ネットワーク実験

はじめに

ネットワーク実験開始時（第 1 回）に小テストを行います．本指導書内容に関することです．実験日前に、本指導書をよく読んで「何が分からないのか」が明確にしておいてください．また、実験データの持ち出しのために、実験当日は USB メモリを持参してください。

- 実験を実施して分かることが多数あると思います．また，それが実験の目的でもあります．分からないことは，やさしい TA などに質問してください．質問の際には，指導書の「この部分が分からない」と明示的に指摘して質問して下さい．
- 本実験には，基本的に危険はありませんので，実験グループのメンバーがそろい[1]実験時間となったら教員などの指示を待つことなく実験を開始してください．
- 最終回の実験日以外には，実験システムをそのまま実験途中の状態で放置して実験を終了してかまいません．ただし，自実験グループが使用しているクライアント計算機，オシロスコープ，電源などは適切に停止し，コンセントも抜いてください．また，本日の実験予定が終了した旨をやさしい TA などにどこまでの実験を終了したかを申告して，その日の実験終了の確認を受けてください．

1. 目的

Ethernet における実効伝送能力をさまざまな環境で計測し，実際のネットワークにおける通信能力を理解する[2]．

2. 実験概説

本実験では実効伝送能力の測定対象として、10Base-T を用いる．10Base-T の意味は，10(10Mbit/S)Base(band)-T(Twisted pair)である．最大で毎秒 10Mbit のデータを伝送することが可能である．しかし実際に伝送可能なデータ量は，伝送方法や伝送環境により大きく異なる．

本実験では，ネットワークプロトコルとして TCP/IP と UDP/IP を比較する．また，伝送環境として，直接通信を行う場合とルータを介して伝送する場合の比較を行い，雑音電圧を注入した場合に伝送性能に与える影響について調べる．

---

[1] 実験は基本的に，実験グループ全体の実験です，グループの全員が実験を目前で体験することが必要です．休みの連絡があった場合には，連絡のあったメンバーを除いて実験を実施してかまいません．また，5 分程度待っても連絡がない場合には，残りのメンバーで実験を実施してかまいません．

[2] この実験は，ネットワークを介して実際にどの程度の情報が送れるかを計測します．

コンピュータネットワーク（Ethernet）（予習）

コンピュータネットワークは，多くの階層から構成されている（表 1）．一番下は，物理層である．最近は，Ethernet では，100Base-TX および 1000Base-T 方式がよく利用されている．このとき，物理層のケーブルは，「より対線」であり，そこに流れる電気信号は，ディジタル論理値の 0/1 を電圧に割り当てて表現している．これは AM ラジオで，搬送波を振幅変調しているのと似ている．（一方 FM ラジオでは搬送波を周波数変調している．）Base の意味は，基本信号周波数（ベースバンド）のまま伝送することである. 上記物理層の上にデータリンク層として Ethernet が実現されている. Ethernet は，多重アクセスプロトコルとして CSMA/CD 方式を採用している．

表 1 OSI 参照モデル

第 7 層	アプリケーション層：ユーザが操作するインターフェース.
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：ネットワークにおける通信管理.
第 3 層	ネットワーク層：ネットワークにおいて通信経路の選択.
第 2 層	データリンク層：通信機器間の直接的な信号の受け渡し.
第 1 層	物理層：電気信号の変換等.

CSMA/CD 方式(Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)：：

Ethernet では，ホスト A から送出されたデータは，同じ Ethernet に繋がっている全ホストへ届けられる．つまり「1 対全」の通信であり，ホスト A はホスト B 宛てのデータを送出しても，関係の無いホスト C や D にも届いてしまう．つまり、任意のホスト A と B との 1 対 1 のみでの通信は不可能である．各端末を区別するためにイーサネット機器は全て固有の MAC アドレスを持つ．ホスト C および D は一旦受け取るが自分宛てのデータでない為，これを廃棄する．

また，「1 対全」の通信であるため，既にホスト A と B が通信している時にホスト C が新たにデータを送出すると，データの衝突 (コリジョン)が発生してしまう．コリジョンが発生すれば通信は成り立たない．Ethernet では，コリジョンを回避するためにデータ送出の手順が決められている．まずホストは，自分の繋がっている Ethernet 内でフレーム　(データ)が流れていないか確認する．もし既に別のホストが通信していれば，ランダムの時間だけ待って再び確認する．フレーム (データ)が流れていなければ，自分のフレーム (データ)を送出する．しかし別のホストも同時に送り出していたら，ここでコリジョンが起こる．コリジョンを検知したホストは，ランダムの時間待ち，再度同じフレームを送出する．これが CSMA/CD と呼ばれる通信方式である．

同じデータが到達するネットワークをコリジョンセグメントと言い，物理層により全体の長さが固定されている．それ以上の規模のネットワークを構築する場合，ブリッジ，もしくはそれが多ポート化したイーサネットスイッチ（スイッチングハブ），ルータ等を用いてネットワークを分割しなければならない．

ネットワークの形は，最初に標準化された 10BASE-5 や，10BASE-2 などは，バス型ネットワークを構成していたが，現在，普及している 10BASE-T や 100Base-TX および 1000Base-T などでは，スイッチを介してスター型につなぐ方式になっている．
現在では有線の Ethernet では全二重通信＋スイッチングハブが主流であり、CSMA/CD 方式は実質的に使われなくなっている。ただし、無線 LAN(Wifi) では類似の CSMA/CA(Collision Avoidance)方式により、信号の衝突を回避した多重アクセスが実現されているため、現在においても重要な概念である。

3. 実験システム[3]

実験システムは，各グループに 1 台の計算機 (クライアント)と全体で 1 台の計算機(サーバ)で構成される．各グループで見ると，目の前にある 1 台のクライアントと，少し離れた場所にある 1 台のサーバ，およびそれらを結ぶケーブルから構成される （図 1）．サーバは (図 1 右)，WindowsServer2003 で，片方向 200Mbit/s のバンド幅[4]を持っている．これをクライアント 7 台 (図 1 左，1 台のみ表示)で共有している．クライアントの実験用ネットワークインターフェースは，10Mbit/s に設定する．サーバは，各クライアントあたり，約 28Mbit/s のバンド幅を持っている．ゆえにサーバ側のバンド幅は，全クライアントの実験用ネットワーク接続からの伝送パケットを受信するのに十分である．

この実験では実験用とリモート接続用の 2 つのネットワークを使用する．前者は ping (4.1.3 参照)などのコマンドを使用してパケットを伝送するネットワーク(192.168.100.0/24)で，雑音注入装置を介してサーバに接続する．後者はサーバへリモート接続し，サーバ側の設定確認および nc，recv (4.1.3 参照)コマンドの実行などを行うためのネットワーク(192.168.200.0/24)である．上記の様に，リモート接続用に別のネットワークインターフェースが準備されているため，実験用ネットワーク接続はリモート接続の影響を受けない[5]．

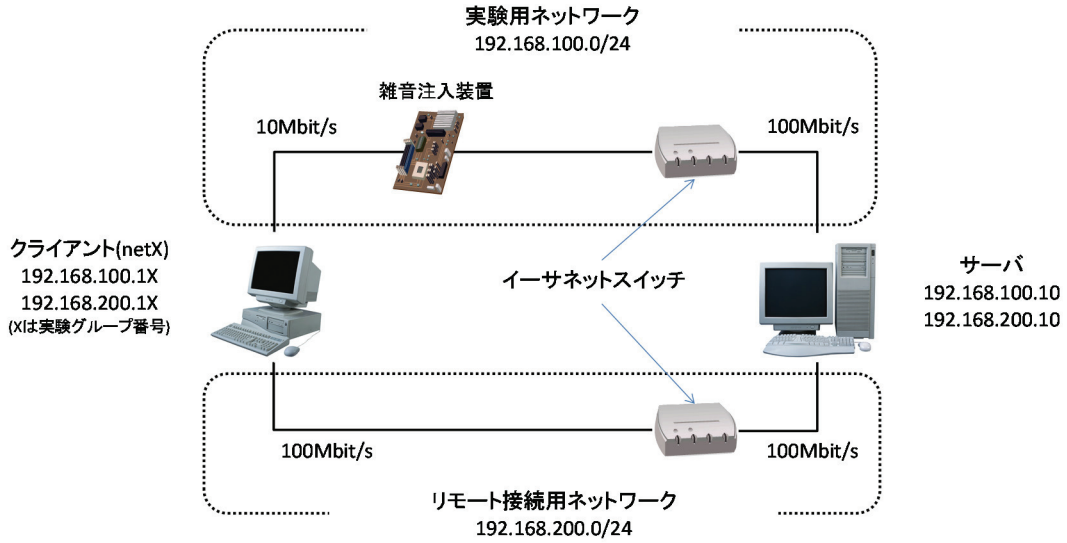

図 1 ネットワーク実験システム　物理構成図

[3] 実験システムは，意図的なノイズ注入を行う実験などでネットワークの健全性を阻害する可能性があるために、大学のネットワークには一切接続されていません．データなどを回収記録するために USB メモリなどを利用してください．

[4] 伝送可能な通信路の容量．全 2 重動作に設定すると上りと下りのそれぞれで 100Mbit/S の伝送速度が得られる．

[5] 実際には，計算機などの処理負荷の影響が現れる．

4.　ネットワーク実験詳細

4.1　準備

4.1.1　まず，ネットワークケーブルを接続する．実験用ネットワークは，クライアント拡張インターフェース側[6]から，サーバ拡張インターフェース側に接続されているスイッチングハブに接続する．リモート接続用ネットワークは，クライアントのマザーボード上インターフェース (ビルトインインターフェース (図 **2**))側から，サーバのビルトインインターフェース側に接続されているスイッチングハブに接続する．ケーブルをスイッチングハブに接続するときは班番号と同じポートに接続すること．端子と穴を良く見ると差し込み方向が確認できる．ロックされるまでしっかりと差し込むこと．抜くときには，レバー （図 **3**）を押さえて，ロックを解除して抜くこと．（無理に抜くと壊れる！）

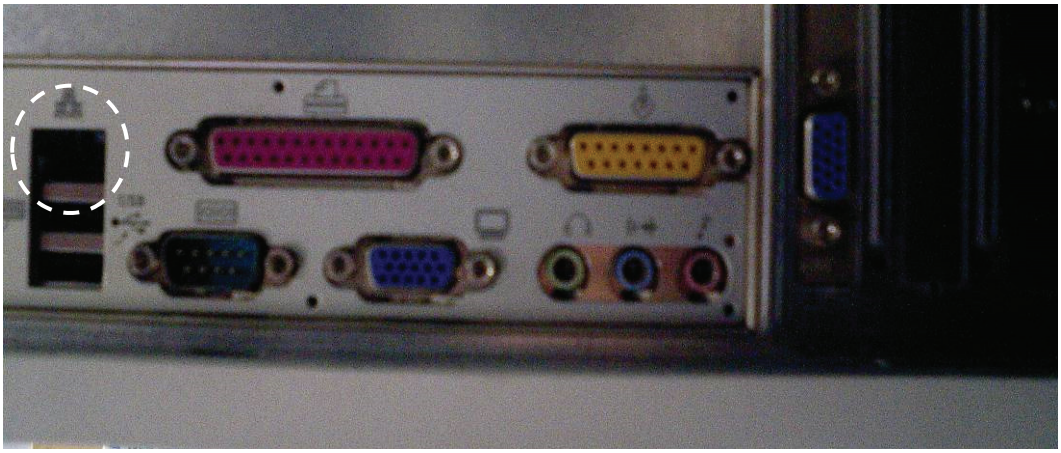

図 2 ビルトインインターフェース

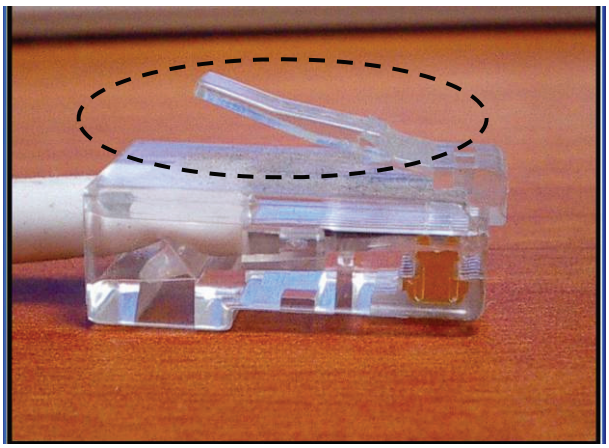

図 3 ケーブルコネクタ

[6] 計算機のマザーボードではなく，PCI カードに実装されている．

4.1.2　クライアントの電源を投入して，ログイン[7]する．

4.1.3　使用コマンドの確認

Windows のコマンドプロンプトではなく，Cygwin を使用する．Cygwin は，デスクトップ上のショートカット (右アイコン)から起動することが出来る．また，スタートメニューの中から Cygwin Bash Shell を選択して起動することも出来る．使用方法は，基本的には Windows のコマンドプロンプトと同一であるが，実験に使用するコマンドの一部は Windows には存在しない．

図 4　Cygwin のアイコン

ping –h，ipconfig /?，nc -h と入力して，使用するコマンドの使用方法を確認する[8]．

4.1.4　ネットワークインターフェース設定

まず，実験用ネットワークの設定を行う（図 5）．「ローカルエリア接続のプロパティ」－「インターネットプロトコル (TCP/IP)」のプロパティを開き，「次の IP アドレスを使う」の中で明示的に指定する．

実験用 IP：：192.168.100.10+X　　サブネットマスク：：255.255.255.0

ここで X は，実験グループ番号（例：グループ 5 であれば 192.168.100.15）．[9]

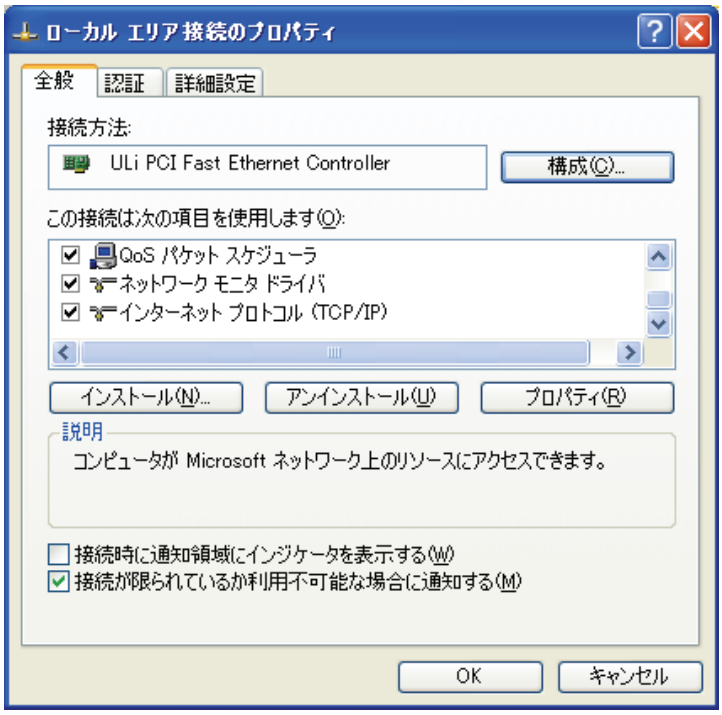

図 5　実験用ネットワーク I/F 設定

[7] ユーザ名：netX (X はグループ番号)，パスワード：なし．

[8] レポートに確認内容を記載すること．実験中に実験記録として保存すること．USB メモリなどを準備すること．実験システムのネットワークは，外部ネットワークから隔絶されている．

[9] レポートに設定　(確認)の記録を記載すること．

同様に、リモート接続用ネットワークの設定を行う（図 6）.

リモート接続用 IP：：192.168.200.10+X　　サブネットマスク：：255.255.255.0

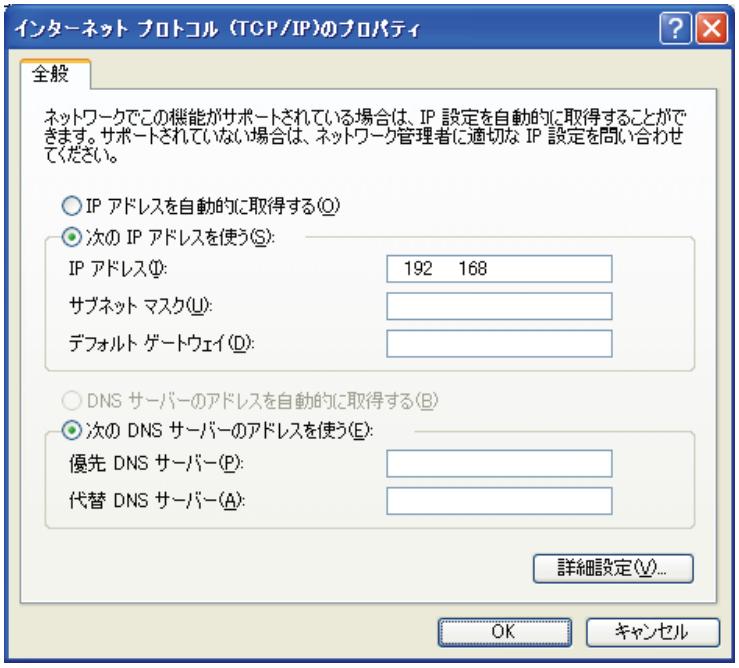

図 6　リモート接続用ネットワーク I/F 設定

4.1.5　ネットワークインターフェース確認：：クライアントの cygwin を開き，ipconfig[10]を用いて実験用インターフェースとサーバリモート接続用インターフェースの IP アドレスなどを確認する[11]．たぶんこの時点の表示は，脚注とは異なる．

4.1.6　リモートデスクトップ接続[12]を用いて，サーバ (192.168.200.10)に接続[13]して，サーバの実験用インターフェースとサーバリモート接続用インターフェースの IP アドレスなどを確認する．

4.1.7　コントロールパネル・システム・ハードウェア・デバイスマネージャー・ネットワ

---

[10] ipconfig /all とすると詳細な情報が表示される．

[11] IPCONFIG 実行例

```
$ ipconfig
Windows IP Configuration
Ethernet adapter ローカル エリア接続:
        Connection-specific DNS Suffix  . : aok.is.utsunomiya-u.ac.jp
        IP Address. . . . . . . . . . . . : 192.168.1.11
        Subnet Mask . . . . . . . . . . . : 255.255.255.0
        Default Gateway . . . . . . . . . : 192.168.1.1
kyota@aoktdat ~
$
```

[12] 別紙資料できるリモートデスクトップ接続参照

[13] ユーザ名，パスワード共に netX (X はグループ番号).

ークアダプタ・ネットワークインターフェース (2 種)・プロパティ・詳細設定・connection type を開く（図 7）．2 つのネットワークインターフェースの設定などを確認する[14]．実験用ネットワークは 10BaseT Half Duplex に，サーバリモート接続用ネットワークは，標準設定 (Auto-Negotiation あるいは 100BaseTx Full Duplex)に設定されていることを確認する．

注意：実験サーバ側のインターフェースは，すべて 100M full Duplex に設定されている．誤ってこれを変更しないこと．

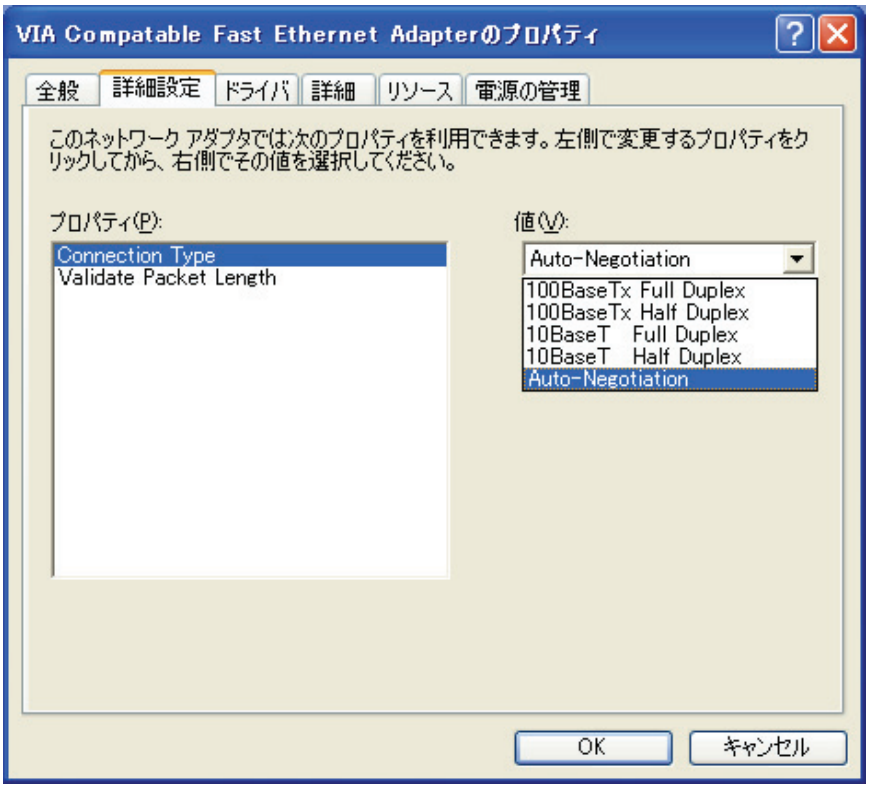

図 7　Ethernet アダプタの設定

4.1.8　ネットワークケーブルの接続を確認して，サーバのビルドインネットワークインターフェース[15]側にサーバリモート接続用ネットワークが接続されていることを確認する．サーバの拡張ネットワークインターフェース側に実験用ネットワークが接続されていることを確認する．また，ここで再度 ipconfig を用いて接続状態を確認する．[16]

4.2　内部ネットワークと外部ネットワークの応答時間，パケットロス率と伝送速度を観測する．

---

[14] 確認事項は，レポートに記載のこと．
[15] 計算機のマザーボードに作りつけられているインターフェース．
[16] 4.1.5 参照

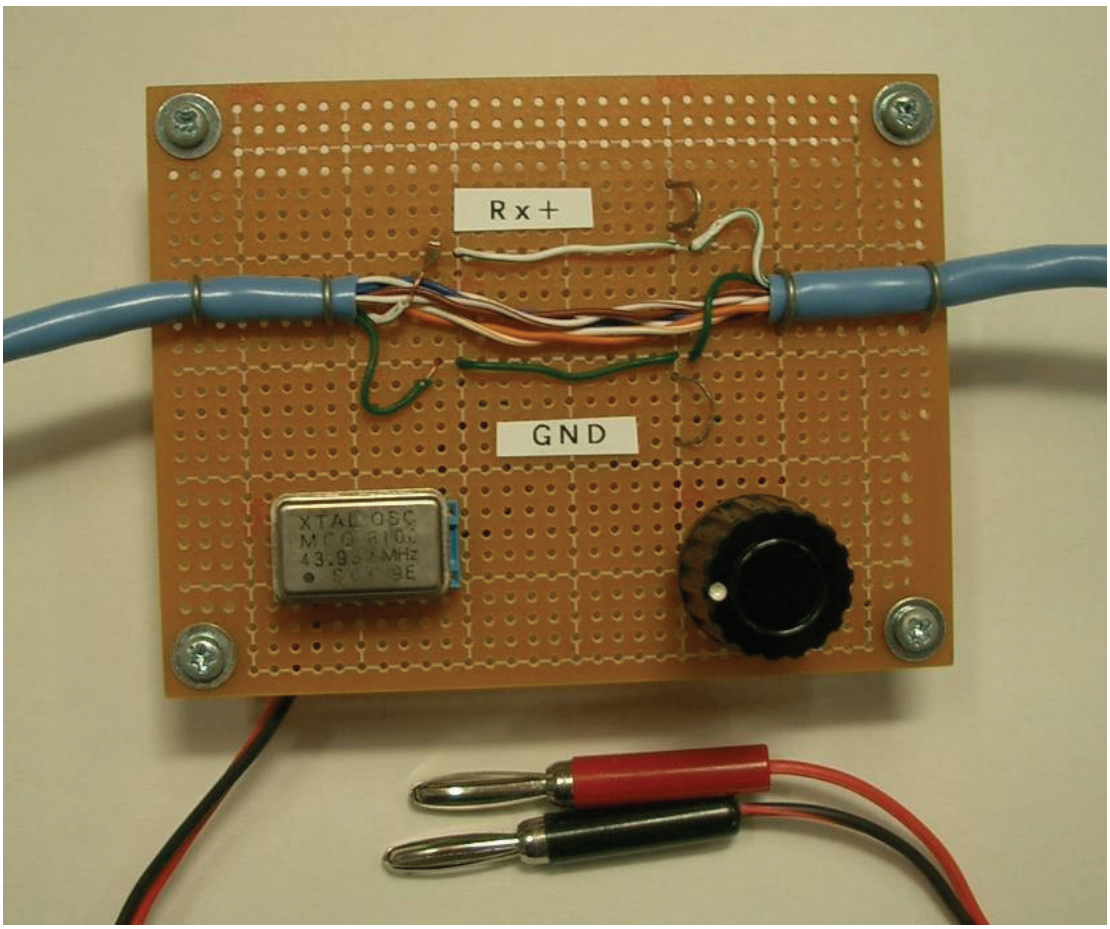

図 8　雑音注入器

4.2.1　cygwin 上の ping[17]コマンドを用いて, 計算機内部応答時間[18]とネットワーク応答時間およびパケットロス率を計測する.

使用例：ping –f 192.168.100.10 1000 10000 適当に大きなパケットサイズとパケット数を指示しないと，差異が明らかになりにくい．[19]

4.2.2　パケット伝送信号の観測

オシロスコープで雑音注入器（図 8）の端子[20] (図 8 矢印)でパケット伝送状況を直接観測する．ping –f XXX などとして，連続してパケットが送信されるようにして観測すると，容易に観測できる．パケットの電圧を観測し，記録すること．伝送は，交流信号で行われているので全振幅を観測すること[21].

[17] ping –f のようにして大量のパケットを送信して実験を行う．-f をつけないと，1 秒に 1 個ずつパケットを送る.

[18] 応答時間は，パケットを送信してから返事が返ってくるまでの時間を指す.

[19] 例の意味を確認すること．4.1.3 参照．必要に応じて変更すること.

[20] プローブおよびプローブのアースリード線を, それぞれ Rx+, GND(Rx-)端子に接続する.

[21] プローブに**組み込まれているアッテネータ**の影響を考慮に入れるのを忘れないように.

次に，nc[22]， send[23]， recv[24]を使って送信パケットデータの生成および受信パケットデータの計数を行い，内部伝送速度[25]およびネットワーク伝送速度を計測する．複数の実験グループが運悪く同時に計測するとサーバのプロセッサ能力の制限からネットワークの最大実効速度が出ないので何度か計測し，他のグループの干渉がないことを確かめること．また，開始直後など動作が安定しない部分を除いて，計測結果をまとめること．

送信側使用例：send 100 | nc –v –n 192.168.100.10 1000X

受信側使用例：nc –v –l –n –p 1000X | recv 20 1000[26]

4.2.3　UDP[27]伝送の場合，TCP 伝送の場合についてそれぞれ観測し，比較すること．UDP 伝送方法については nc コマンドのヘルプを確認すること (4.1.3 参照).

---

[22] nc を使う際には，-n を指定しておくこと．これを指定しないとネームサービスを検索する時間のために遅れが生じる．また，recv で観測パケット単位および観測時間は十分大きくしておくこと．安定した観測ができない．当然，send で送るデータ総量もそれに見合うものとする．10Mbps のネットワークを通じてどの程度のデータが送れるかを考える．観測時間は，20 秒以上あると結果が分かりやすい．

[23] send（C 言語で書かれた本実験用のソフトウェア）書式：send n　動作：n 個のデータを生成して，出力する．1 個のデータは 10 バイトで構成される．

[24] recv（C 言語で書かれた本実験用のソフトウェア）書式：recv m n　動作：m 秒間計数する．n 個単位で計数する．計数中に m 秒を超えれば終了する．指定時間よりも短く計数が終了すると，次の入力を待ち続けて終了しない．コントロール C などで強制的に終了させる必要がある．係数単位は，Byte である．bit ではない．注意すること．

[25] 伝送速度は，単位時間当たり送られるデータの量で表す．bps（ビット毎秒）がネットワーク理論速度との比較には，分かりやすい．

[26] 実行結果例：秒 受信バイト数/S 総受信バイト数

```
DNS fwd/rev mismatch: localhost != athlon64xp.aok.is.utsunomiya-u.ac.jp
connect to [127.0.0.1] from localhost [127.0.0.1] 2978
         2          999          999
         3       925074       926073
         4      2572425      3498498
         …
        11      4678317     37733229
        12      4898097     42631326
        13      4776219     47407545
        …
        20      5144850     82026891
too many output retries : Broken pipe
```

[27] User Datagram Protocol の略．ハンドシェークなどを行わないので，最大伝送速度は大きくなる．

4.3　ルータ経由伝送実験

4.3.1　接続

用意されたルータを，クライアントと雑音注入器の間に接続する．その際，クライアントが LAN 側，サーバが WAN 側となるように接続する（図 9）．左端のコネクタが WAN 接続用．右の 4 口は LAN 接続用である．

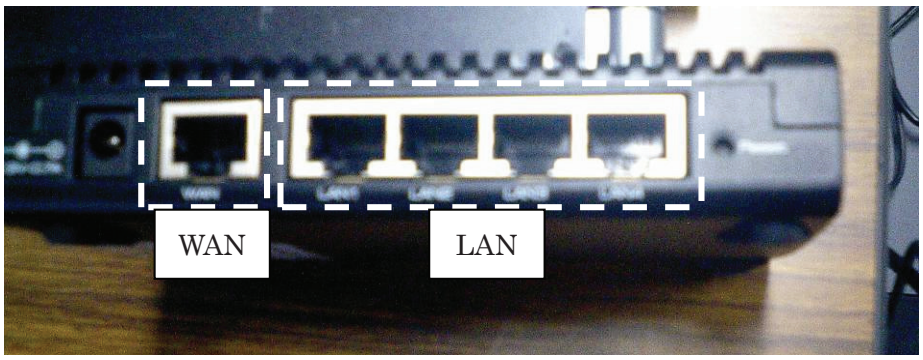

図 9　ルータの接続端子

4.3.2　ルータ設定

はじめに，ルータマニュアル[28]を参照し，ルータを工場出荷時の状態に戻す．

次に，クライアントのネットワークインターフェース設定を「IP アドレスを自動的に取得する」に変更する (4.1.4 参照).

最後に，IE を使ってルータの設定画面に接続する．以下は注意点．

WAN 側ネットワークの設定

- 固定 IP を指定する
- アドレスはクライアント側実験用ネットワークアドレスの末尾に+100 した値となるように設定する

LAN 側ネットワークの設定

- DHCP を指定する（IP はコマンドプロンプト上 ipconfig コマンドで確認可）

4.3.3　実験

4.2 で行った計測実験をルータを介して行う．10Mbit/s で実験を行っているので，ルータの能力に十分余裕があるので，ルータを介さない場合との差異は小さい．[29]

[28] 実験 1 回目にルータマニュアルを参照して，設定方法などを確認すること．実験記録として残すこと．

[29] ルータ経由で UDP 伝送実験を行うとルータが機能不全に陥る場合がある．

4.4　無線 LAN 経由伝送実験

4.4.1　（準備）無線 LAN の接続確認

ルータが接続されている場合は実験用ネットワークと共に外し，リモート接続用ネットワークのみとする．クライアント PC 後部に無線 LAN の USB ドングルが装着されていることを確認する（図 10）．なお，無線 LAN の AP (Access Point) はサーバ機付近にあり，WAN 側 IP: 192.168.100.100 で実験用ネットワークに接続，また無線 LAN クライアント側 IP は DHCP でプライベートアドレス 192.168.150.0/24 を割り当てる設定である．AP の有線 LAN 接続状態を直接確認すると理解が深まる．

図 10　クライアント後部の無線 LAN USB ドングル

4.4.2　（準備）無線 LAN の IP 設定（DHCP にする）

「コントロールパネル」から「ネットワーク接続」を選択する（図 11）．さらに，「ワイヤレスネットワーク接続」を右クリックしプロパティを選択する（図 12）．プロパティウィンドウの中から「インターネットプロトコル(TCP/IP)」を選択し（図 13 左），「IP アドレスを自動的に取得する」に設定する（図 13 右）．

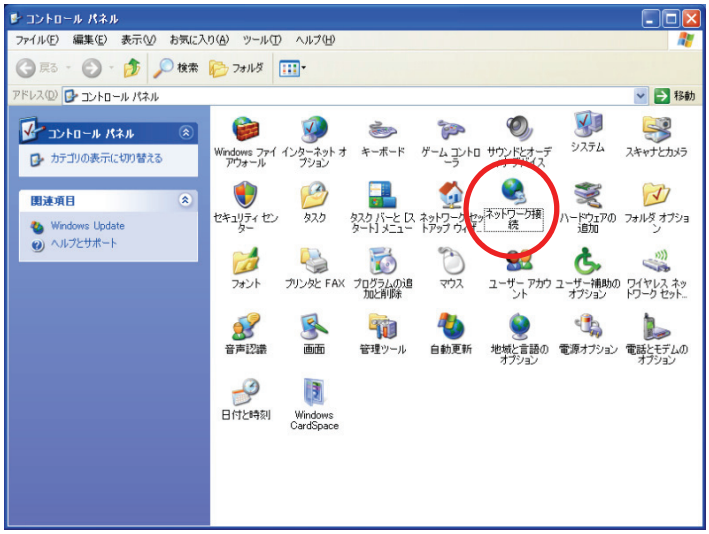

図 11　「コントロールパネル」内の「ネットワーク接続」アイコン

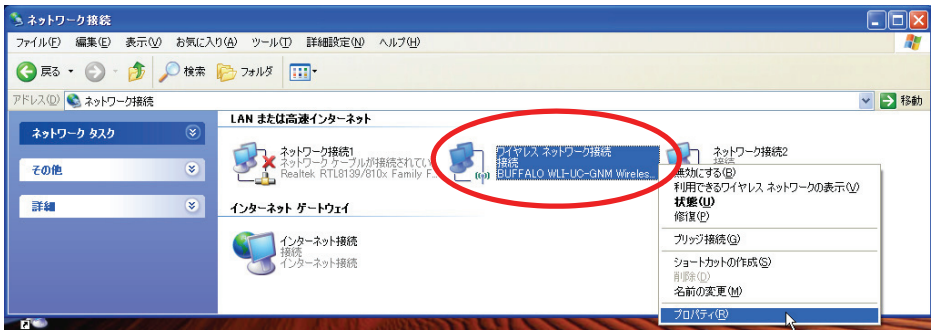

図 12　「ネットワーク接続」内の「ワイヤレスネットワーク接続」

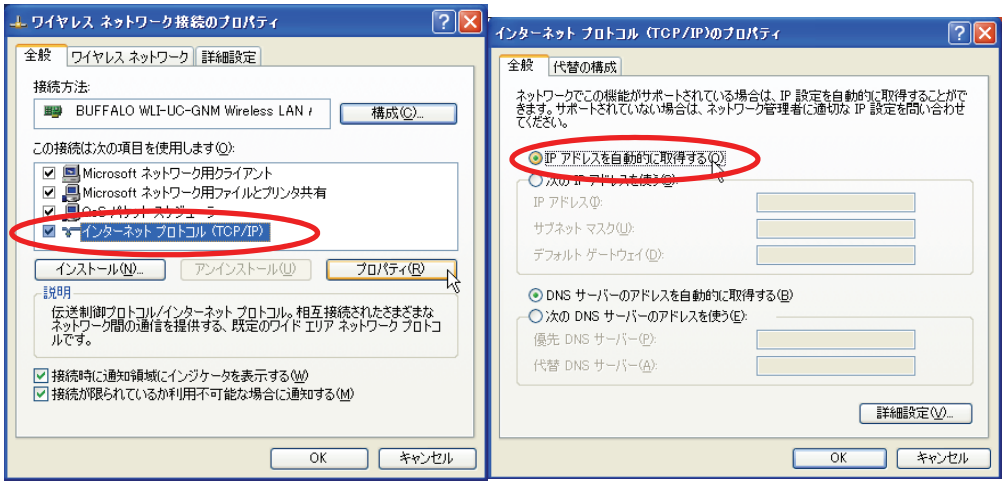

図 13　ワイヤレスのプロパティで「IP アドレスを自動的に取得する」に設定

4.4.3　（準備）無線 LAN に接続

タスクバーの通知エリアにある無線 LAN アイコン（図 14）をダブルクリックする．「ワイヤレスネットワークの選択」画面となる．本実験で使用するネットワーク SSID (Service Set Identifier)“ISEXP2_WIFI”が存在することを確認し（図 15），ダブルクリックにより接続を試みる．ネットワークキーの入力が求められるため入力を行う（図 16）．ネットワークキーは 3218585yoto712 である．結果，接続状態となったことを確認する（図 17）．以上で準備完了である．

図 14　タスクバーの通知エリアにある無線 LAN アイコン

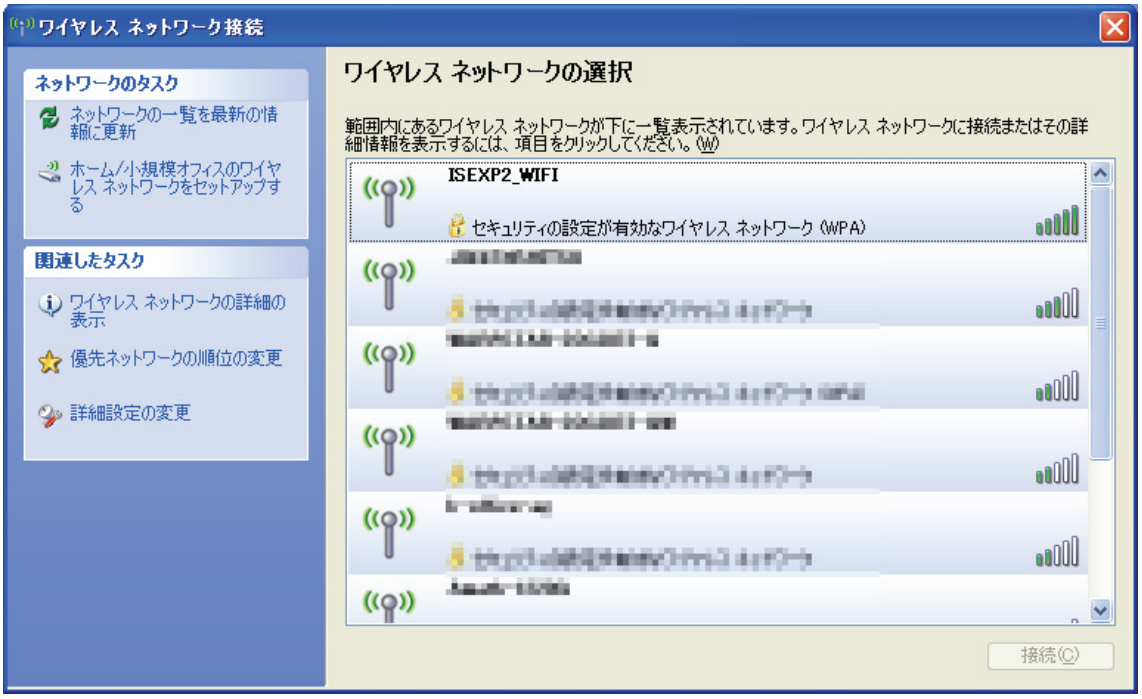

図 15　「ワイヤレスネットワークの選択」画面

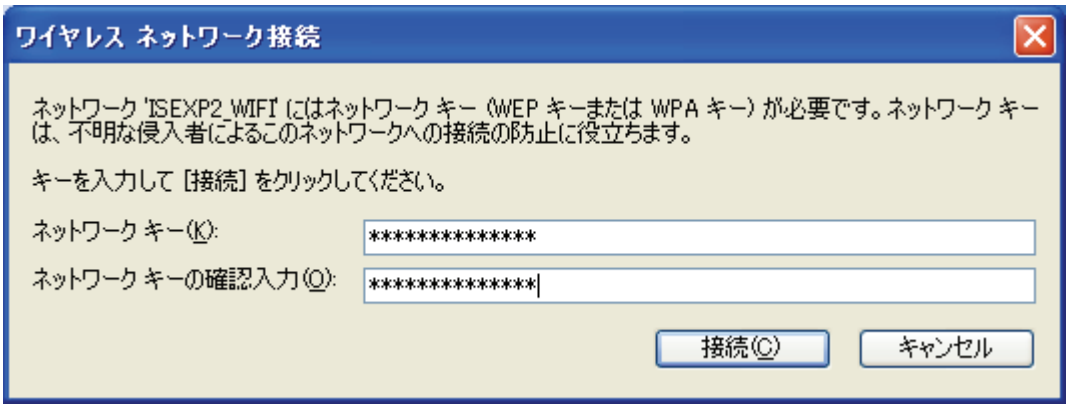

図 16　ネットワークキーの入力画面

図 17 ネットワーク SSID“ISEXP2_WIFI”に接続成功時のスクリーンショット

4.4.4　（実験）クライアントに割り振られた IP を確認

コマンドプロンプト上の ipconfig コマンドを利用しクライアントに割り振られている IP を確認し記録する（図 18）.

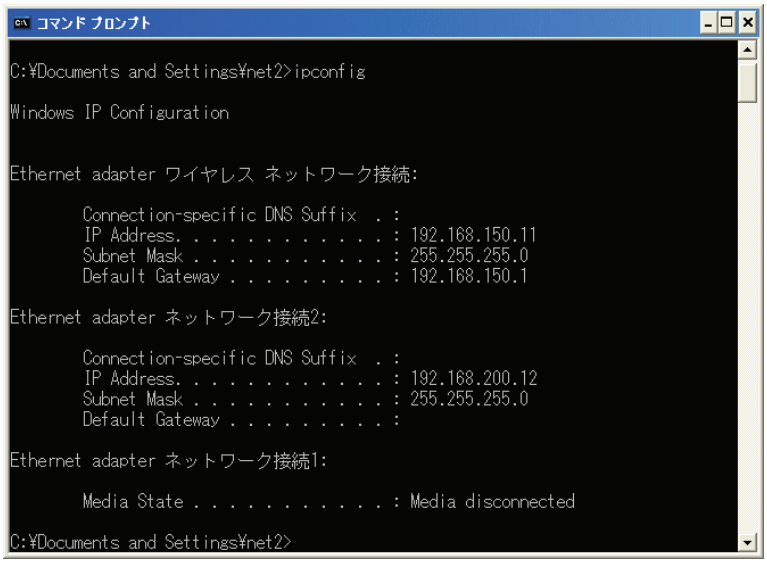

図 18　ipconfig コマンドの実行例

4.4.5　（実験）無線 LAN 信号のチャネルを確認

無線 LAN 信号の観測ソフトウェア inSSIDer を起動する．右上の「Start」を押すと SSID の一覧とそれぞれの信号のプロパティがリスト表示される（図 19）．またリスト表示の下部には各種グラフが表示される．グラフはタブによって切り替えることができ，チャネルや信号強度の様子を観測することができる．ここで，ネットワーク“ISEXP2_WIFI”が使用しているチャネル番号を観測し，記録する．

図 19　inSSIDer の実行画面と無線 LAN チャネルの様子

4.4.6　（実験）無線 LAN 信号の信号強度を観測

受信信号強度 RSSI (Received Signal Strength Indication)を観測する．時間変動をするため，15 秒間の平均値を算出する．変動する値を読み上げ，記録し，平均値を計算する．

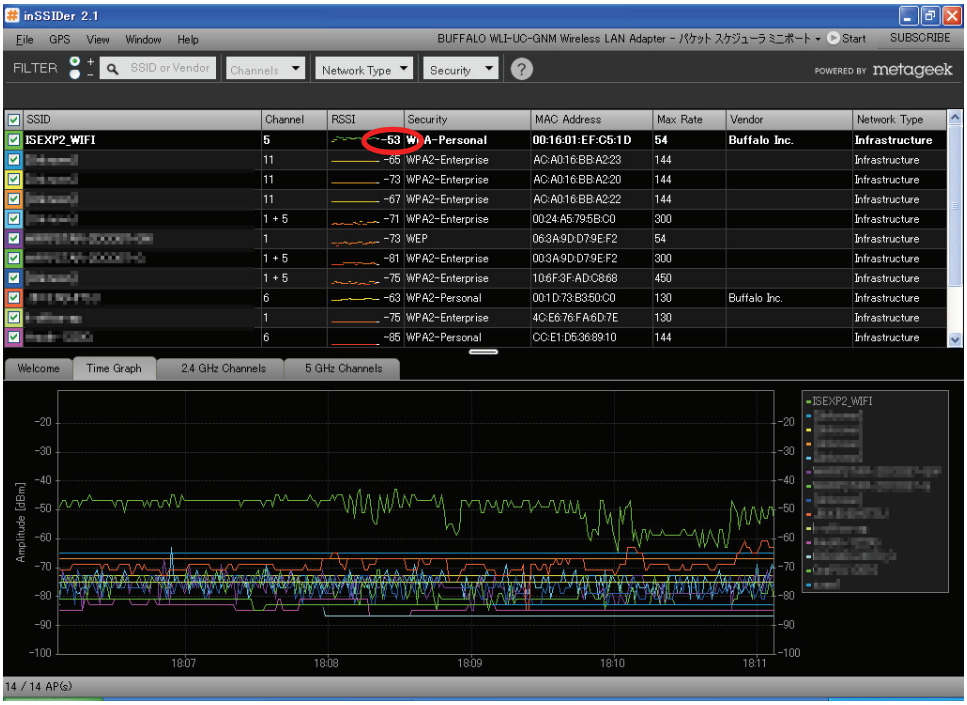

図 20　inSSIDer の実行画面と無線 LAN チャネルの様子

4.4.7　（実験）ping コマンドによるパケットロス計測

cygwin の ping コマンドを用いて，4.2.1 項と同様の実験を行う．無線 LAN を用いた場合のパケットロス率を確認し記録する．4.2.1 項の有線 LAN による直接通信，4.3.3 項のルータを介した有線 LAN による通信の結果と比較を行う．

4.4.8　（実験）nc/send/recv コマンドによる伝送速度計測

4.2.2 項で行った実験と同様に nc/send/recv コマンドを用いて，実効伝送速度を計測する． UDP 伝送，TCP 伝送共に計測を行い，記録をする．これらの結果を有線 LAN による直接通信，4.3.3 項のルータを介した有線 LAN による通信の結果と比較を行う．

4.4.9　（実験）無線伝搬経路内に遮蔽物があった場合の通信状態の計測

クライアント PC に装着されている無線 LAN　USB ドングルを手で覆い，無線伝搬経路内に遮蔽物がある状態を再現する（図 21）．その状態で 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8 項の実験を行い，結果を記録する．受信状態が安定するまで手で遮蔽してから 30 秒ほど経

過してから計測するのが望ましい．また，この結果を遮蔽物がない 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8 項の実験結果と比較する．

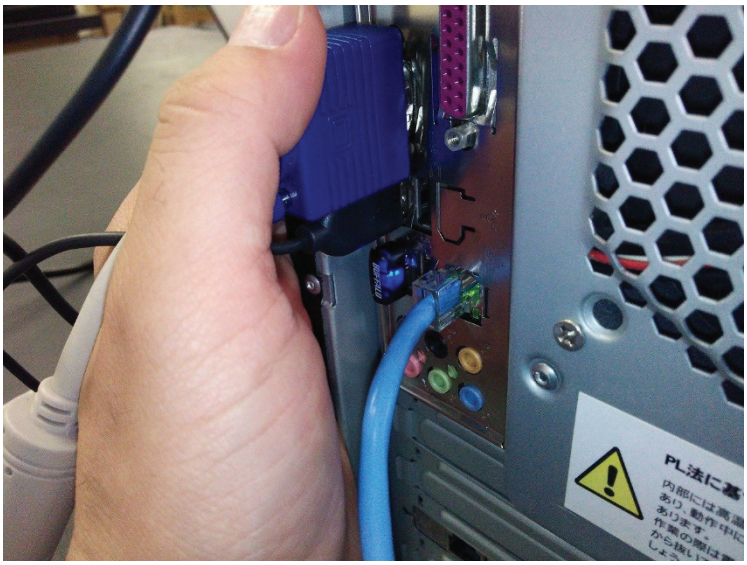

図 21　無線 LAN USB ドングルを手で覆う様子

4.5　（記録）各ネットワークデバイスの MAC アドレスの記録

コマンドプロンプトで ipconfig /all と入力し，以下の MAC アドレスを記録する．

- リモート接続用ネットワークインターフェース
- 実験用ネットワークインターフェース
- 無線 LAN インターフェース

5. 実験終了

レポートを書くのに十分な情報を観測・記録したことを確認して，実験を終了する．ネットワークネーブル 2 本 (1 本は雑音注入器付)，ルータ，オシロスコープ・プローブは，コネクタからはずして，クライアント計算機横に置く．オシロスコープ，電源，計算機は，電源を落としてから，電源コネクタを元から抜いておく．

6. 報告書

配布している確認事項をよく確認して書いてください．また，下記 URL なども参考になると思います．

http://www.report.gusoku.net/kihon/syurui.html

http://www.max.hi-ho.ne.jp/lylle/technique4.html

実験最終日にレポート表紙を配布します．(ファイル)これをレポートの最初につけてください．必要な資料およびファイルは，下記 URL からダウンロードできます．

http://www.ced.is.utsunomiya-u.ac.jp/lecture/2015/jikken2/net/

7. 参考資料

- できるかな？リモートデスクトップ接続（ネットワーク演習と共通資料）

改訂履歴

日付	氏名	修正内容
2009/4/10	青木 恭太，北本 拓磨	全般的な修正
2012/4/3	大川 猛	実験概説およびオシロスコープに関する修正 図番号の追加、「はじめに」を冒頭に移動
2012/4/5	大川 猛	send/recv の解説を修正、USB メモリについて記載
2012/12/25	大川 猛	p.4 図 1 のキャプション「構成図」→「物理構成図」 p.4 図中の用語「ハブ」→「イーサネットスイッチ」 p.9 脚注 19　(誤)「5.1.3 参照」　(正)「4.1.3 参照」 p.9 脚注 20　(誤)「GND」　(正)「GND(Rx-)」 p.10 脚注 27　(誤)「User Defined Protocol の略.」 (正)「User Datagram Protocol の略.」 p.10 脚注 24　(誤)「BYTE」　(正)「Byte」 p.10 脚注 24　(誤)「BIT」　(正)「bit」 p.10 脚注 25　(誤)「BPS」　(正)「bps」
2013/4	羽多野裕之	4.4 節「雑音注入実験」刷新
2014/4	羽多野裕之	誤植訂正．説明追加.
2015/5	羽多野裕之	誤植訂正．説明追加. 4.4 節「雑音注入実験」を「無線 LAN 経由伝送実験」に差し替え