

Internet Week 2002 B1

プロトコル詳説

～クリックしてからホームページが表示されるまで～

ネットワンシステムズ(株) 白橋明弘

本講座のねらい

- ◆「クリックしてからホームページが表示されるまで」を題材として
- ◆レイヤー2からレイヤー7までのプロトコルの動作を実際に即して解説する
- ◆ルータ、スイッチの世界とDNS、Mailなどアプリケーションの世界のギャップを埋める

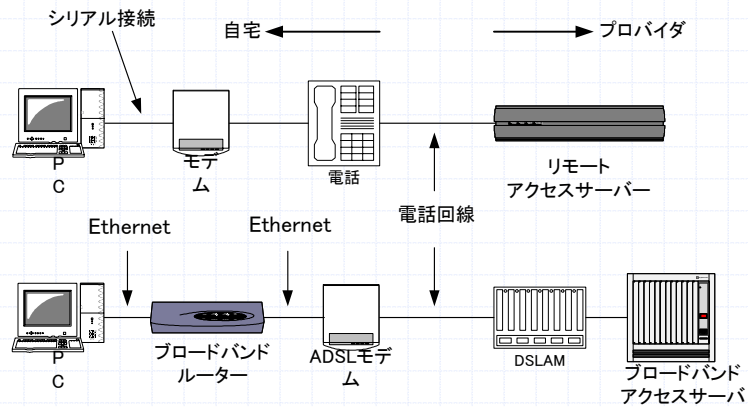
前提とする知識

- ◆TCP/IP の基本的概念(IPアドレスやポート番号)を知っている
- ◆Web や DNS/Mail のしくみについて概念的な理解ができている

対象として想定する環境

- ◆ダイヤルアップまたはADSL常時接続の環境で
- ◆プロバイダへの接続が確立して
- ◆パソコン上のWebブラウザでインターネット上のWebサイトを閲覧するまで

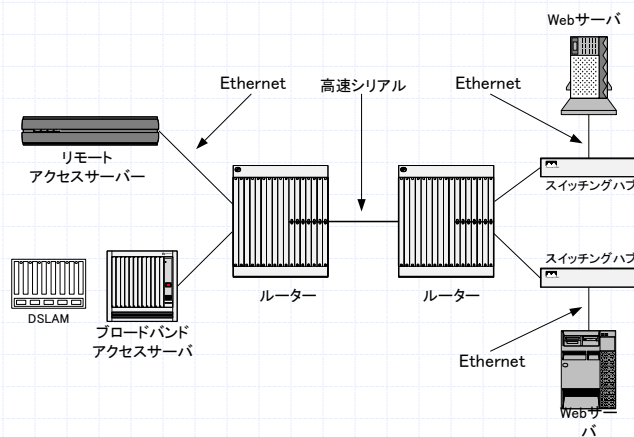
PCからプロバイダまで



(C)2001-2002, Akihiro Shirahashi

5

プロバイダからWebサーバまで



(C)2001-2002, Akihiro Shirahashi

6

OSI参照モデル(1)

- ① 物理層 (Physical Layer)
物理的な接続上でビット列をやり取りする
- ② データリンク層 (Data Link Layer)
データをリンク上でパケットというまとまりでやり取りする
- ③ ネットワーク層 (Network Layer)
パケットを複数のリンクをまたがって宛先に送り届ける

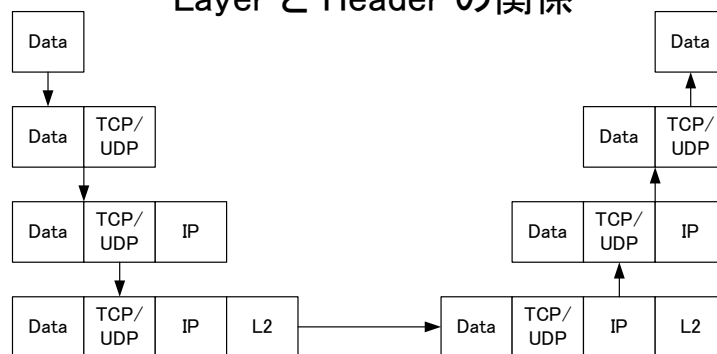
OSI参照モデル(2)

- ④ トランスポート層 (Transport Layer)
信頼性のある2点間の通信路を提供する
- ⑤ セッション層 (Session Layer)
トランスポート層に付加機能を提供する
- ⑥ プレゼンテーション層 (Presentation Layer)
アプリケーションのデータを通信に適する形式にエンコードする
- ⑦ アプリケーション層 (Application Layer)
ファイル転送や電子メールといったアプリケーション

OSI参照モデルとTCP/IPの対応

- ◆ 物理層・データリンク層 → データリンク層:L2
- ◆ ネットワーク層 → ネットワーク層 (IP):L3
- ◆ トランスポート層 → トランスポート層 (TCP):L4
- ◆ セッション層・プレゼンテーション層・アプリケーション層 → アプリケーション層:L7

Layer と Header の関係



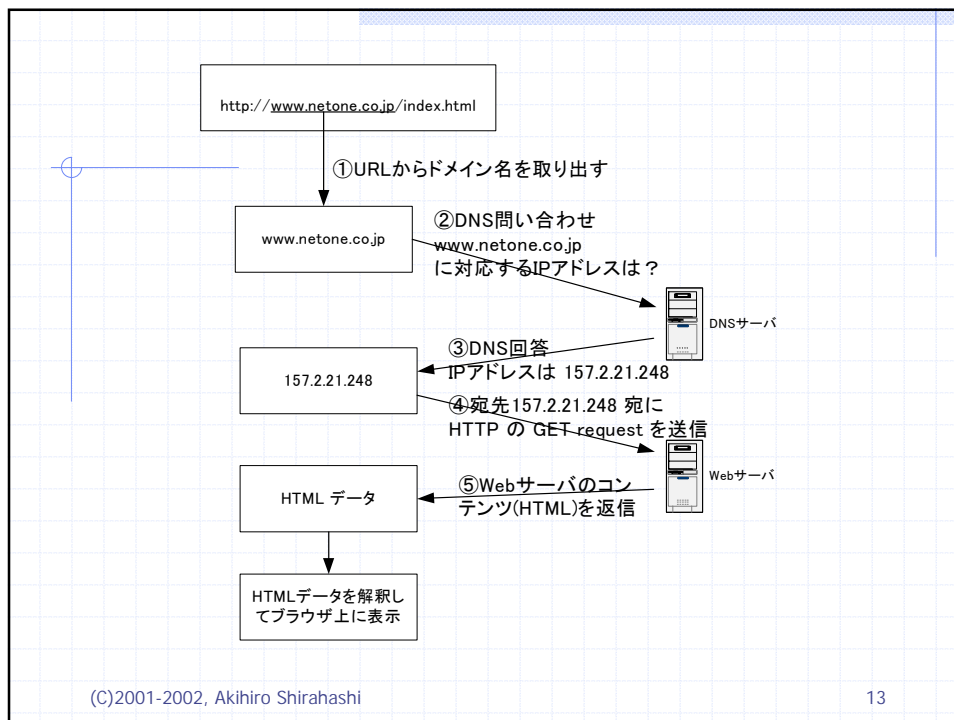
登場するプロトコル

- ◆ データリンク層
Ethernet, ARP, PPP, PPPoE
- ◆ ネットワーク層
IP
- ◆ トランスポート層
TCP, UDP
- ◆ アプリケーション層
DNS, HTTP

クリックしてから表示されるまで

最も上位層で見ると、こうなる:

- ① URLをクリック (またはURLを入力)
- ② ドメイン名をDNSでIPアドレスに変換する
- ③ そのIPアドレスにHTTPのGETリクエストを送り、レスポンスとしてHTMLのデータを受け取る
- ④ WebブラウザがHTMLを解釈して表示する



ドメイン名をIPアドレスに変換

これを詳しく見ると:

- ① パソコンに設定されたDNSサーバのIPアドレスを宛先として、DNSのqueryのパケットを送る
- ② DNSサーバが、このパケットを受け取り、その中に含まれているドメイン名をIPアドレスに変換して、答をパソコンに返す

DNSのパケットフォーマット

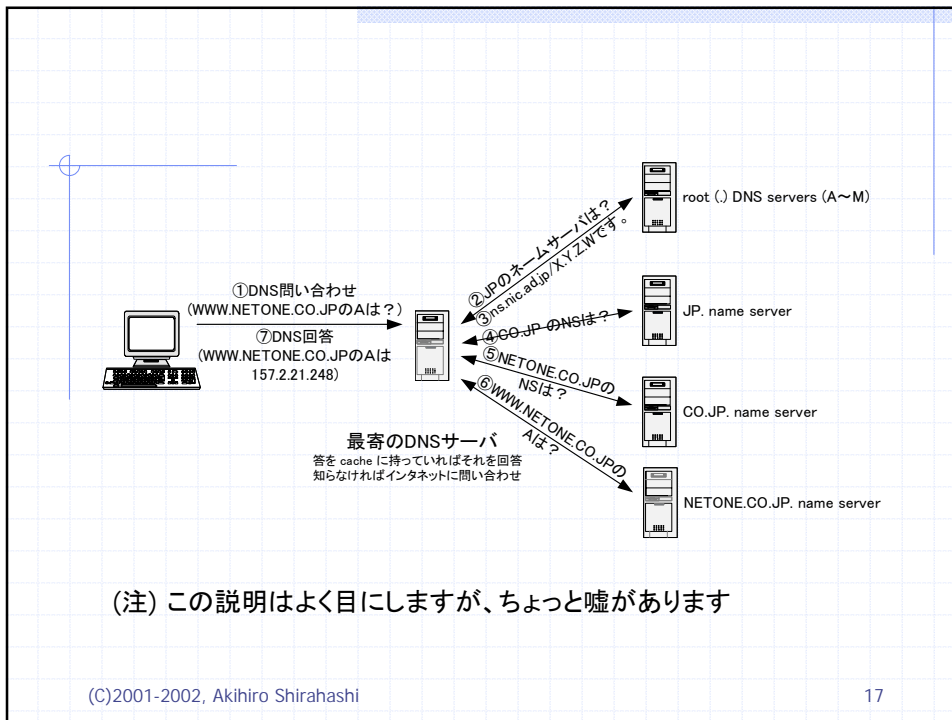
HEADER	OPCODE	ANSWER	NAME (可変長)
	FLAG		TYPE
	QDCOUNT		CLASS
	ANCOUNT		TTL
	NSCOUNT		RDLENGTH
	ARCOUNT		RDDATA (可変長)
QUESTION	QNAME (可変長)	AUTORITY	RD RECORD (ネームサーバ)
	QTYPE	ADDITIONAL	RD RECORD (NS IPアドレス)
	QCLASS		

問い合わせパケットはここまで

回答パケットはここまで

DNSサーバが回答できるわけ

- ① 自分が知っている(当該ドメインについて authorityを持っているか、以前の答えをcacheしている)ものは、それを答える
- ② 自分が知らないものは、そのドメイン名について最も知っていそうなDNSサーバに問い合わせる
- ③ そのドメイン名について何も知らなければ、root server に問い合わせ . → jp → co → netone と降りてくる



DNS に関する疑問(1)

クライアントPCはDNSの問い合わせを送るべき最寄のDNSサーバのアドレスをどうやって知るか

- 静的に設定
- DHCPで割り当て
- IPCPで割り当て(PPP)
- mode-configで割り当て(IPsec VPN)

Windows 2000 ipconfig/all 出力

```
Ethernet adapter ローカル エリア接続:  
Connection-specific DNS Suffix . : iw2001.internetweek.jp  
Description . . . . . : Intel(R) PRO/100 SP Mobile Combo Adapter  
Physical Address. . . . . : 00-03-47-6E-XX-XX  
DHCP Enabled. . . . . : Yes  
Autoconfiguration Enabled . . . . : Yes  
IP Address. . . . . : 61.215.25.135  
Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0  
Default Gateway . . . . . : 61.215.25.1  
DHCP Server . . . . . : 61.215.25.1  
DNS Servers . . . . . : 61.215.25.2  
Lease Obtained. . . . . : 2001年12月7日 13:13:44  
Lease Expires . . . . . : 2001年12月7日 13:28:44
```

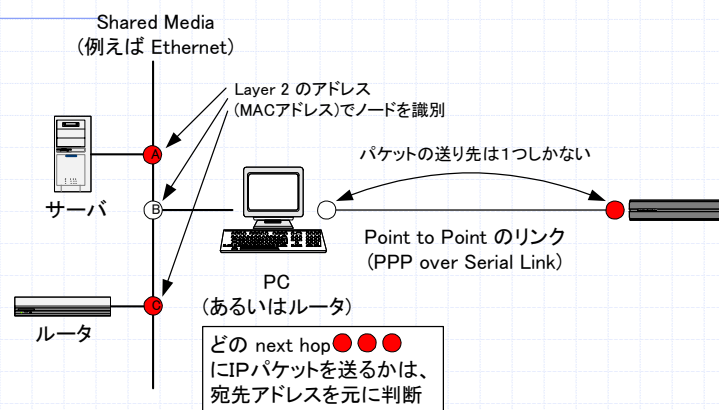
DNSに関する疑問(2)

(最寄の)DNSサーバは、root servers(A~M)のIPアドレスをどうやって知るのか？

- DNSサーバの設定を最初から持っている
- それは Root cache と呼ばれるファイル
- Root servers はめったに変更にならないのでそれでも大丈夫

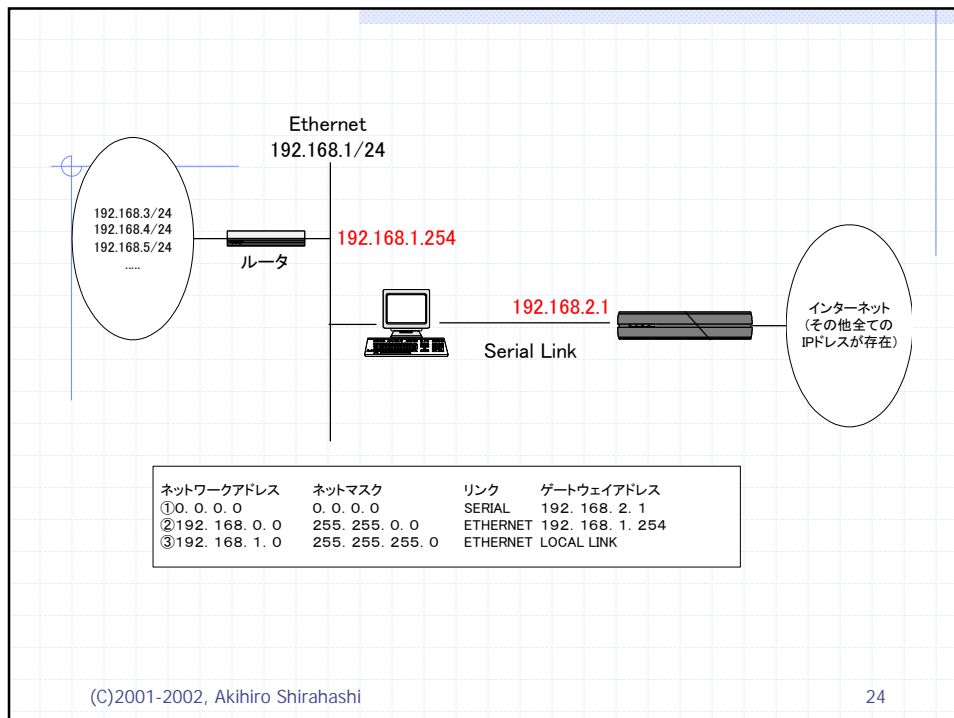
DNSサーバへパケットが届く訳

- ◆ IPパケットは、どれかの(データリンク層の)リンクの next hop の宛先に対して送られる
- ◆ ダイヤルアップPPP接続の場合は、リンクは1つしかないし、next hop も point to point リンクなので選ぶ余地は無い
- ◆ 一般には、(複数ある)どのリンクを選ぶか、そして(Ethernet のようなリンク上に複数の宛先の存在する場合) next hop の選択は、宛先IPアドレスによって決まる



宛先IPアドレスから next hop を決める

- ◆ IPパケットをforwardする機器(ホスト、ルータ)は、経路情報テーブル(routing table)を持つ
- ◆ Routing table には、IPアドレス(A)/ネットマスク(M)と、それに対応するリンクとnext hop が書かれている
- ◆ (宛先IPアドレス and M) = A となる routing table のエントリのリンク,next hopが選択される
- ◆ 複数のエントリがマッチする場合は、ネットマスクが最長のものが選ばれる (longest match)



Windows 2000 netstat -nr 出力

```
Active Routes:
Network Destination  Netmask          Gateway          Interface        Metric
0.0.0.0              0.0.0.0          61.215.25.1     61.215.25.135   1
61.215.25.0          255.255.255.0    61.215.25.135   61.215.25.135   1
61.215.25.135 2      55.255.255.255   127.0.0.1        127.0.0.1        1
61.255.255.255      255.255.255.255  61.215.25.135   61.215.25.135   1
127.0.0.0            255.0.0.0        127.0.0.1        127.0.0.1        1
224.0.0.0            224.0.0.0        61.215.25.135   61.215.25.135   1
224.0.0.0            224.0.0.0        192.168.37.1     192.168.37.1    1
224.0.0.0            224.0.0.0        192.168.150.1    192.168.150.1   1
255.255.255.255     255.255.255.255  192.168.150.1    192.168.150.1   1
Default Gateway:    61.215.25.1
```

宛先アドレス 192.168.3.1 の場合

- ◆ ネットマスクと and を取る
 - ① $192.168.3.1 \text{ and } 0.0.0.0 = 0.0.0.0$
 - ② $192.168.3.1 \text{ and } 255.255.0.0 = 192.168.0.0$
 - ③ $192.168.3.1 \text{ and } 255.255.255.0 = 192.168.3.0$
- ◆ ネットワークアドレスと比較する
 - ① $0.0.0.0 = 0.0.0.0 \rightarrow \text{OK}$
 - ② $192.168.0.0 = 192.168.0.0 \rightarrow \text{OK}$
 - ③ $192.168.3.0 \neq 192.168.1.0 \rightarrow \text{NG}$
- ◆ ①と②のうちネットマスクの<長い>方を選択
 - ①0bit/②16bitなので、②を選択
 - next hop は 192.168.1.254

宛先アドレス 157.2.21.248 の場合

◆ ネットマスクと and を取る

- ① $157.2.21.248 \text{ and } 0.0.0.0 = 0.0.0.0$
- ② $157.2.21.248 \text{ and } 255.255.0.0 = 157.2.0.0$
- ③ $157.2.21.248 \text{ and } 255.255.255.0 = 157.2.21.0$

◆ ネットワークアドレスと比較する

- ① $0.0.0.0 = 0.0.0.0 \rightarrow \text{OK}$
- ② $157.2.0.0 \neq 192.168.0.0 \rightarrow \text{NG}$
- ③ $157.2.21.0 \neq 192.168.1.0 \rightarrow \text{NG}$

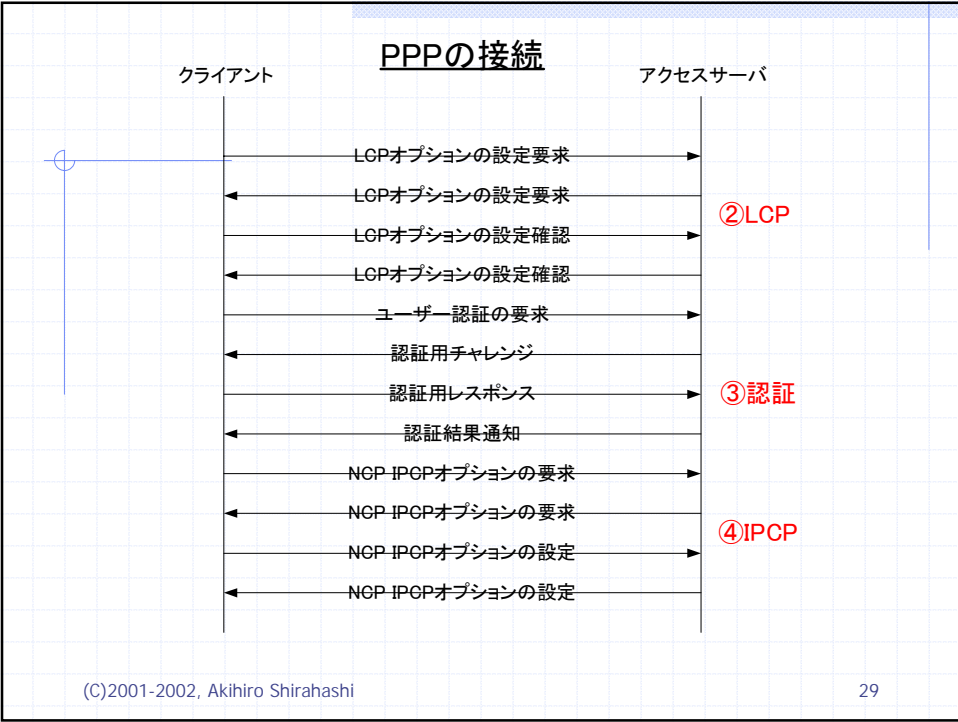
◆ ①を選択

$0.0.0.0/0.0.0.0$ の経路 = “default route”
どのアドレスにもマッチする (が一番弱い)

PPPの接続の確立

PPPのリンク確立は以下の手順で:

- ① 電話をかける
- ② LCPオプションの設定要求/確認
LCP: Link Control Protocol
- ③ ユーザー認証 (PAP or CHAP)
- ④ NCP ICPオプションの設定要求/確認
NCP: Network Control Protocol
IPCP: IP Control Protocol



PPPのパケットフォーマットと例

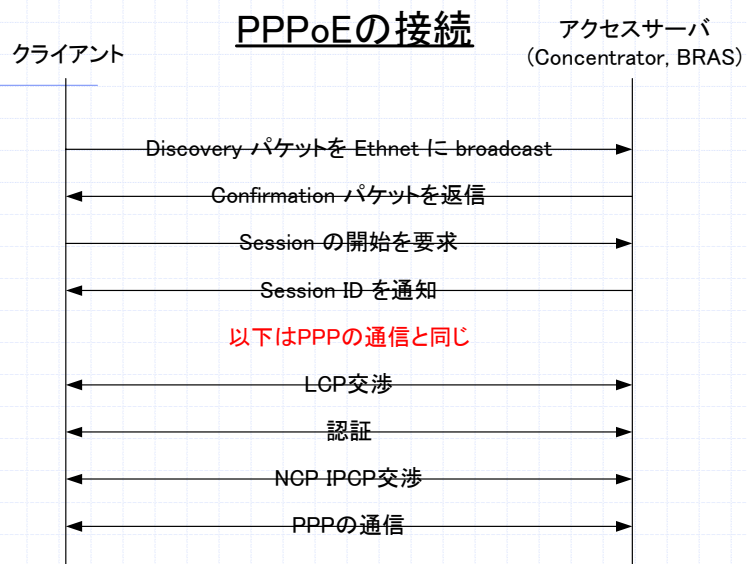
Flag 7E	Address FF	Control 03	Protocol (LCP/PAP/IPCP)	Information (Protocolにより変化)	FCS	Flag 7E
Start		7E				
Address	FF 03			FF 7D 23		
Protocol (LCP)		C0 21				
Code (CONFREQ)		01		7D 21		
Id		01		7D 21		
Length		00 18		7D 20 7D 38		
Type, Length, MRU		01 04		7D 21 7D 24 7D 25 DC		
Type, Length, ACCM		02 06 00 00 00 00		7D 22 7D 26 7D 20 7D 20 7D 20 7D 20		
Type, Length, MAGIC		05 06 29 23 BE 84		7D 25 7D 26 29 23 BE 84		
Type, Length, PFC		07 02		7D 27 7D 22		
Type, Length, ACFC		08 02		7D 28 7D 22		
FCS		DF 10		DF 7D 30		
Stop		7E				

(C)2001-2002, Akihiro Shirahashi 30

PPPoEの接続の確立

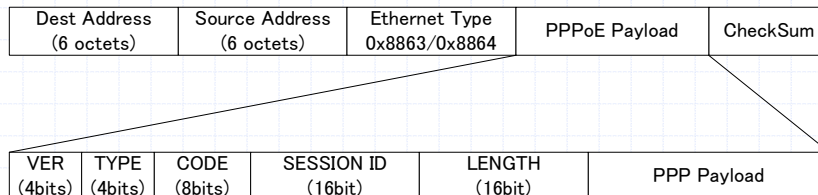
PPPoEのリンク確立は以下の手順で:

- ① クライアントがPPPoEのサーバを探す問い合わせをブロードキャスト
- ② PPPoEのサーバが、クライアントへ返答
- ③ クライアントがセッションの開始を要求
- ④ サーバがセッションIDを通知
- ⑤ 以下、PPPのネゴシエーションが始まる



PPPoEの packets フォーマット

PPPoE Ethernet フレーム



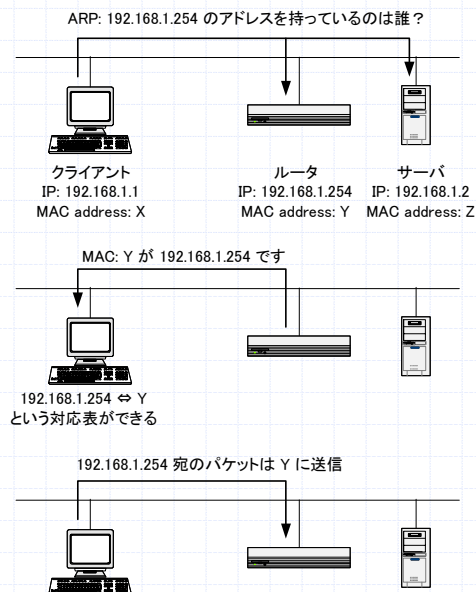
Ethernet Type 0x8863: Discovery Stage
Ethernet Type 0x8864: PPP Session Stage

PPPoEは何故必要か

- ◆データリンク層であるEthernetの上で、同じデータリンク層であるPPPをする意味は？
- ◆PPPにはユーザ認証の仕組みがあるが、Ethernetにはユーザ認証の仕組みがない
- ◆ユーザ認証の仕組みをEthernet上で使うことを主たる目的としてPPPoEが作られた

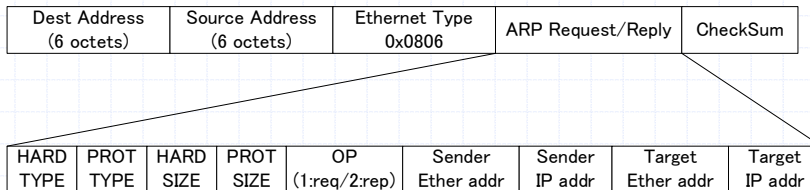
Ethernet上での通信は

- ◆ Ethernet上での通信はMACアドレスに対してフレームを送ることで実現される
- ◆ IPアドレスでは直接通信できない
- ◆ 宛先IPアドレスからMACアドレスを知る必要がある → このためのプロトコルがARP (Address Resolution Protocol)
- ◆ IPアドレスをブロードキャストのEthernetフレームに入れて送信 → そのIPアドレスを持つ機器がMACアドレスを返信
- ◆ 得られたMACアドレスは一定時間cacheして利用



ARPのパケットフォーマット

ARP Ethernet フレーム



Windows 2000 arp -a の出力

Interface: 0.0.0.0 on Interface 0x4

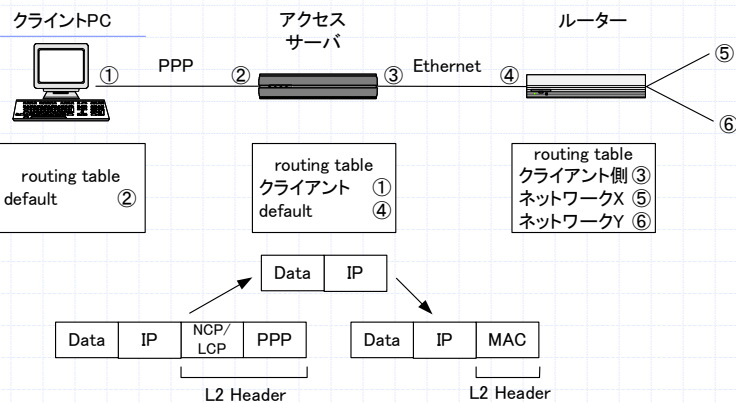
Internet Address	Physical Address	Type
10.32.10.238	00-00-66-61-xx-xx	dynamic

Interface: 61.215.25.135 on Interface 0x1000006

Internet Address	Physical Address	Type
61.215.25.1	00-50-2a-84-8c-00	dynamic
61.215.25.2	00-50-b9-00-01-35	dynamic

IPパケットの転送

- ◆ IPパケットは
クライアントPC → (PPP/PPPoE) → アクセス
サーバ → ルーター → ルーター → サーバ
と転送されていく
- ◆ ルーターは、それぞれ自分の持つ routing
table を参照して次の転送先を決める
- ◆ その routing table はどうやって決まる？



Routing table は

- ◆ Routing Table は、静的(static)または動的(dynamic)で決まる
- ◆ 末端ホストや、単純なネットワークのルータは routing table 情報を管理者が設定して静的に与える (static routing)
- ◆ 複雑なネットワークでは、RIP/OSPF/BGPといった routing protocol で隣のルータと情報交換をして、routing table を自動的に構成する (dynamic routing)

HTTP のリクエスト

- ◆ DNS の名前解決が出来て Web サーバの IPアドレスがわかると、次にはWebサーバに対してHTTPのリクエストが送られる
- ◆ HTTPは、パケットを送りっぱなしのUDPであるDNSと違いTCPである
- ◆ TCPでは、信頼性のある通信を保証するためTCPのセッションという手続きがある

TCP のセッションの確立

TCPセッションは次のように確立される

- ① クライアントからサーバにTCP同期要求(SYN)パケットを送信
 - ② サーバから同期要求+応答(SYN+ACK)パケットを返信
 - ③ クライアントから応答(ACK)パケットを送信
- この 3way handshake でTCPのセッションが確立

TCPの接続



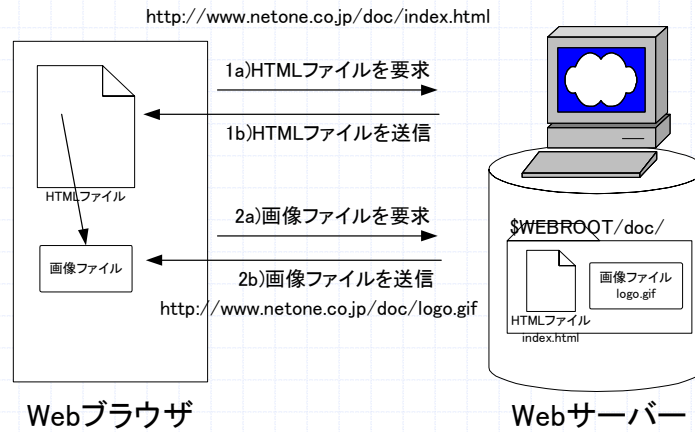
TCP の役割

- ◆信頼性のある、クライアントとサーバ間の
双方向データチャンネルを提供
 - コネクションの確立 (3way handshake)
 - 確認応答 (ACK)
 - 再送
 - 到着順序の保証
 - フロー制御 (輻輳制御)

HTTPのリクエストと応答

- ◆サーバのHTTPのポート(標準は80)にリク
エストが送られる
GET index.html HTTP/1.1
- ◆サーバからレスポンスが返される
HTTP/1.1 200 OK
Content-Type: text/html
<以下HTMLのコンテンツ>
- ◆基本は、1 HTTP request/1 TCP session

Web画面が表示されるまで



HTTPのメッセージ

リクエスト・メッセージ

メッセージ・ヘッダ	リクエスト・ライン
	リクエスト・ヘッダ
	一般ヘッダ
	エンティティ・ヘッダ
	その他
空行 (CR+LF)	
メッセージ・ボディ	

レスポンス・メッセージ

メッセージ・ヘッダ	ステータス・ライン
	リクエスト・ヘッダ
	一般ヘッダ
	エンティティ・ヘッダ
	その他
空行 (CR+LF)	
メッセージ・ボディ	

リクエストとステータス

◆ リクエスト・ライン

METHOD URI VERSION

METHOD

HEAD, GET, POST, PUT,
DELETE,...

URI

/doc/index.html

VERSION

HTTP/1.1

◆ ステータス・ライン

VERSION STATUS PHRASE

VERSION

HTTP/1.1

STATUS

200 OK

403 Forbidden

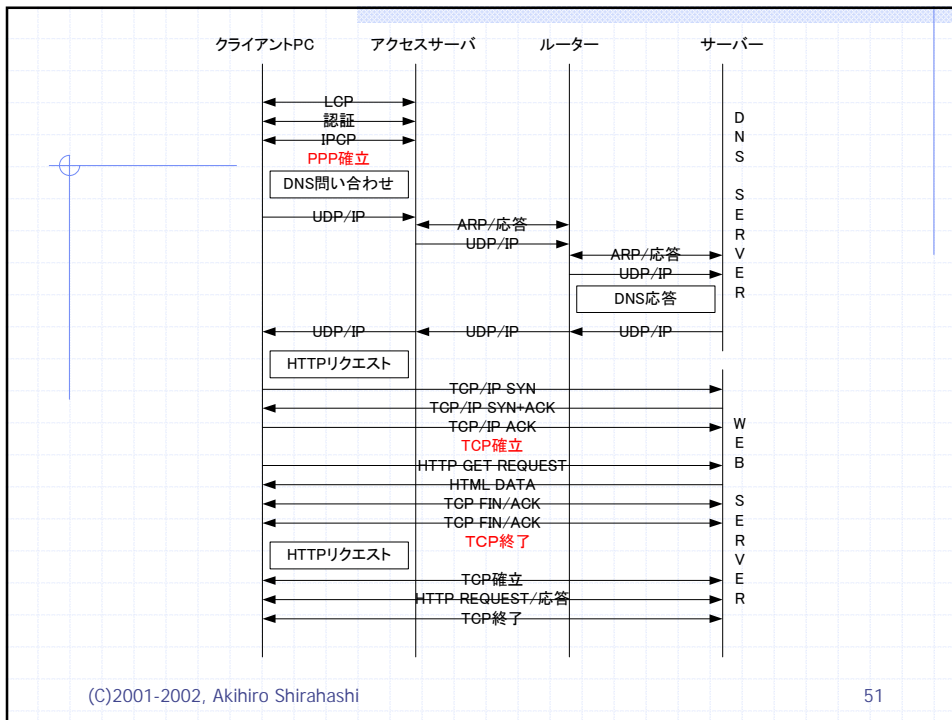
404 Not Found

PHRASE

エラー内容等を表すテキスト

まとめ

クリックしてからホームページが表示
されるまでのシーケンス



関連RFC一覧

- ◆ IP RFC791
- ◆ UDP RFC768
- ◆ TCP RFC793
- ◆ DNS RFC1034,1035
- ◆ HTTP RFC2616
- ◆ PPP RFC1661
- ◆ PPP/LCP RFC1570
- ◆ PPP/IPCP RFC1332
- ◆ PPPoE RFC2516
- ◆ ARP RFC826

参考文献

- ◆ 詳解TCP/IP Vol.1 プロトコル
(ピアゾン・エデュケーション)
- ◆ インターネットRFC事典
(アスキー)
- ◆ ネットワークはなぜつながるのか
知っておきたいTCP/IP、LAN、ADSLの基礎知識
(日経BP)
- ◆ インターネット・プロトコル詳説
<http://www.atmarkit.co.jp/fnetwork/rensai/netpro00/netpro01.html>