャプチャし、レイヤ毎のプロトコル観測を行う。

[レイヤ 2 ~ 7 の理解]

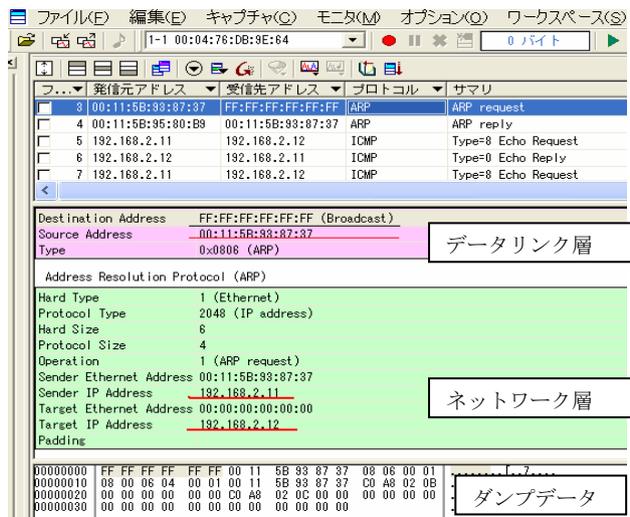


図 4 LAN アナライザ画面 (ARP パケット観測例)

- (1) 同一 LAN 内のホストコンピュータ間で通信するにはイーサネットフレームの MAC アドレスが使用される。I P アドレスから MAC アドレスを見つける方法を ARP パケット観測により理解する。
- (2) 異なる LAN のホストコンピュータ間で通信する場合、LAN, WAN それぞれのセグメントにおいて所要のフレームにカプセル化させて I P データグラムが転送される。各セグメントにおける MAC アドレスの付け替え状況をイーサネットフレームの観測により理解する。
- (3) 特定のインターネット・サイトに接続し、データリンク層 (イーサネット)、ネットワーク層 (I P)、トランスポート層 (TCP) のヘッダ部のフィールド構成およびアプリケーション層 (HTTP) のデータを観測し、各レイヤのヘッダ構造を理解する。観測対象としてサマリ部が上りは

Request:GET/HTTP/1.1

下りは

Response:HTTP/1.1 200 OK

のパケットを選択する。

5.3 ネットワーク機器の主要機能の理解

主要ネットワーク機器であるルータ、スイッチングハブの機能をパケット観測により理解する。

- (1) スイッチングハブの機能

同一 LAN 内におけるハブの機能としてスイッチングハブとリピータハブを交互に入れ替え、PING パケットの他ポートへの漏れ状況について比較し、スイッチングハブのコリジョン・ドメインの分割状況を理解する。

フ...	発信元アド...	受信先アド...	プロトコル	サマリ	長さ	相対時間	デルタ時間
5	192.168.2.11	www.ijj.ad.jp	HTTP	Request: GET / HTTP/1.1	425	0.079317	0.000868
6	www.ijj.ad.jp	192.168.2.11	TCP	S=80 D=1067 SED=2657079992 AC...	60	0.124110	0.044793
7	www.ijj.ad.jp	192.168.2.11	HTTP	Response: HTTP/1.1 200 OK	1514	0.137413	0.013303
8	www.ijj.ad.jp	192.168.2.11	HTTP	Unknown Response	1514	0.138790	0.001376
9	192.168.2.11	www.ijj.ad.jp	TCP	S=1067 D=80 SED=2657079992 AC...	60	0.139167	0.000193
10	192.168.2.11	www.ijj.ad.jp	TCP	S=1068 D=80 SED=2657079992 AC...	60	0.139544	0.000845
11	www.ijj.ad.jp	192.168.2.11	HTTP	Unknown Response	1514	0.139247	0.040818
12	www.ijj.ad.jp	192.168.2.11	HTTP	Unknown Response	1514	0.191057	0.001810

Hypertext Transfer Protocol (HTTP 1.1)	
Response	HTTP/1.1 200 OK
Date	Thu, 01 Nov 2007 05:08:49 GMT
Server	Apache
Last-Modified	Wed, 31 Oct 2007 02:03:16 GMT
ETag	"22c4e7-5d87-56326100"
Accept-Ranges	bytes
Content-Length	15751
Content-Type	text/html
Via	1.1 www.ijj.ad.jp
Message Body	1218 octet(s)
<pre><!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C/DTD HTML 4.01 Transitional//EN" "http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd"> <html lang="ja"> <head> <meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=shift_jis"> <meta http-equiv="content-style-type" content="text/css"></pre>	


```
00000000 00 11 5b 93 87 37 00 40 de 3f a3 a6 08 00 45 00 ...[.?.?...E.
00000010 05 dc fd 80 00 00 31 06 88 08 d2 82 83 50 c0 a8 ...l.h...F.
00000020 02 0b 00 50 04 2b 9e 5f d2 38 ac a6 82 7a 50 10 ...P.+.....F.
00000030 19 20 de 43 00 00 48 54 54 50 2f 31 2e 31 20 32 ...C..HTTP/1.1 2
00000040 30 30 20 4f 4b 0d 0a 44 81 74 85 3a 20 54 68 75 00 OK..Date: Thu
00000050 2c 20 30 31 20 4e 6f 76 20 32 30 30 37 20 30 35 ...01 Nov 2007 05
00000060 3a 30 38 3a 34 33 20 47 4d 54 0d 0a 53 65 72 76 :08:49 GMT..Serv
00000070 65 72 3a 20 41 70 61 63 68 65 0d 0a 4c 61 73 74 err: Apache..Last
```

図 5 LAN アナライザ画面 (HTTP プロトコル観測例)

(1) PING コマンド

実験ネットワークに LAN ケーブル断線区間を作り、PING コマンドにより障害箇所の特定制訓練をさせる。

(2) TRACERT コマンド

ホストコンピュータよりインターネット上の任意のサイトに TRACERT コマンドを送出し、エコーが帰ってくるルータ群を観測することによりネットワークの正常範囲を特定できることを理解する。

6. 19 年度試行結果について

19 年度試行した実験について学生にアンケートにより意見を聞いたところ、興味を持って実験に取り組めたことや IP 通信に関する知識が深まったという良好な反応が得られ、学生のインターネットに対する関心の深さがうかがい知ることができた。

(2) ルータの機能

(i) MAC アドレス解決の必要な状況を作り、ブロードキャストパケットの一つの例である ARP パケットが同一 LAN 内のホストコンピュータ、ルータの LAN 側には流れるが、ルータの WAN 側に流れないことを観測させ、ルータのブロードキャストドメイン分割機能を理解する。

(ii) リモートサイトにあるホストコンピュータより TELNET コマンドでルータ内部のルーティングテーブルを観測し、設定内容の確認や変更ができることを理解する。

(iii) 任意の 2 台のホストコンピュータより異なるインターネット・サイトに同時接続したときの IP アドレスおよびポート番号について、プライベートとグローバル間の双方向への変換状況を観測し、NAT 機能を理解する。

(3) DNS サーバの機能

ホストコンピュータからインターネット・サイトに接続したときの DNS による URL の IP アドレスへの変換状況をパケット観測により理解する。

5.4 ネットワーク障害対応用コマンドの習得

IP ネットワークで障害が発生したとき、問題発生区間の切り分けを行うためのコマンドを習得する。

7. おわりに

学生は IP 通信に関する知識がほとんどない段階でこの実験に取り組むことになる。実験手順書を見ながら学生が自律的に実験を進めることが理想と考えているが、実態は場面、場面で教員の指導が多かれ少なかれ必要となっている。実験の事前説明や実験手順書についてさらに改善していくことが課題と考えている。

本実験教材は 16 年度、17 年度、18 年度の卒研生に IP 通信プロトコルの分析に関するテーマを研究させ、得られたデータを元にして開発することができた。学生の協力に感謝したい。

本実験テーマが、学生の IP 通信の理解に少しでも役立つことを切に願っている。

参考文献

(1)村嶋修一, “TCP/IP エキスパートガイド” (株秀和システム(2003)
 (2)Todd Lammle, “Cisco CCNA 認定ガイド”, 日経 B P 社(2005)
 (3)大羽康仁, “現場で使えるパケット解析テクニック”, アスキー社(2007)
 (4)小高知宏, “基礎からわかる TCP/IP アナライザ作成とパケット解析”, オーム社(2002)