

## PC-UNIX による校内ネットワーク分割方式 ～専用ルータとの性能比較～

岡田 公洋

Masahiro Okada

mokada@cs.reitaku-u.ac.jp

麗澤大学国際経済学部国際経済学科

概要：学校内にネットワークを構築する場合に考慮せねばならない点として、授業での一斉利用への配慮、セキュリティ、低コスト、運用・管理の簡便さ、に関する問題などがある。これらの問題を実践的に検討するために、KIU では PC-UNIX で構成したルータ、キャッシュサーバを導入し、校内 LAN を構築している。ここで、この PC-UNIX の性能が問題になると思われる。本論においては、PC-UNIX のルータ機能に関して検討した。小規模な LAN 環境を実験的に構築し、ファイル転送を行い、転送速度についての性能評価を行った。また、専用ルータとの比較も行った。その結果、専用ルータと比較して廉価な PC-UNIX を用いたルータでも学校環境の中で実用可能であることが示された。

キーワード:校内 LAN,PC-UNIX,KIU,地域教育ネットワーク

### 1. はじめに

接続している各校のネットワーク環境やこれからの実際の授業等での実用を考えると、

- 一斉アクセスに耐えられる利用環境
- 機器やソフトウェアの安定性
- 運用・管理の簡便さ
- 低コスト
- セキュリティへの考慮

などが要求されることになる。

これらの問題を実践的に検討するために、KIU では PC-UNIX で構成したルータ、キャッシュサーバを導入し、校内 LAN を構築している。

ここで、この PC-UNIX の性能が問題になると思われるが、本研究では、PC-UNIX のルータ機能に関して検討することとした。小規模な LAN 環境を実験的に構築し、ファイル転送を行い、転送速度についての性能評価を行った。また、専用ルータとの比較も行った。本報告では実験の概要と結果について報告すると共に、実際に学校ネットワークへの適用を考えた場合の問題点について議論する。

### 2. のぞみプロジェクト

平成 10 年度より、文部省・郵政省の共同事業として、学校インターネット高度化モデル

地域プロジェクト<sup>1</sup>が3年間の予定で開始された。この事業ではこれまでよりも高速な通信経路として 1.5Mbps 程度の専用線その他、CATV<sup>2</sup>や ADSL<sup>3</sup>、WLL<sup>4</sup>、衛星回線といった様々な接続形態でのネットワークが構築された。

柏市では、本プロジェクト以前から、学校へのネットワーク導入が計画的に進められているが、同時に本プロジェクトにも地区指定された。柏の地域では、この事業を「のぞみプロジェクト」の愛称で呼んでいる。

KIU はこれらのネットワーク構築に関する設備支援や運用支援を行っていき、従来からの ISDN による LAN 間接続の環境において、特に一斉授業でのアクセス速度の問題に対応

<sup>1</sup> プロジェクトの正式名称は、「先進的教育用ネットワークモデル地域事業（文部省）」、「学校における複合アクセス網活用型インターネットに関する研究開発（郵政省）」である。

<sup>2</sup> ケーブルテレビ網を利用したインターネット接続サービス。映像伝送に使わない帯域を用いて双方向通信を行う。

<sup>3</sup> Asymmetric Digital Subscriber Line  
電話局から各家庭や事業所まで引かれている、加入者電話回線（Subscriber Line）を利用して、数 M～十数 Mbps の高速データ通信を可能にする通信方式。

<sup>4</sup> Wireless Local Loop  
準ミリ波帯・ミリ波帯を利用し電波を連続中継して届ける無線アクセスシステム。

するために校内にキャッシュサーバを導入してきた。

のぞみプロジェクトでは、さらに校内 LAN における問題点、特にセキュリティ面での配慮から校内 LAN を職員室系の LAN と教室系の LAN とに 2 分割する方式を導入している。その手段として PC-UNIX によるルータ、キャッシュサーバを利用した。

### 3 . PC-UNIX サーバの機能と役割

#### 3.1キャッシュ機能

学校でのネットワーク環境では、各学校の教室に 40 台程度の PC が設置されることになる。

PC 教室で授業をおこなう環境では、一斉に同一 URL へのアクセスが発生することがある。このトラフィックに対応するためには、学校側にキャッシュサーバを設置する必要がある。キャッシュサーバは一旦キャッシュしたものを再利用するため、すでにキャッシュしてあるものはサーバがその内容を応答することとなる。従って、事前に授業用のコンテンツをキャッシュしてしまえば、授業中に回線を利用することなく利用することが可能となる。しかし、一般的に CGI 等を含む html を、キャッシュプログラムはキャッシュしない。これは、そのようなコンテンツはアクセス毎に内容が異なるためである。そのようなページも全てキャッシュする必要がある場合には、最新の情報を得ているかどうかの確認が常に必要となる[1]。

#### 3.2ルータ機能

単純に同一のネットワークに PC の接続したネットワークを構築すると、教員の使用するコンピュータ内部の個人情報や生徒の成績などが生徒の利用する PC から閲覧することが可能になってしまう場合がある。

そこで、柏地域では校内ネットワークを職員室系の LAN と教室系の LAN とを別ネットワークに分割することとなり、その手段として PC-UNIX をルータとして使用することとした。

#### 3.3その他

また、その他の機能として以下に示す。

- メールサーバ
- POP サーバ
- DNS サーバ
- ネットワーク管理用マシン、等

### 3.4PC-UNIX機の構成

小学校用の PC-UNIX サーバは、それぞれの小学校からパソコンを持ち込み、中学校用の PC-UNIX サーバは、KIU からの貸与品である。

表 1 は、小学校及び中学校用の PC のハードウェア仕様である。

表 1 PC の仕様

	小学校用	中学校用
マシン	富士通製 FMV5266	富士通製 FMV499D3
CPU	AMD-K6	486DX2
Clock	266MHz	66MHz
Memory	32MB	24MB
HardDisk	3GB	500MB
NIC	ISA x 1+onBoard	ISA x 2

### 4 . PC ルータにおけるデータ転送実験

PC-UNIX によるルータの性能評価を目的として、以下の要領で実験を行った。

#### 4.1目的

- PC-UNIX の本体 (CPU、メモリー等) と NIC の種類を変更することで、ルータとしての転送能力に差があるかどうかを調べる。
- 同様に専用ルータとの比較を行う。
- これらについて、価格等を含めた総合的な評価を行い、学校内の LAN を分割する際に必要な要件について検討する。

#### 4.2方法

##### 4.2.1条件および実験装置

のぞみプロジェクトで使用されている PC-UNIX サーバと同等の 486DX2 の CPU を搭載した PC を用意した。また、比較対象のために Pentium クラスの CPU を搭載した PC を別途用意した。

これらの PC に同じバス (ISA 及び PCI) の NIC をそれぞれ 2 枚ずつ取り付け、ハードウェア構成の異なる 4 種類の PC-UNIX ルータを使用した。

また、専用ルータとして Cisco 社製のルータを用いた。

表 2 は、実験に使用したルータの種類 (条件) である。

表 2 ルータの種類

ルータ 1	CPU:486DX2, NIC:ISA
ルータ 2	CPU:486DX2, NIC:PCI
ルータ 3	CPU:Pentium , NIC:ISA
ルータ 4	CPU:Pentium , NIC:PCI
ルータ 5	Cisco2514, IOS ver.11.0(12)

また、表 3 に実験に使用した各々の PC ルータの仕様を示す。

表 3 PC の仕様

マシン	ルータ 1, 2	ルータ 3, 4
CPU	486DX2	Pentium
Clock	66MHz	233MHz
Memory	16MB	64MB
HardDisk	696MB	4GB
NIC:ISA	エレコム社製 LD/PNE 10Mbps	
NIC:PCI	3com 社製 3c905J-TX 100Mbps	
OS	FreeBSD 3.2R	

その他に実験に使用した装置として、ファイル転送元とする FTP サーバには UNIX Workstation ( SUN Ultra60, Solaris2.6)、クライアント側のマシンは自作の AT 互換機 ( CPU:Pentium , HD:6GB, Memory:64MB, NIC:3c905J-TX, OS:Windows98 ) を使用した。また、ハブは FTP サーバ側には、10 Mbps の Switching ハブ、クライアント側には、10Mbps のシェアードハブ ( CentreCOM 社製、MR820TR ) を使用した。

#### 4.2.2 手続き

以下の手続きで実験を行った。

- ファイル転送元は、FTP サーバとした。
- ファイル転送先は、AT 互換機とした。
- 転送元と転送先は、各々のハブを経由して、PC ルータに接続した。
- 転送元、転送先のホストが接続された 2 つのネットワークを条件に応じたルータで接続した。
- ファイルの作成は、FTP サーバ上で行った。サイズは 100MB とし、形式はバイナリのものとした。データは Solalis の mkfile コマンドで作成した。
- ファイル転送には、受信側から MS-DOS プロンプト上で FTP コマンドを使用した。
- ファイル転送は常に同じファイル及びファイル名を使用した。これは、受信側にて、ハードディスクへの書き込み時間の差を無くすためである。2 回目以降は、

ファイルは必然的に上書きされる。

- ファイルの転送が完了すると、かかった時間と、1 秒あたりのデータ転送量が表示されるので、これを記録した。
- 以上を一試行とし同様の手順で 30 回ずつ計測を行った。

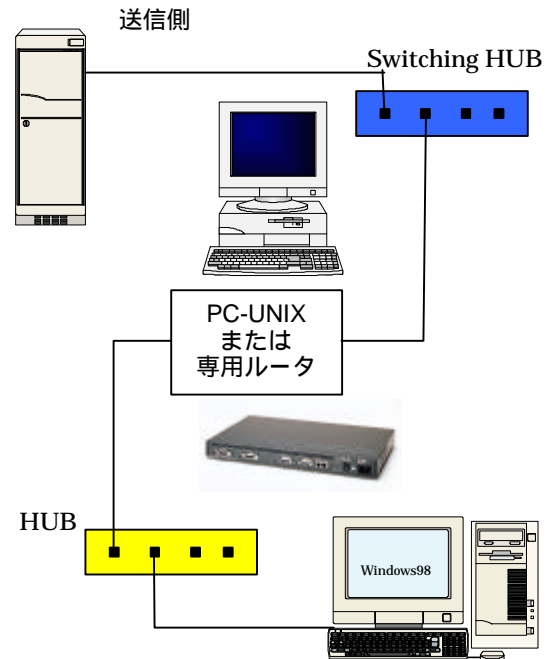


図 1 実験に使用したネットワーク環境

#### 4.2.3 実験環境

図 1 に、実験に使用したネットワーク環境を示す。

#### 4.3 結果と考察

転送速度についての、データの平均と標準偏差を表 4 に示した。この結果について、ルータの種類を要因として一元配置の分散分析を行った結果が表 5 である。分散分析の結果、条件間（ルータの種類）での転送速度間には有意な差 ( $F=30134.921$ ,  $df=4,145$ ,  $p<0.01$ ) が認められた (表 5)。

表 4 平均転送速度と標準偏差

	平均転送速度	標準偏差
ルータ 1	4,983,320	9,650.152
ルータ 2	6,372,551	21,231.640
ルータ 3	5,122,003	28,886.407
ルータ 4	6,572,869	38,474.544
ルータ 5	6,522,234	15,915.201

単位：bps

表5 分散分析表（一元配置）

要因	SS	df	MS	F 値
ルータの種類	75.232	4	18.808	30134.921
誤差	0.090	145	0.001	
合計	75.323	149		

単位：Mbps

ルータ毎の平均転送速度についてルータ別にグラフ化したものが図2である。

図2のグラフからPC-UNIXルータの転送速度に関してみると、大まかにみて、ルータ1とルータ3、ルータ2とルータ4のグループに分かれていることが見て取れる。ルータ1（CPU:486DX2）とルータ3（CPU:Pentium）は、同じISAバスのNICを使用している。両者を比較すると、CPUの違いによる差と比較して、NICの違いによる差のほうが顕著である。同様にルータ2（CPU:486DX2）とルータ4（CPU:Pentium）は同じPCIバスのNICを使用しているが、ここでも、CPUの違いによる差はNICの違いによる差より小さい。これらのことから、転送能力の面でルータ性能に影響を及ぼすのは、CPUの性能よりもむしろ、NICの種類が関係すると考えられる。すなわち、PC-UNIXでルータを構築する際には、NICの選択、特にバス仕様の選択が重要になる。

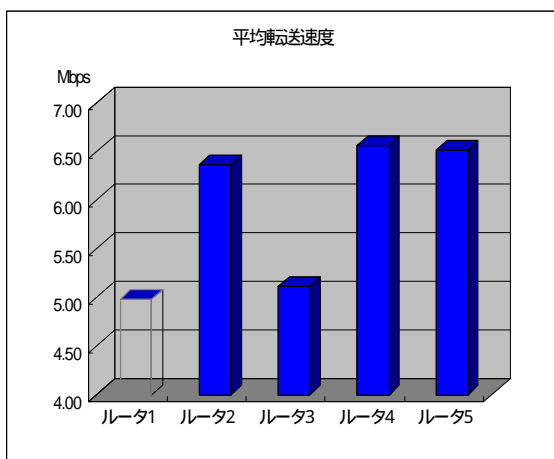


図2 平均転送速度

一元配置による分析では、ルータ間に差がある事が認められた。そこで、ルータ1からルータ4に関して、ルータ性能におけるCPUの種類による違い、およびNICの種類による違いについてさらに検討した。CPU(486DX2, Pentium)とNIC(ISA, PCI)の4つを要因として二元配置による分散分析を行った。

CPUの種類、およびNICの種類別に平均

転送速度、分散値等について表にしたものが、表6である。また、分散分析の結果を表7に示した。

表6 CPU・NIC種類別の転送速度

		486DX2	P2	合計
標本数		30	30	60
平均	ISA	4.983	5.122	5.053
分散		0.00009	0.00083	0.00535
標本数		30	30	60
平均	PCI	6.373	6.522	6.447
分散		0.00045	0.00026	0.00605
標本数		60	60	
平均	合計	5.678	5.822	
分散		0.49094	0.49901	

単位：Mbps

表7 分散分析表（二元配置）

要因	SS	df	MS	F 値
CPUの種類	0.624	1	0.624	1520.800
NICの種類	58.358	1	58.358	142305.818
CPU×NIC	0.001	1	0.001	2.213
誤差	0.048	116	0.000	
合計	59.030	119		

単位：Mbps

分散分析の結果、CPUの種類によって転送速度に有意な差があることが認められた(F=1520.800, df=1,116, p<0.01)。同様に、NICの種類によっても転送速度間には有意な差があった(F=142305.818, df=1,116, p<0.01)。

表6から、ISAのNICを使用した場合と、PCIのNICを使用した場合とを比較すると、1.4Mbps程度の転送速度差がある。また、CPUの種類については、486DX2とPentiumでは、およそ150Kbps程度の平均転送速度の差があるという事が認められる。

表6の結果について、平均転送速度をCPUの種類別にグラフ化したものが図3である。同様に、NICの種類別にグラフ化して図4に示す。

図3、4のグラフからもわかるように、CPU間の性能差によっても転送速度の差が認められる。そのため、性能のよいCPUを選択する意義は十分にあると考えられる。また、NIC間の性能差によっても転送速度の差が認められる。性能のよいPCIバス仕様のNICを選択する意義は十分にある。ただ、CPUの種類によってファイル転送速度が受ける影響は、150Kbps程度でNICのそれ(1.4Mbps)と比べてみると、小さいものである。PC-UNIX

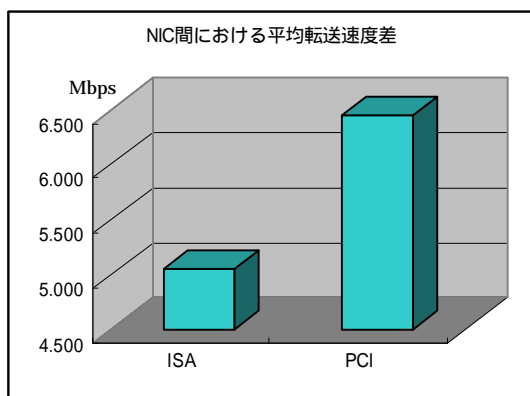


図3 NIC間における平均転送速度の差

をルータとして構築する場合、CPU性能を考慮する事は、もちろん大切である。しかし、PCIバスのNICを選択することで、CPUを高い性能のものに替える以上に高い効果が得られるという事がわかった。そのため、廉価なPCであってもPC-UNIXルータを構築する際にNICにPCIバスのものを使用するだけで、高い性能を発揮できることがわかった。

次に、ルータ5(専用ルータ)との比較を考えてみる。ルータ2およびルータ4が転送速度の面で、専用ルータとほぼ同等の性能(約6.5Mbps)を発揮できるということが認められる<sup>5</sup>。PC-UNIXにPCIバスのNICを使用すれば、専用ルータと能力的にほとんど差がないPCルータを構築できることがわかった。ただ、最もPCの仕様がよいルータ4と専用ルータを比較した場合、専用ルータの方が標準偏差の値が小さい。すなわち、専用ルータのほうが、常に安定した転送性能を発揮できていると考えることができる。この点では、PC-UNIXよりも専用ルータの方が優れている可能性がある。

しかし、ここで予算的な側面まで考慮に入れて、いわゆる価格性能比といった点を考慮する必要がある。

予算面を考えると、Cisco2514クラス(ルータ5)の場合、その商品を購入するだけで30万円程度はかかる。今回使用したルータ1、2は3年前のPCであり、今となっはいわゆる「ゴミになるPC」である。また、Pentium

<sup>5</sup> 一般的にC2514クラスのルータでの転送速度はEthernet I/F間でも2Mbps程度と言われている。本実験の環境では経路テーブルは極めて単純であり、フィルタリング等の設定も行っていない。経路情報が多数になった場合やフィルタリングの設定を行った場合については検討の必要がある。

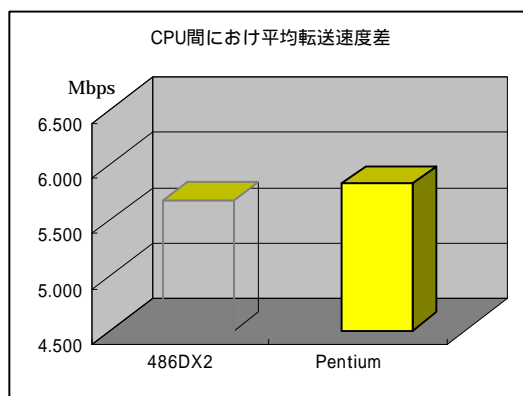


図4 CPU間における平均転送速度の差

搭載のPCでも、8万円もあれば用意することが可能である[2]。構成によっては使い古しのマシンで専用ルータとほぼ同等の性能を持つルータを構築できる。学校の少ない予算枠の中でハードウェアレベルでの20万円の価格差は大きい。

ただ、PC-UNIXを構築する際に、FreeBSDはフリーなものなので、OSのインストールなど、構築そのものにかかわる人的な費用を含んだトータルのコストを考慮する必要が出てくる。FreeBSDを利用すれば、良好なネットワーク環境をハードウェアも含めて低予算で構築することが可能であるが、フリーソフトゆえに、メーカーの保証が得られなかったり、市販のアプリケーションが手薄であるという弱点も持つことになる[3]。

PC-UNIXを導入しようと考えたと、ハードウェア自体の費用は専用ルータと比べて低く押さえられる。その反面、人的コスト等が高くなる欠点を持つ。例えば、PC-UNIXの構築には、そのためのノウハウが必要になる。

今回のPC-UNIXを構築する上で苦慮したのは、NICをOS側に認識させるという部分であった。ルータとして機能させるためには、NICを2枚必要とする。AT互換機を使う場合、ハードウェアのIRQ等の衝突は避けねばならない。ノウハウの足りなかった当初は、こういった常識的な事柄に気づくまでにかなりの時間を費やすことになった。また、NICの選択には、IRQをソフトウェアではなく、ジャンパーピンで選択できるNICを使用した。これは、IRQの設定を一目見て認識することができるという点にあった。このことがNIC交換の必要が出た場合や、作業を分担しての構築の上で役立った。細かな点ではあるが、経験せねばわからないノウハウである。

また、PCに同時に2枚のNICを有効にす

るために、「カーネルの再構築」を行う必要があった。この作業は、市販の FreeBSD 導入の本に作業手順が記されている。作業自体に問題はなかったが、カーネルの再構築に要する時間は、PC の性能に左右される。カーネルの再構築に要する時間は、CPU が 486DX2 の場合 60 分近くもかかった。しかし、CPU が Pentium の場合は、わずか 10 分程度であった。さらに、OS のインストール作業も当然必要になるが、ここでも PC の性能が作業時間に影響することになる。

このように、PC-UNIX を独自に構築しようと考え、ハードウェアの構成から OS の導入に至るまで、細かなノウハウが要求される。これらの作業をコンピュータに詳しくない者が学校内で一から行うということは現実的でない。仮に自力で構築しても、作業手順書を残すなど、技術移転を考慮に入れておく必要があるであろう。

また、PC-UNIX は補助記憶装置にディスクを用いているため安易に扱う事ができない。停電等によるディスク障害が考えられる。PC-UNIX の電源が稼働中に落ちてしまうと、ディスクに障害が出てしまうことがあり、その度にディスク交換をせねばならぬことも起こり得る。UPS などの装置を使用すれば、停電等によるディスク障害はある程度回避できるであろうが、完全ではない。

現在、のぞみプロジェクトで使用されている中学校用の PC-UNIX サーバに、一部ハードディスクの障害が発生している。今後、平均故障率等のデータを収集する必要があるが、古い PC を用いて PC-UNIX サーバを構築する際には、ディスクの交換だけでも行っておくのが望ましい。最近では、ハードディスク単体の価格も 1 万円程度の投資で大容量のものを購入する事ができる[2]。ただ、古いパソコンのマザーボードの種類によっては、大容量のハードディスクを認識できないことがあるため、注意が必要である。

これらの問題はあるものの学校内で PC-UNIX サーバを利用する利点は大きい。高額な専用ルータでも、その機器はルータとしての機能を果たすのみである。他の機能（キャッシュ等）を追加しようと考え、さらに別のマシンを構築または購入する必要がある。少ない予算の中で複数の機器を導入する事は難しいし、機器が増えれば管理も大変である。それに対して、PC-UNIX は低価格で構築することができる上、同じ機器にキャ

ッシュサーバやメールサーバなど多くの機能を持たせる事もできる。ルータとしての機能も、PC-UNIX で十分に実用可能である事が本実験により見出されている。

低予算で多くの機能を構築できる PC-UNIX サーバを導入することには意義があると言えよう。

## 5 . おわりに

今回の実験で、学校内に複数のネットワークを構築する場合、ルータが必要になるが、廉価な PC-UNIX を用いて、転送能力的には十分なルータを構築できることが見出された。さらに、PC-UNIX はルータとしての機能のほか、キャッシュサーバやメールサーバ等の多機能システムとして利用することができる。

本実験における PC-UNIX は、ルータとしてのみの機能を評価するために構築したものである。同一のシステムで多くの機能を果たす PC-UNIX を構築した場合には、ハードディスクやメモリー等、他のハードウェアによる影響を考慮に入れる必要がある。今後、それらの点についても検討する必要がある。

ただ、最近の PC の高性能化と FreeBSD 等フリーの OS の充実を考えると、それらを利用すれば、非常に小額の投資で機能の点でも性能の面でも実用可能な PC-UNIX サーバを構築することが可能と考えられる。

## 参考文献

- [1] 大塚秀治・牧野晋・久保美和子・高辻秀興・籠義樹・林英輔：ISDN による間欠 LAN 間接続の諸問題（1999）。
- [2] <http://www.reitaku-u.ac.jp/msemi/3rd/pc/jisaku/>
- [3] 浅田正・北川正一・大西淑雅・正代隆義：教育用ネットワーク OS としての FreeBSD と Windows95, 平成 9 年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp337-340（1997）。
- [4] 浅田正・北川正一・大西淑雅・正代隆義：FreeBSD Server を中心とした教育用ネットワーク環境, 平成 10 年度情報処理教育研究集会講演論文集, pp235-238（1998）。