

IPv6入門

～Internet Protocol Version 6～

NTT情報流通プラットフォーム研究所

藤崎 智宏

fujisaki@syce.net



構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

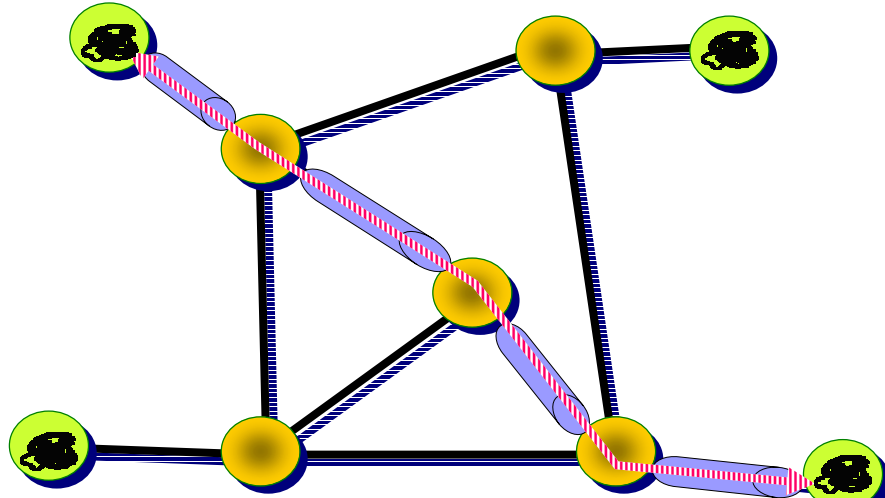
構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

インターネットの始まり

- 1960年代半ば(冷戦の真っ直中), 米国国防総省で, 「核戦争に耐えうるネットワーク」に関する技術開発がスタート(**ARPA**)
 - 回線交換電話網は脆弱
 - パケット交換型のネットワークを指向
- 1970年代にTCP/IPとして確立
- 以後, 現在まで30年に及ぶインターネットの歴史の根源

回線交換型ネットワーク

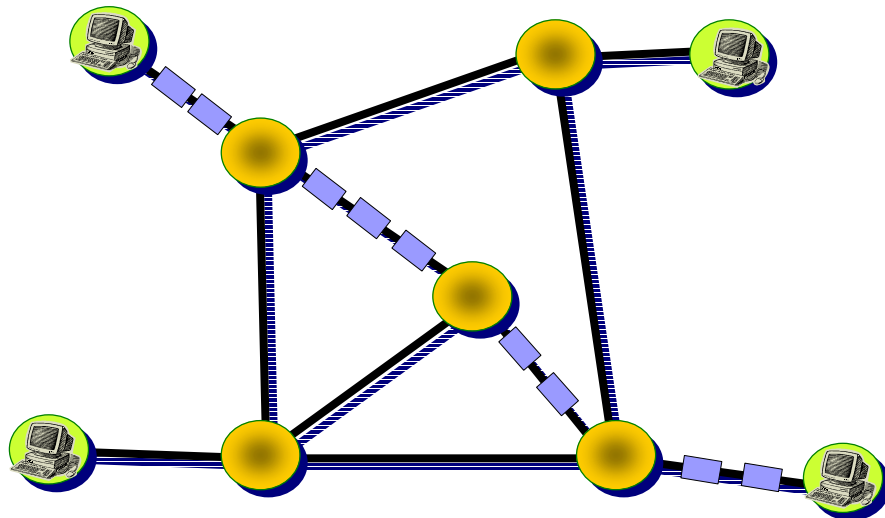


2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

パケット交換型ネットワーク

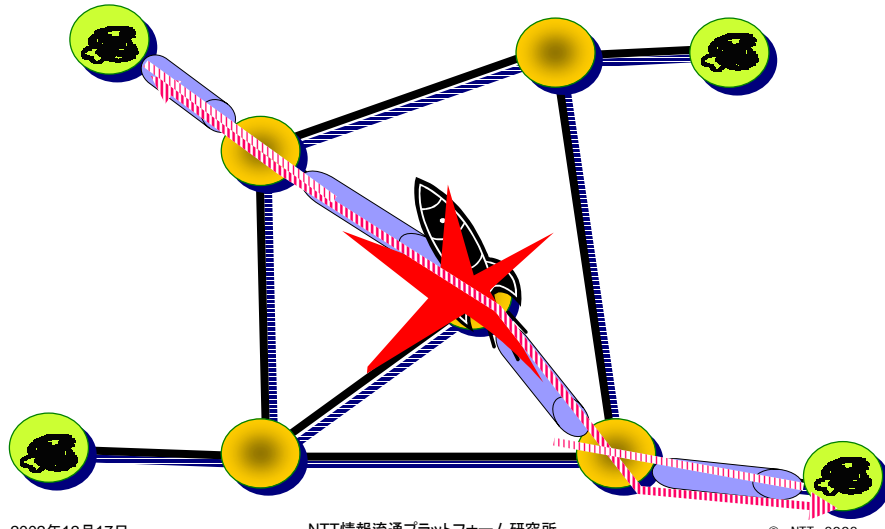


2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

回線交換型ネットワーク

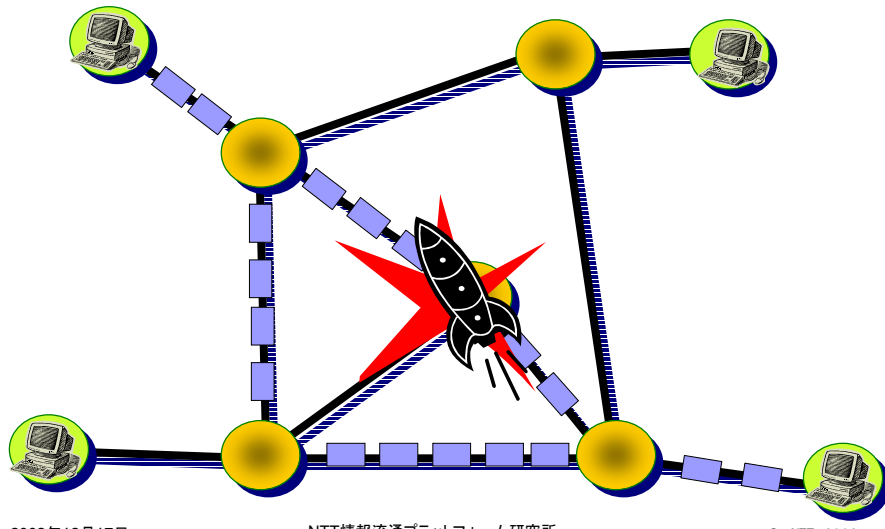


2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

パケット交換型ネットワーク



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

インターネットの発展

- 米国内の研究期間, 大学などの相互接続からスタート
- 企業, 一般団体などへ拡大
- 国境を超えて全世界的なネットワークへ
- 目的も軍事→学術研究→商用と一般化

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

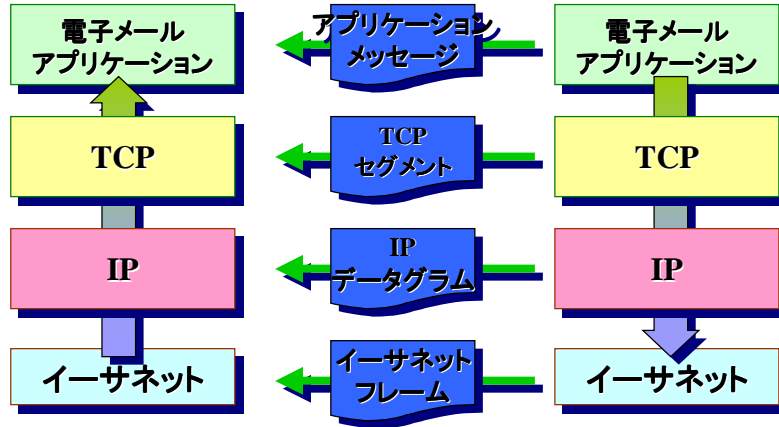
IP = インターネット・プロトコル

- 「プロトコル」とは通信を行うための手順・決
事
 - 手紙: 表に郵便番号・住所・氏名を書いて、ポスト
に投函する
 - 電話: 相手の電話番号を入力し、「もしもし〇〇で
すが...」と話し出す
 - 会談: あらかじめアポイントをとり、時間場所を取
り決め、5分前には到着する

ネットワークでのプロトコル

- 情報をネットワークを通した相手とやりとりす
るための手順
 - 電子メールを相手のメールボックスに届けるため
のやりとり
 - WWWサーバにアクセスしてホームページを見る
ためのやりとり

電子メール送信の裏側



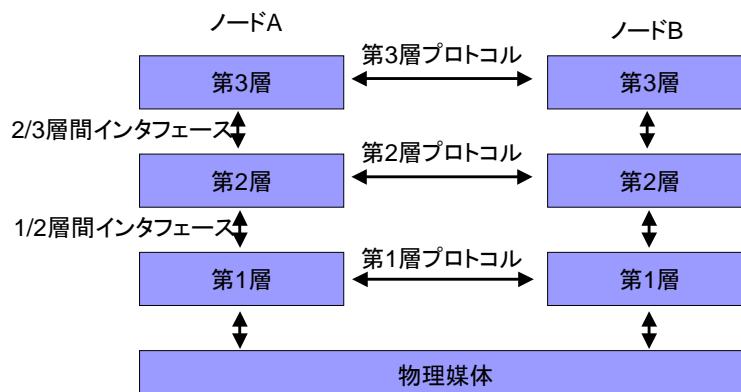
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

層・プロトコル・インタフェース

- ネットワークはいくつかの層が積み上がっている



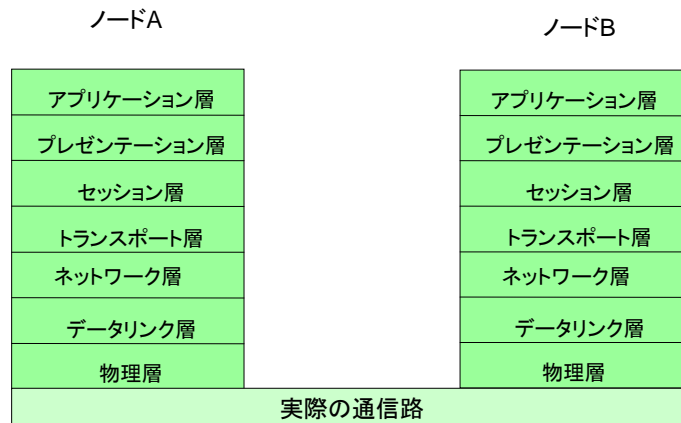
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

OSI参照モデル

- 「通信」プロトコルを説明する際によく用いられる7層モデル



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

TCP/IP参照モデル

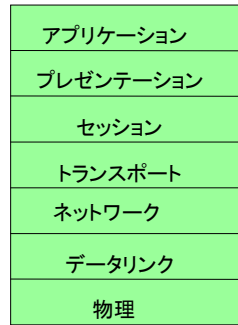
アプリケーション層	電子メール SMTP	WWW HTTP	telnet	ftp
トランスポート層	TCP		UDP	
インターネット層	IP = Internet Protocol			
ネットワーク インタフェース層	イーサネット	ATM	FDDI	

2002年12月17日

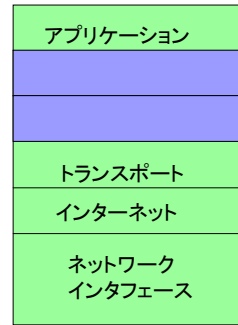
NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

OSIとTCP/IP

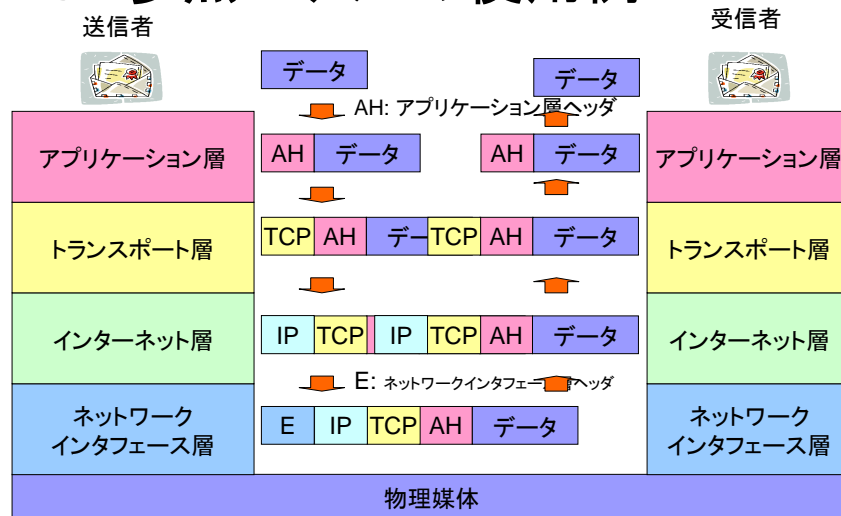


OSI

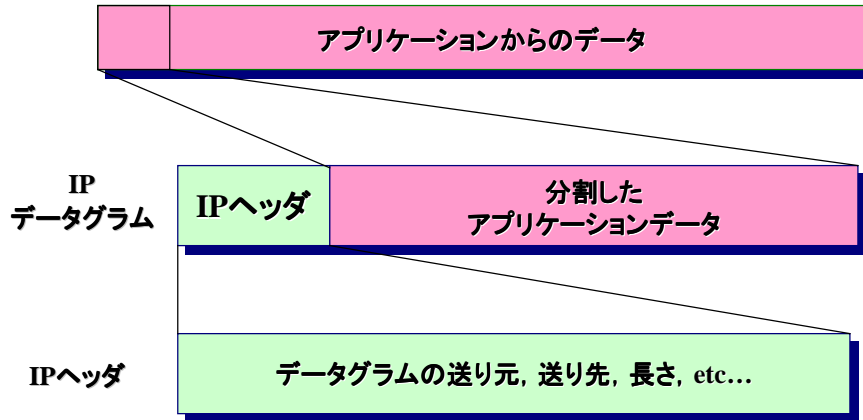


TCP/IP

TCP参照モデルの使用例



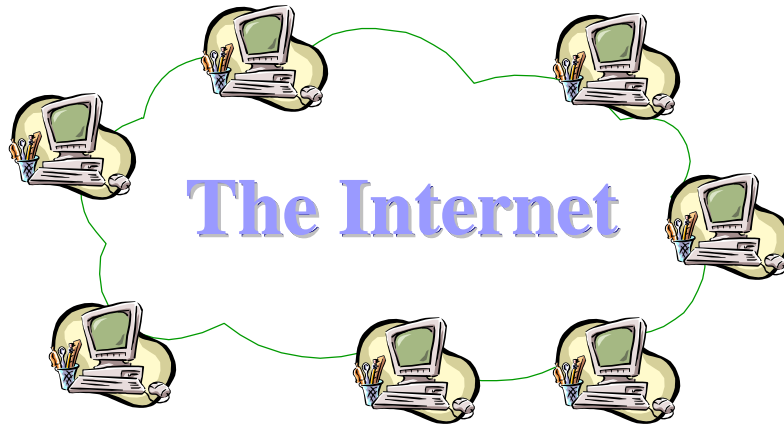
IPデータグラムとヘッダ



インターネットプロトコルの仕事

- アプリケーションからの情報を、ネットワークフレームサイズに収まるように分割する
- 情報の送り先などの**ヘッダ情報**を付加する
- 分割した情報とヘッダ情報をIPデータグラムとして構成する
- IPデータグラムを始点ホストから終点ホストまで転送する

送り先をどう特定する？



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPアドレス

- 電話は電話番号で相手を特定する
- 手紙は住所と名前で相手を特定する

- IPネットワークにも相手を特定するための何かが必要！

IPネットワークでの住所 → IPアドレス

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPアドレス

- インターネット上でホストを一意に特定するための番号
- IPv4では32ビット, IPv6では128ビットの0と1による数値
- IPで通信するすべてのホストにIPアドレスは存在する

IPアドレスの表記

- IPv4
 - 8ビットずつを10進数であらわし、ピリオドで区切った4つの数字
 - 8ビットなので、それぞれは0から255

11001010	00001100	00011110	00100110
----------	----------	----------	----------

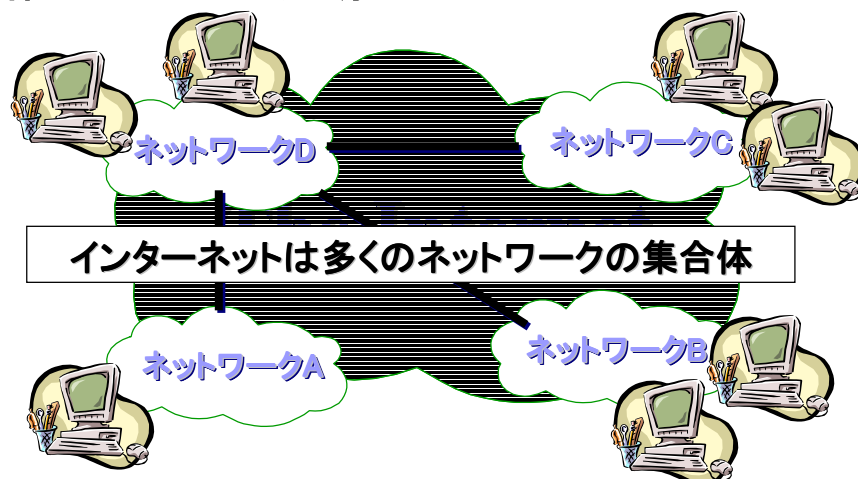
202 . 12 . 30 . 38

IPのアドレス表記

■ IPv6

- 128bitはとっても長い！
- IPv4と同じように書くと...
 - 123.123
- 16ビットごとに区切って16進数で書く
- 区切り文字は“:”(コロン)
 - FFDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210

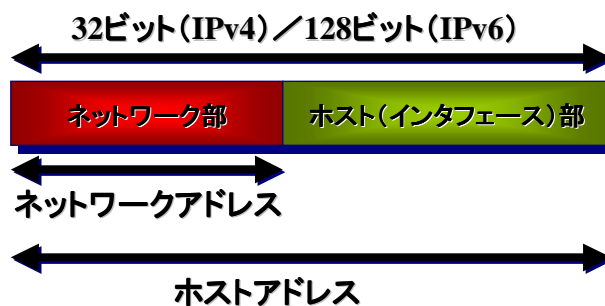
相手までの道筋は？



ネットワークの識別

- IPアドレスによって通信相手を特定するだけでは、IP データグラムを届けることはできない
- インターネットはネットワークの集合なので、相手がどのネットワークにいるのかが分からなければいけない
- IPアドレスで、相手のネットワークの識別と、相手ホストの特定ができるとうれしい！

IPアドレスの意味付け



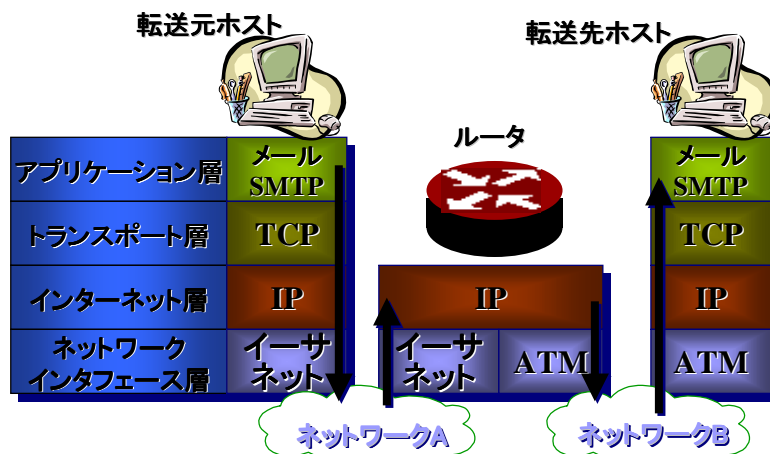
- IPアドレスを「ネットワークを表す部分」と「ホストを表す部分」に分割

ネットワーク部の大きさは？

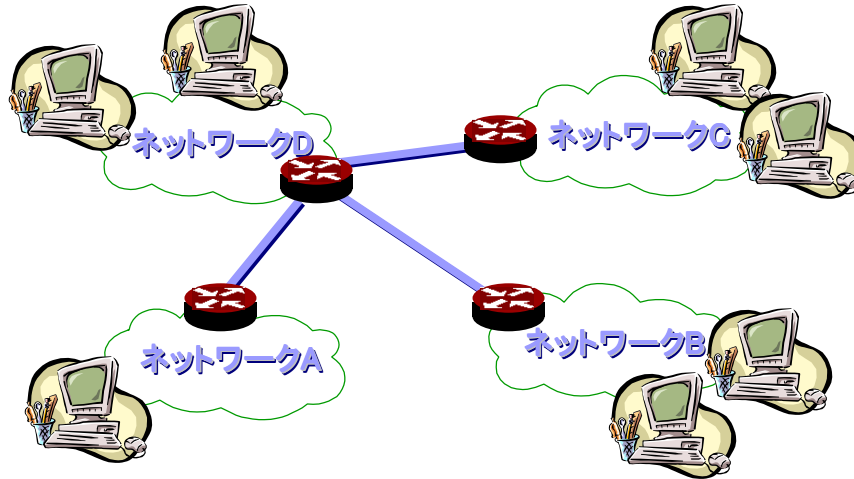
- IPv4
 - 昔は固定, 今は可変
- IPv6
 - ネットワーク部64ビット, インタフェース部64ビット



IP データグラムの転送



IPデータグラムの転送経路は？



2002年12月17日

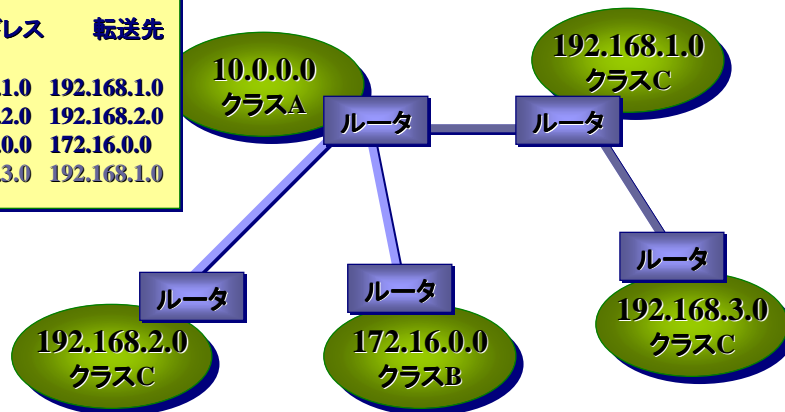
NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPデータグラムの転送経路は？

経路表

終点アドレス	転送先
192.168.1.0	192.168.1.0
192.168.2.0	192.168.2.0
172.16.0.0	172.16.0.0
192.168.3.0	192.168.1.0



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

経路制御(ルーティング)

- IPデータグラムをどのルータに投げればよいのか？ → 経路制御
- 各ルータは最終あて先ネットワークと、それに対応する中継ルータの一覧情報を保持する → 経路表
- ネットワークが増えれば経路表のエントリ数も増える

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- **IPv4 が抱える問題**
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

どんな問題があるの？

- アドレスが需要に対応できないかも...
 - 電話番号の桁数より少ない
 - 携帯電話からのインターネット接続, 常時接続サービスの普及(ゲーム機等)
- 経路数の増加
 - IPv4アドレス配布は当初アバウト
 - ネットワークの数が増えると経路情報が増える
 - 経路情報が増えるとルータの負荷が増大する

“32ビット”ってどのくらいの大きさ？

- 32ビット
 - $2^{32} = 4,294,967,296$ (43億弱)
- 世界人口を60億人とすると...
 - みんなにあげるには既に足りない
- 携帯電話や家庭用ゲーム機, インターネット常時接続サービスなどを考えると, 今後さらに必要なIPアドレス数は増える

解決へ向けて

- CIDRの導入
 - CIDR(サイダ, と読まれる)
 - Classless Inter-Domain Routing

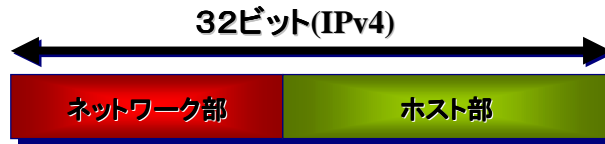
- プライベートアドレスの導入

CIDR導入前の仕組み

- クラスフルなアドレス構造

- 固定されたネットワークアドレス

ネットワーク部の大きさは？

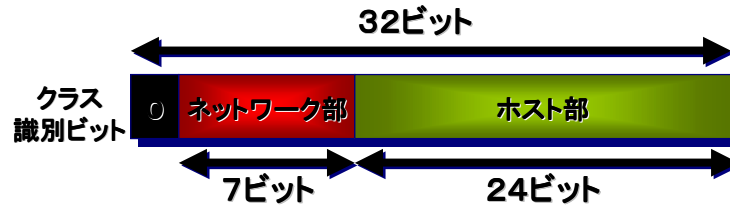


- ネットワーク部の大きさによって使えるネットワークアドレスの数とホスト数が決まる
 - 8ビットならネットワーク256, ホスト1600万
 - 16ビットならネットワーク, ホスト共に6万5千

ネットワークアドレス表記

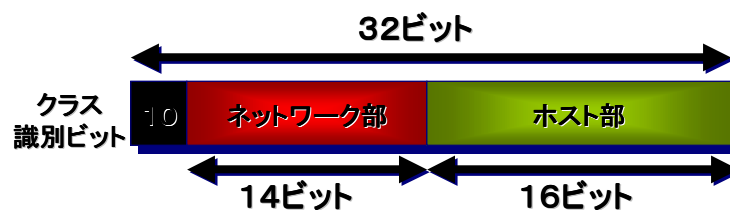
- IPアドレスの先頭のクラス識別ビットを見ればアドレスクラスがわかり、どこまでがネットワーク部かを判別できる
- ネットワークアドレスはホスト部を0で埋めた形で表記する
 - 10.0.0.0 (クラスA) 00001010...
 - 172.16.0.0 (クラスB) 10101100...
 - 192.168.1.0 (クラスC) 11000000...

IPv4アドレスのクラス: クラスA



- クラス A アドレス（大規模ネットワーク用）
 - ネットワーク内に1600万のホストを持つことができる
 - インターネット全体で128のネットワークに割り当てることができる

IPv4アドレスのクラス: クラスB



- クラス B アドレス（中規模ネットワーク用）
 - ネットワーク内に65536のホストを持つことができる
 - インターネット全体で16384のネットワークに割り当てることができる

IPv4アドレスのクラス: クラスC



- クラス C アドレス (小規模ネットワーク用)
 - ネットワーク内に256のホストを持つことができる
 - インターネット全体で200万のネットワークに割り当てることができる

経路情報の数を抑制するには？

1つのネットワークに対して
1つのネットワークアドレスを割り当てる

1 ネットワーク1クラス

- 1000個のホストを持つネットワーク
 - クラスC(ホスト数256)だと足りない
 - クラスB(ホスト数6万5千)だと多すぎる？
- クラスCを4つあげれば足りるけど、経路情報も4つになってしまう
- じゃあクラスBをあげよう！

アドレスの節約を考慮すると...

- クラスBを奮発していたけど、クラスBネットワークは1万6千しか作れない
- 仕方ないのでクラスCを複数個あげる

当然経路情報が急増！！

クラスを捨てる！

- クラスは8ビット単位でしかネットワークの大きさを定義できないので、アドレス利用の無駄が大きい
- アドレスクラスは経路情報爆発の原因の一つ
- ルータの性能的限界があるので経路情報はなんとか抑えたい

CIDR

- CIDR...Classless Inter-Domain Routing
- ネットワークアドレスの区切りを8ビットごとではなく、どこでも区切れるようにする
- IPアドレスの先頭ビットでクラスを識別する手法は廃止

クラスフル から クラスレス へ

CIDR表記

202 . 12 . 30 . 38



ネットワークアドレス

先頭ビットが110なので、クラスフルな考えのもとでは
「クラスC」

ネットワークアドレスは24ビット
ホスト数 256

CIDR表記

202 . 12 . 30 . 38 / 22



ネットワークアドレス

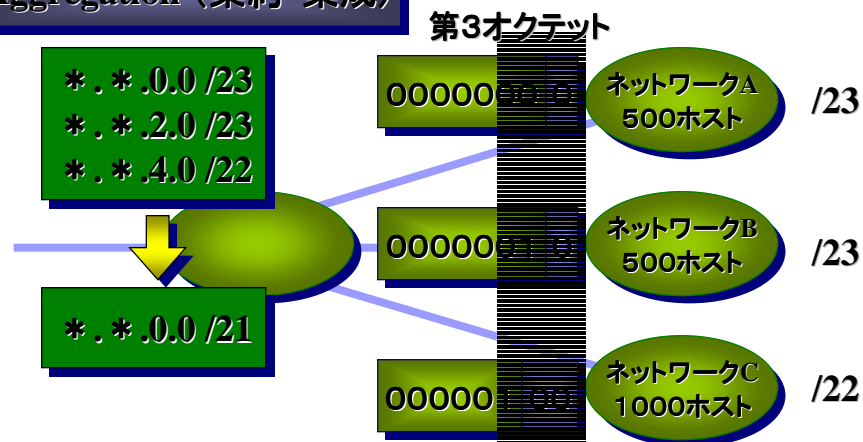
202. 12. 30. 38 / 22
というCIDR表記のもとでは
ネットワークアドレスは22ビット
ホスト数 1024

CIDRなら...

- ネットワークに対してちょうどよい大きさのアドレスを割り当てることができる
- 複数のクラスフルアドレスを割り当てていたネットワークも一つのアドレスブロックにできるので経路情報を節約できる
- ネットワークトポロジに従った割り振りを行うことでさらに経路情報を減らせる

経路情報の集約

Aggregation (集約・集成)



無駄はなくしたけど...

- CIDRの導入により,アドレス割り当ての無駄は減少
- 経路情報はうまく集約(aggregate)できた
- でも...インターネットの発展に対して32ビットのアドレスは小さすぎる

なにかもっといい方法は...

- IPアドレスはインターネットに接続しているすべてのホストに一意につけられていなければならない
- じゃあ、インターネットに直接接続する必要のないホストには割り当てなくてよい?
 - 社内ネットワークのみに接続しているホスト
 - プロキシサーバを介してインターネットにアクセスしているホスト

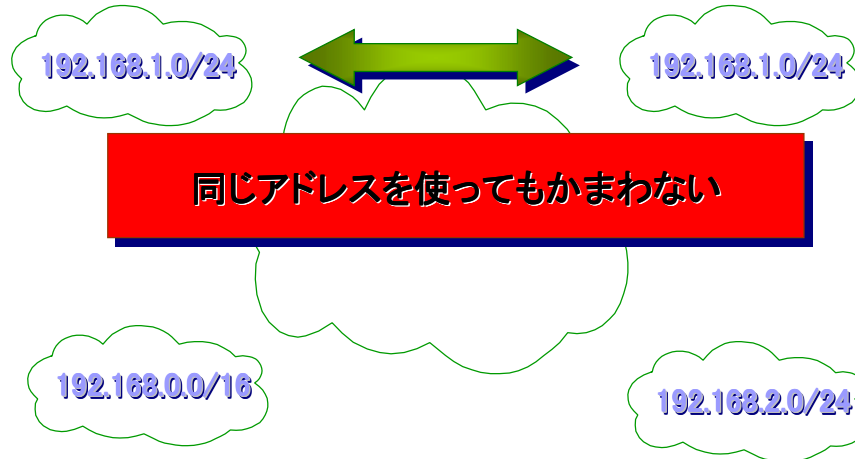
グローバルとプライベート

- IPアドレスには、インターネット上で一意に割り当てられなければならないグローバルアドレスと、閉じた環境の中で自由に使えるプライベートアドレスがある
- プライベートアドレスを用いたネットワークはインターネットに直接接続できない
- プライベートアドレスは異なるネットワークで同じアドレスを使うことができる

プライベートアドレス

- RFC1918 で以下のアドレスがプライベートアドレスとして定義されている
 - 10.0.0.0 ~ 10.255.255.255 (10.0.0.0 /8)
 - 172.16.0.0 ~ 172.31.255.255 (172.16.0.0 /12)
 - 192.168.0.0 ~ 192.168.255.255 (192.168.0.0 /16)
- プライベートアドレスはインターネットに直接接続しない限り自由に使ってよい

プライベートアドレスの利用



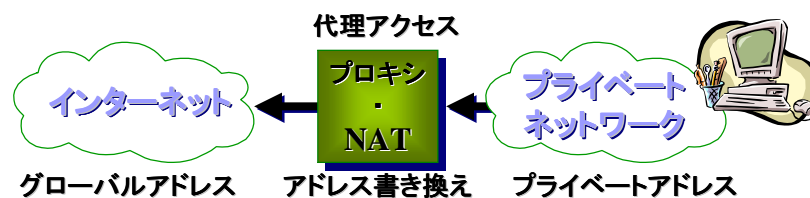
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

プライベートアドレスの活用

- プライベートアドレスのネットワークは直接インターネットに接続できないが、プロキシサーバやNATを用いることで間接的に接続可能



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

問題は解決したか？

- CIDRは有効に機能し, 割り当ての節約・経路情報の集約はある程度成功
 - CIDRの導入: 1994年ころ

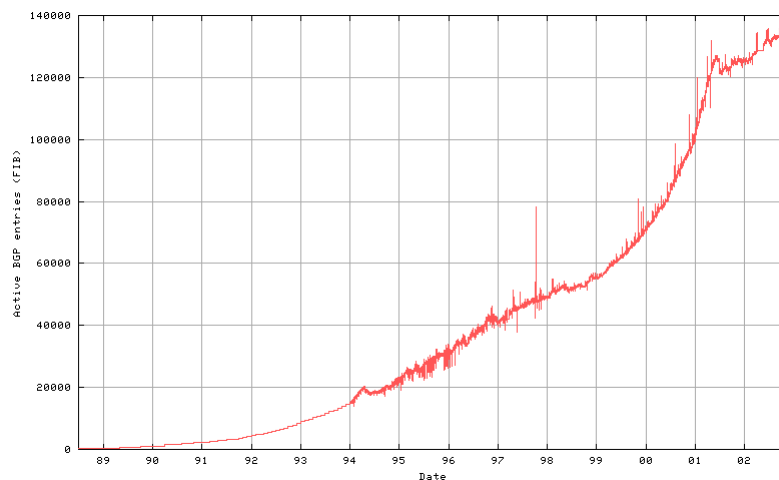
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

経路制御情報の現状

- Growth of Global Routing Table
<http://bgp.potaroo.net/as1221/bgp-active.html>



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

問題は解決したか？

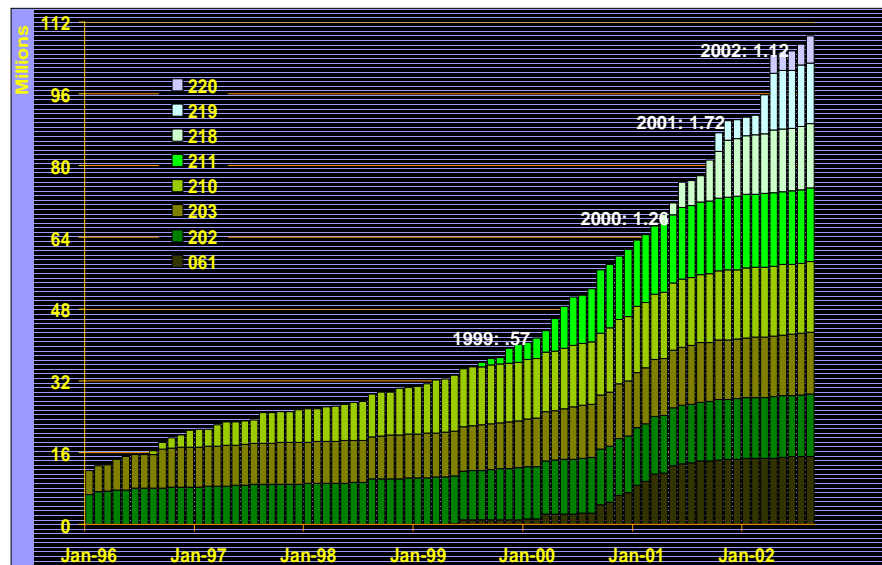
- CIDRは有効に機能し, 割り当ての節約・経路情報の集約はある程度成功
 - CIDRの導入: 1994年ころ
 - でも根本的にアドレスが足りない

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv4 Addresses Allocated



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

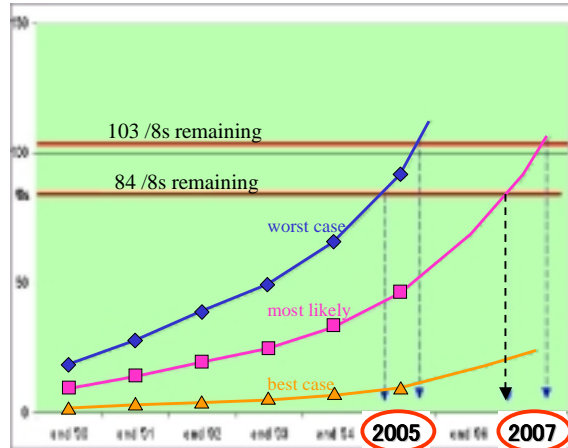
© NTT 2002

IPv4アドレスの寿命予測

いろいろなところで
いろいろな予測

**この予測だと、
2005年頃にはかなり深刻**

通常のサーバにさえもアド
レスが割り当てられなくなる



Global demand for Cellular and ADSL/Cable modem - exhaustion dates
(ICANNのAdhoc資料から引用)

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

問題は解決したか？

- CIDRは有効に機能し，割り当ての節約・経路情報の集約はある程度成功
 - CIDRの導入：1994年ころ
 - でも根本的にアドレスが足りない
- NATとプライベートアドレスでアドレスはかなり節約されている
 - NATでは動作しないIPアプリケーションも多い
 - NAT内の機器を外から呼べない

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

じゃあ作り直そう

- という流れで IP というプロトコルの見直しからやろうじゃないか、ということに.

→ **IPv6** へ

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- **次なるプロトコルへ(IPv6)**
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

IPv4 からIPv6へ

- IPv4は20年以上にわたりインターネットを支えてきた基幹技術
- しかし有限な資源であるためIPv4アドレスは必ずいつかは足りなくなる
- 根本的な解決を目指してIPv6へ

IP Next Generation

- 1991年7月
 - IPアドレスが足りなくなる、という研究を受けてIETFが調査開始
- 1992年11月
 - RFC1380 アドレスの先行き調査結果
 - 次世代のインターネットプロトコル検討開始
- 1993年12月
 - RFC1550 IPngへの機能要求

機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成, 細分化の防止
- プラグ&プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

IPv6への道

- 1995年1月
 - RFC1752 SIPPをベースにアドレスを128bit化
 - IPng(next generation)から IPv6 (IP version 6)へと正式に改名
- 1995年12月
 - RFC1884 IPv6 Addressing Architecture
 - 1998年7月に RFC2373 として改定
- 1998年末 IPv6関係RFCがDSに
 - RFC2460 IPv6 Specification, etc...

機能的要求

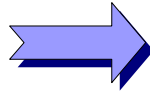
- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成, 細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

IPv6 のアドレス空間

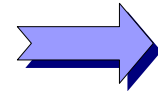
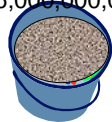
- アドレスの長さは128ビット！
 - IPv4 の4倍の長さ
 - IPv4 の 2^{96} 倍のアドレス数
- 2^{128} 個のアドレス数
 - だいたい 3.4×10^{38} 個
 - ばら撒いても陸地 1cm^2 あたり 2.2×10^{20} 個
- とにかく想像できないくらいたくさん！

アドレス空間の拡大

IPv4:
4,294,967,296 個
世界の人口:
約 6,000,000,000 人

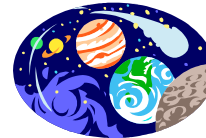
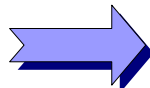
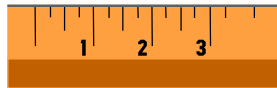


IPv6:
340,282,366,920,938,463,463,
374,607,431,768,211,456 個



IPv4
バケツ一杯分の砂の数

IPv6
太陽一個分(地球100万個分)
の体積の砂の数



(IPv4)長さで1mm
2002年12月17日

(IPv6)銀河系の直径の84,000倍

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6のアドレス表記

- 128bitはとっても長い!
- IPv4と同じように書くと...
 - 123.123.123.123.123.123.123.123.123.123.123.123.
123.123.123.123
- 16ビットごとに区切って16進数で書く
- 区切り文字は“:”(コロン)
 - FFDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6 のアドレス省略表記

- 連続する 0 のブロックは省略できる

- 1080 : 0 : 0 : 0 : 8 : 800 : 200C : 417A

- 1080 : : 8 : 800 : 200C : 417A

- 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : 0 : FF01 : 9123

- :: FF01 : 9123

- 省略できるのは1ヶ所だけ

- 0 : 0 : 0 : FF01 : 9123 : 0 : 0 : 0

- :: FF01 : 9123 : 0 : 0 : 0

- :: FF01 : 9123 :: ← こうは書けない

IPv6 アドレスの種類

- アドレス形式識別

- 上位ビットでIPv6 アドレスの種類を指定



0...0(128ビット)	Unspecified	::/128
0...1(128ビット)	ループバック	::1/128
1111 1110 10	リンクローカルユニキャスト	FE80::/10
1111 1110 11	サイトローカルユニキャスト	FEC0::/10
1111 1111	マルチキャストアドレス	FF00::/8
それ以外	グローバルユニキャスト	それ以外

機能的要求

- たくさんのアドレス
- **集約できる経路情報**
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- プラグ&プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

経路情報の集約

- 経路情報を集約するためには...
 - クラスレスなアドレス構造
 - ネットワークの構造に応じた割り振り
 - 同じネットワークには連続したアドレスブロックを割り振る
- IPv6 は IPv4 での経験を元に集約可能 (Aggregatable) なアドレス構造となっている。

集約可能グローバルユニキャストアドレス(RFC2374)

- ネットワークポロジに応じた階層構造を持つアドレス

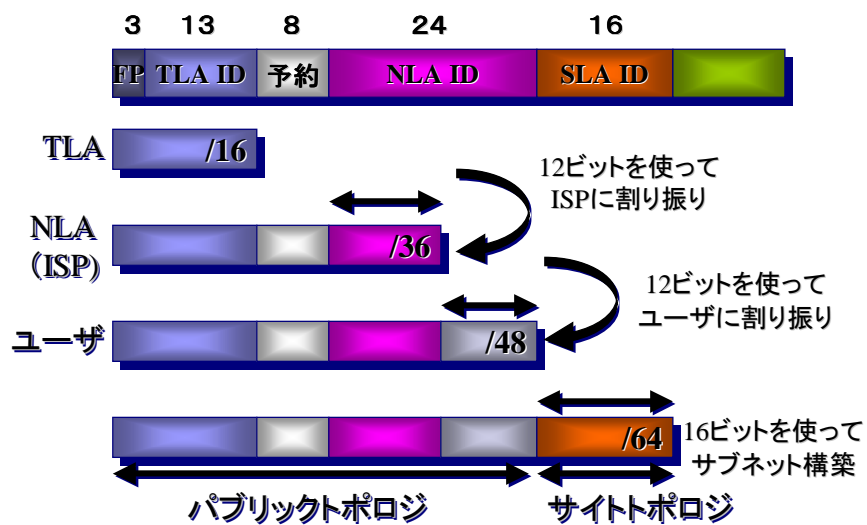


パブリックポロジ サイト
トポロジ

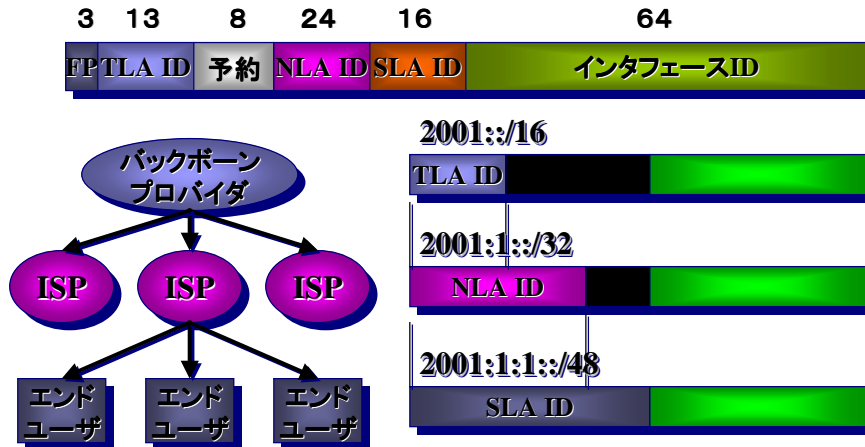
FP	アドレス形式プリフィクス「001」
TLA ID	最上位階層集約子
NLA ID	次階層集約子
SLA ID	サイト階層集約子
インタフェースID	インタフェース識別子

注: IETF等でパブリックポロジビット境界, 呼称の見直し進行中.

アドレス割り振りの例



階層的な割り振り



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成, 細分化の防止
- プラグ&プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv4 のヘッダ



- IHL(ヘッダ長)、オプション
 - 可変長が諸悪の根源
- TOS
 - 使われていない
 - でも優先付けは必要
- ID, フラグ, オフセット
 - 細分化があるから
- プロトコル
 - 上位層プロトコルは知らなくていい
- ヘッダチェックサム
 - 意味ない

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6 のヘッダ



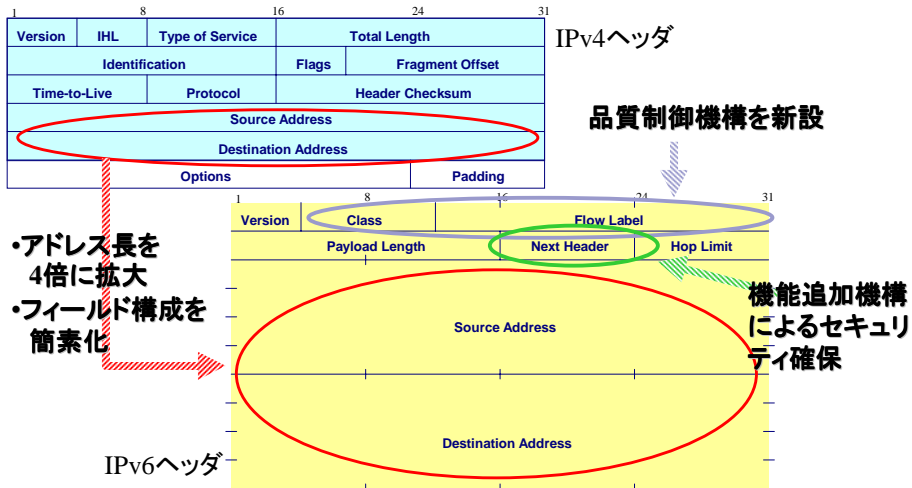
- クラス、フローラベル
 - 優先度の設定
- ペイロード長
 - 基本ヘッダより後ろの長さ
- 次ヘッダ
 - オプションヘッダが続く場合の種類
- 中継制限
 - データグラムの最大中継数

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv4ヘッダとIPv6ヘッダ



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

いろいろな機能はオプションで

- IPv6 ヘッダは基本情報のみでサイズ固定
- 拡張機能は独立ヘッダとして連結する



基本ヘッダは固定長なので処理が単純
 必要な機能情報だけを付加できる
 将来的な拡張にも柔軟に対応可能

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

経路中での細分化禁止

- ルータ負荷の原因である細分化禁止
- 経路途中での細分化を起こさないようにするためには...
 - ネットワークにはMTUが存在する
 - MTU以上のIPデータグラムを送ってはいけない
 - 始点から終点までで経由するすべてのネットワークのMTUを調べ、その最小値をデータグラムサイズとする
- IPv6 は経路上の最小MTUを探索する

機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成, 細分化の防止
- **プラグ & プレイによる簡単な設定**
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

ルータが教えてくれるさ！

- IPv6では、ネットワークに接続するとルータが設定に必要な情報をインタフェースに教えてくれる
- インタフェースはルータからのネットワーク情報と、自分のインタフェースIDでアドレスを生成



なんでこんなに簡単なの？

- ネットワークインタフェースにはもともと一意な番号が割り振られている
- それを利用すればインターネット上で一意なアドレスを作るのは容易
- インタフェースIDだけで64ビットもある
- ネットワークIDの目的は経路情報の集約

DHCP と何が違うの？

- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) はあらかじめプールされたアドレスを割り当てる
 - DHCP 用アドレスを予約しておく必要がある
 - 毎回違うアドレスが割り当てられる可能性もある
 - 割り当てた分, 覚えておかなければならない
- IPv6 の自動設定はインタフェースが持つID にネットワーク情報を付加してアドレスを生成するもの
 - アドレスは最初からインタフェースが持っている
 - 同じネットワークならアドレスは変わらない
 - 割り当てたのを覚えておかなくてよい

➡ ステートレス自動設定

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6でもDHCPはできる

- ステートフル自動設定
 - アドレスプレフィックスをルータからもらい, その他のネットワークパラメータをDHCPからもらう, といった使い方もできる
 - が, IPv6のDHCPはまだ標準化中...

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成, 細分化の防止
- プラグ & プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

プロトコルレベルでの機能拡張

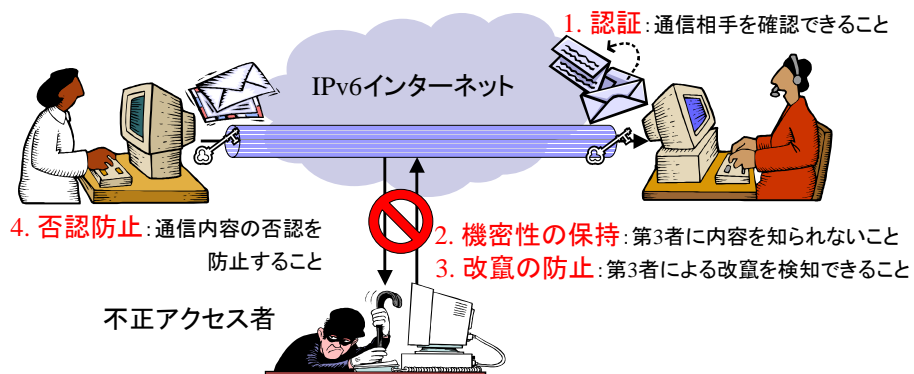
- セキュリティ機能
 - 通信するインタフェース間の認証と機密性を保持
 - IPsec を標準装備 (IPv4にもあるけど...)
- 通信の優先度を指定可能
 - リアルタイム通信が必要なものには高い優先度を設定
 - 利用方法などはまだ研究段階

IPsec

- 通信を行う相手が正しい相手であるかどうかの確認ができる。(認証)
- 通信内容を経路途中で覗き見されないようにすることができる。(暗号化)
- IPv6 の拡張ヘッダを用いて実装

セキュリティのサポート

- インターネットをあたかも専用線のように安全な通信路として利用可能にする技術
- インターネットの基本プロトコルレベルで**4機能**を実現



セキュリティメカニズム (IPsec)

(RFC2401; Security Architecture for the Internet Protocol)

IPsecの仕組み

- 認証ヘッダ
 - 改竄の防止、認証、否認の防止
 - デフォルトアルゴリズム: MD5
- 暗号化ペイロード
 - 機密性の保持
 - デフォルトアルゴリズム: DES

パケット単位での
セキュリティ機能
を実現



2002年12月17日

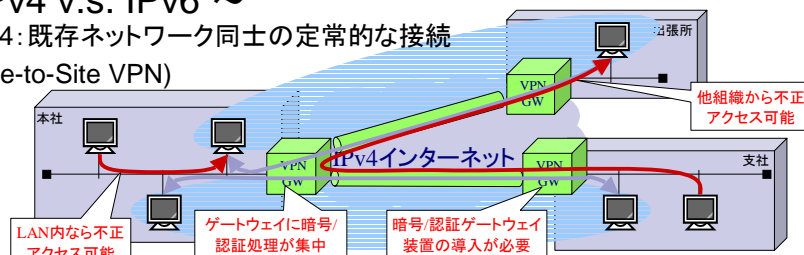
NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

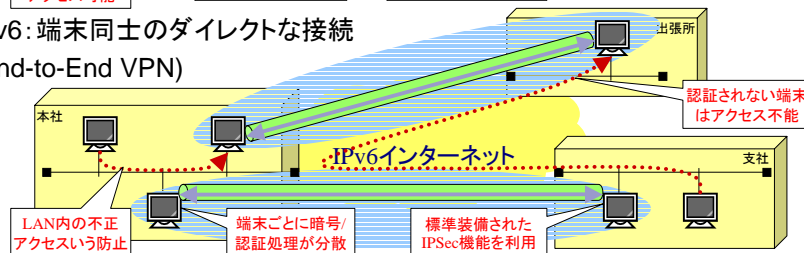
セキュアネットワーク利用形態の比較

~ IPv4 v.s. IPv6 ~

- IPv4: 既存ネットワーク同士の定常的な接続 (Site-to-Site VPN)



- IPv6: 端末同士の直接的な接続 (End-to-End VPN)



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

機能的要求

- たくさんのアドレス
- 集約できる経路情報
- 単純なヘッダ構成, 細分化の防止
- プラグ&プレイによる簡単な設定
- セキュリティやリアルタイム性確保などの機能の標準実装
- IPv4からの単純で柔軟な移行

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

IPv4からIPv6への移行

- 移行を行うために必要なことは何か？
- IP のプロトコル変更により必要となるサービスのな変更は何か？
- どのタイミングでどのように移行すればよいのか？
- IPv4 は使えなくなってしまうのか？

移行による影響



アプリケーション層	メール SMTP	WWW HTTP	アプリケーション	ルータ制御 アプリケーション
トランスポート層	TCP	UDP	オペレーティング システム	ルータ制御 OS
インターネット層	IP			経路制御部
ネットワーク インタフェース層	イーサ ネット	ATM	ネットワーク インタフェース	ネットワーク インタフェース

IPを用いるすべての部分に変更が必要！

変更が必要な点

- アプリケーション
 - IPv6 のアドレス表記の入出力
 - TCP/IP とのアプリケーションインタフェース部分
- オペレーティングシステム
 - IPv6 のアドレス表記の理解
 - IPv6 固有の機能の実装
 - インタフェースドライバの IPv6 対応
- ルータ
 - IPv6 の経路情報の管理

DNS のIPv6 対応

- インターネットの基幹サービスはDNS
- DNSのIPv6対応は,
 - IPv6アドレスが引けること
 - IPv6でDNSにききに行けること

DNS のIPv6 対応

- IPv6データの登録：AAAAレコード
 - DNS はドメイン名と IP アドレスの変換を行う
 - DNS の正引き(ドメイン名→ IP アドレス)に対して IPv6 の情報を登録(AAAA レコード)
 - DNS の逆引き(IP アドレス→ドメイン名)のために IPv6 のアドレス空間を新しく作成

- DNS の実装である BIND は対応済み
 - IPv6でききにもいける。

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

移行の流れ

- あるタイミングでインターネット上のすべてのネットワークを IPv4 から IPv6 へ一斉に置き換えることはできない
- ネットワーク単位で移行を進める
- ネットワークの中でも IPv4 と IPv6 を少しずつ置き換えていく
- いずれ全てが IPv6 の世界に移行する

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv4とIPv6の共存

- デュアルIPスタック
 - IPv4 と IPv6 の両方のプロトコルスタックを同時に扱う
- トンネリング
 - IPv6プロトコルをIPv4データグラムとして送出することで、IPv4ネットワークの中を転送

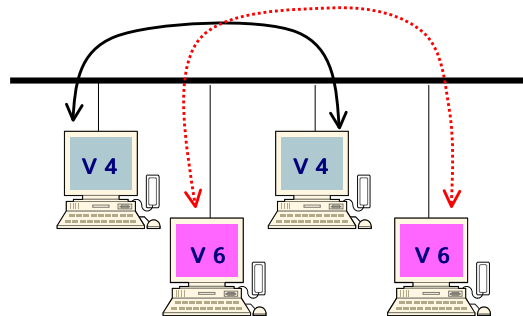
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv4とIPv6の混在

- IPv4ホストとIPv6ホストは直接通信不可
- IPv4ホスト同士の通信に影響を与えることなくIPv6ホスト間で通信を行えることを保証



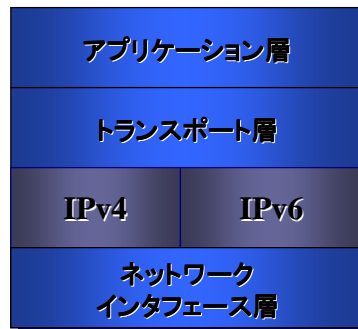
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

デュアルIPスタック

- IPv4 と IPv6 の両方を扱えるホスト, ルータ
- ネットワーク内で IPv4 と IPv6 を共存
- 徐々に全体を IPv6 へと移行させていく



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

トンネリング(1)

- IPv4 の世界で IPv6 ネットワークが通信をするためには？

IPv6 over IPv4 トンネリング



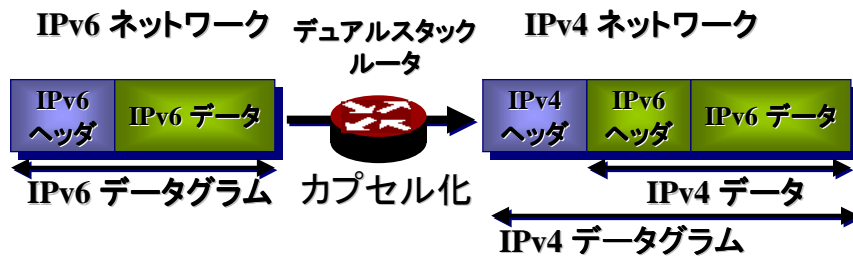
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

トンネリング(2)

- 異なるプロトコルパケットを通信経路のプロトコルでカプセル化して相手ネットワークまで転送する技術



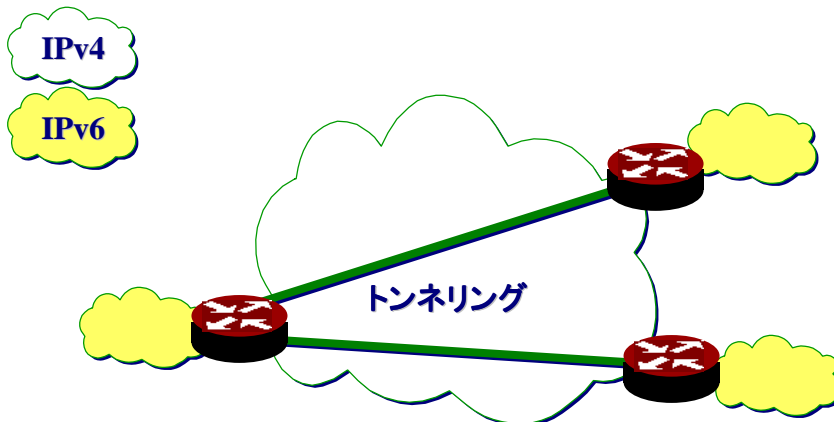
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

移行のストーリー(第1段階)

- IPv6 over IPv4 トンネリング



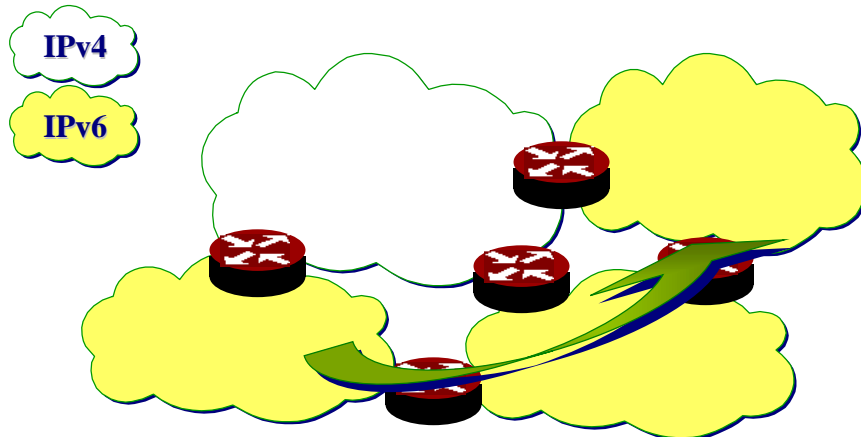
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

移行ストーリー(第2段階)

- ネイティブなIPv6プロトコルでの通信



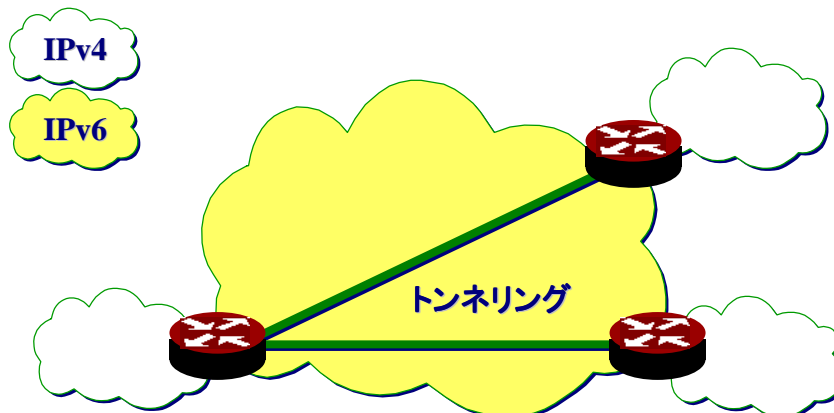
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

移行ストーリー(第3段階)

- IPv4 over IPv6 トンネリング



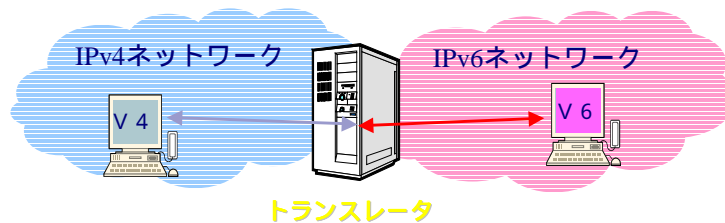
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

トランスレータ

- IPパケットのデータ部分を取り出しIPヘッダを付け替えることによりIPv6ホストとIPv4ホスト間の通信を実現



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv4 は使えなくなるのか？

- IPv4 は徐々に IPv6 で置き換えられていくと考えられるが、IPv4 が使えなくなるわけではない
- インターネットの基幹が IPv6 に置き換えられてもトンネリングなどを用いて通信することは可能
- IPv6 への移行はいずれ必ず行われる。IPv4 に特化しないサービス・ネットワーク運用を視野に入れておく必要はある

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

6bone

- IPv6 のプロトコル設計段階から運用されている実験用ネットワーク
- 実験用のアドレスブロック pseudo-TLA (pTLA) を割り振っている
- IPv6 のプロトコル仕様の検証、各実装の相互接続性、ソフトウェア・ハードウェアの動作検証に果たした役割は大きい
- 日本でも 6bone に接続する形で 6bone-jp が WIDE Project 主導の元で運用されている

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

6bone-jp と NSPIXP-6

- 6bone-jp
 - WIDE が 6bone から pTLA を取得し運用
 - 接続する組織は WIDE から NLA を取得
- NSPIXP-6
 - 1999年8月に運用開始された IPv6 によるインターネット相互接続点
 - IPv6 による基幹ネットワーク構成のための基盤

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- **IPv6への対応**
- IPv6アドレスの分配
- IPv6のこれから

基本ネットワーク・アプリケーションの IPv6 対応

- **最も対応が進んでいる分野**
 - DNS
 - IPv6のデータ対応はBIND8以降
 - IPv6トランスポート対応はBIND9以降
 - HTTP (Apache 2.0以降)
 - SMTP (Sendmail 8.10以降)

IPv6サービスの現状 その1

- 大手ISPはほぼ商用／試行サービスを開始済
 - 商用サービス
 - NTTコム, IIJ, PoweredCom, 日本テレコム
 - 試行サービス
 - KDDI, Nifty, BIGLOBE等
 - ユーザ数
 - NTTコム (over 200 (tunnel/native))
 - IIJ (over 100)

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6サービスの現状 その2

- 試行サービス
 - 知多メディアネットワーク(CATV)
 - CATVインターネットユーザにIPv6接続性を提供
 - KDDI (携帯電話でのIPv6サービス)
 - 富士通, Panasonic, Sony, DTI, 三菱 (ホームネットワーク)
 - MIS (ホットスポットサービス)
- データセンタ系でもサービス開始

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6サービスの現状 その3

- IPv6対応中継サービス(IIJ-MC)
 - コンサート, カンファレンスなどをインターネット中継
- IPv6対応IX
 - 日本では, NSIPXP2, JPNAP, JPIXが正式にIPv6 IXサービスを開始
 - 海外でも多くのIXがサービス済
- その他
 - IPv6対応ホスティングサービス
 - IIJ, NTT SMC
 - パケットアナライザ
 - Sniffer, SmartProbe等, 多くがIPv6対応済

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6サービスの現状 その4

Exchange Name	Location	Web Site
6IIX	New York, NY, Los Angeles, CA, Santa Clara, CA, USA	http://www.6iix.net
6NGIX	Seoul, South Korea	http://www.ngix.ne.kr
6TAP	Chicago, IL, USA	http://www.6tap.net
AMS-IX	Amsterdam, The Netherlands	http://www.ams-ix.net
Florida-MIX	Miami, FL, USA	
INXS	Munich, Bavara, Germany	http://www.inxs.de
JPIX	Tokyo, Japan	http://www.jpix.co.jp
NSPIXP6	Tokyo, Japan	http://www.wide.ad.jp/nspixp6
NY6IX	New York City, USA	http://www.ny6ix.net
PAIX	Palo Alto, CA, USA	http://www.paix.net
S-IX	San Jose, California, USA	
UK6X	Telehouse, London, UK	http://www.uk6x.com
XchangePoint	XchangePoint, London, UK	http://www.xchange-point.net

<http://www.v6nap.net>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

機器等のIPv6対応状況(1)

■ ルータ

- 日立, NEC, 富士通等, 国内ベンダではハードウェアIPv6パケット転送を売りにしたルータを出荷中
- Cisco, Juniper 等国外ベンダも対応済
- SOHOルータも対応開始(YAMAHA, 富士通等)

■ ホスト

- Windows XP, Mac OS Xで対応済
- UNIX系では従来より対応済

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

機器等のIPv6対応状況(2)

■ IPv6 対応PDA

- WindowsCE, iPaq, Linux Zaurus等

■ 組み込み系OS

- VxWorks, TORON等にてIPv6対応

■ その他

- IPv6対応Firewall
 - Checkpoint Firewall-1
- IPv6対応ネットワーク管理システム
 - HP OpenView (来年度第一四半期予定)

■ Windows Media Technologies「Corona」

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6技術の動向

		実験/実証	広域NW化	商用化
端末	携帯端末		Microsoft [WindowsCE] Linux PDA [Zaurus等]	
	PC/WS	主要製品がIPv6対応 	Microsoft [Windows2000]	Sun Microsystems[Solaris 8] Microsoft[WindowsXP] Apple[MacOS X] Linux FreeBSD/NetBSD
	家電			
ISP (サービスプロバイダ)		商用プロバイダがサービス開始 	BIGLOBE @Nifty ODN	NTT Com PowerdCom 他
アプリケーション			(IPv4アプリケーションのリプレースを除く)	
ルータ		複数ベンダよりIPv6対応製品出荷中 	Cisco [IOS 12.2(5)T] Yamaha [RT series]	Eriasson Telebit [TBC2000/1000] NEC [IX5000] 日立 [GR2000] Juniper

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6への対応
- **IPv6アドレスの分配**
- IPv6のこれから


2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

インターネット資源の取得

- インターネット上で一意な 資源 (IP アドレス, AS番号等) を割り振るために, 階層的なレジストリ構造が作られている
- ユーザは好きなアドレスを勝手に利用することはできず, 必ずレジストリにアドレスの利用申請を行い, それにより配分されたアドレスを利用しなければならない

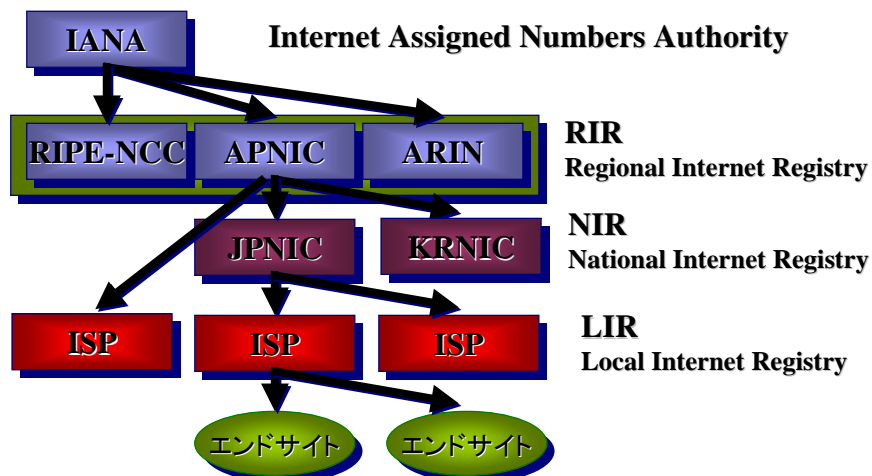
インターネットユーザの共通資源である「アドレス」を配布するための規約  アドレスポリシー

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

インターネット資源の割り振り階層



2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6アドレス取得に関する規約 (アドレスポリシー)

- 1996年, IPv6実験用アドレス (pTLA) 配布開始
- 1999年7月, IPv6実アドレス (subTLA) 配布開始
 - /35 での配布
 - 一年以内のサービス開始, 他組織との接続, 等
- 2002年7月, IPv6アドレス取得に関する規約の変更
 - /32での配布
 - エンドサイトでないこと, 2年以内に200の他組織へのアドレス割り当て, 等

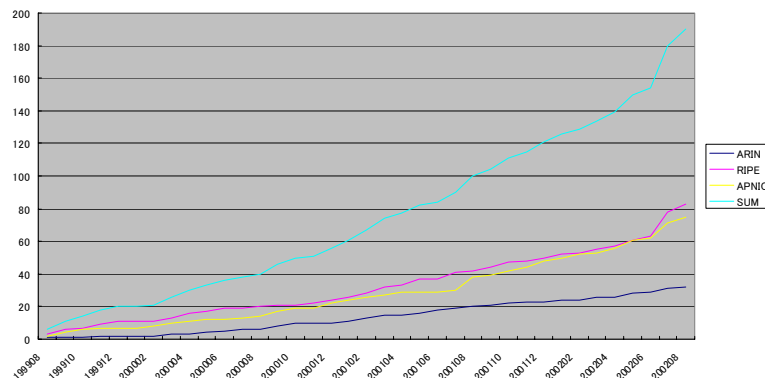
2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6実アドレス取得推移

IPv6実アドレス取得数推移



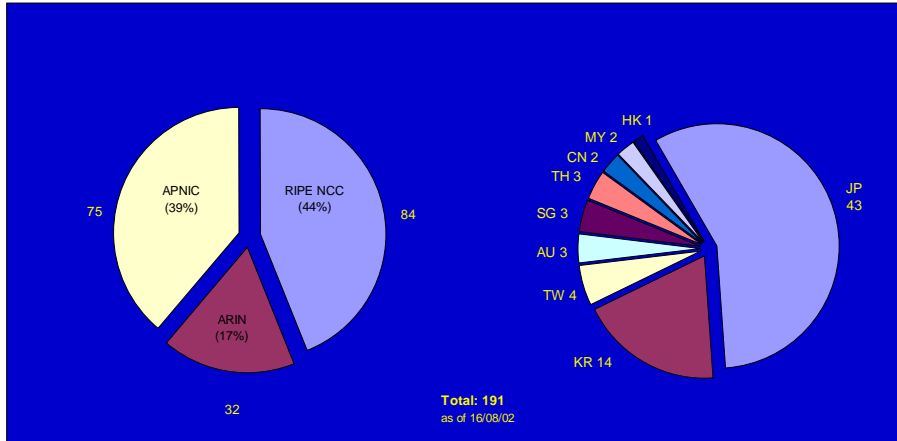
第14回 APNIC Open Policy Meeting 資料より抜粋
<http://www.apnic.net/meetings/14/sigs/ipv6/docs/ipv6-pres-tawhai-allocation-update.ppt>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6アドレス取得組織



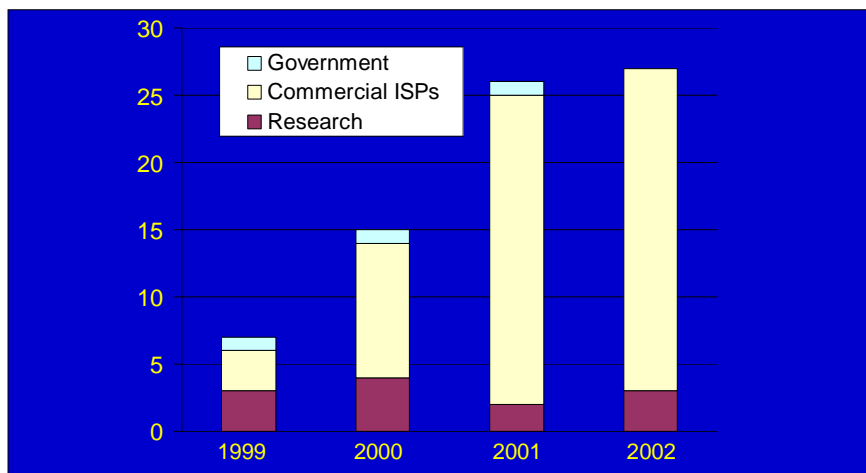
第14回 APNIC Open Policy Meeting 資料より抜粋
<http://www.apnic.net/meetings/14/sigs/ipv6/docs/ipv6-pres-tawhai-allocation-update.ppt>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

アドレス取得組織の内訳



第14回 APNIC Open Policy Meeting 資料より抜粋
<http://www.apnic.net/meetings/14/sigs/ipv6/docs/ipv6-pres-tawhai-allocation-update.ppt>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

アドレス取得組織へのアンケートより

- 提供サービス
 - Connectivity to IPv6 backbone
 - IPv6 over IPv4 tunneling service
 - IPv6 gateway service
 - DNS, WWW and mail service
 - IPv6 native connection service
- IPv6ネットワーク構築時の問題点
 - Address administration
 - Merging v6 networks with current v4 networks
 - Difficulty in troubleshooting using tunneling method
 - Lack of software
 - Implementation of routing protocol

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6アドレスの割り振りを受けるには

- RIR(日本の場合、APNIC)が直接割り振る
- APNIC は APNIC 会員にのみ割り振りを行う
 - APNIC から割り振りを受けるためには APNIC 会員になる必要がある
- JPNIC は APNIC 会員なので, JPNIC IP指定事業者は, JPNIC を通して申請を行うことで APNIC 会員にならずにアドレスを申請可能

<http://www.nic.ad.jp/ja/ipv6/index.html>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6ネットワークへの接続(1)

- プロバイダに加入, IPv6アドレスの割り当てを受ける.
 - IPv6ネイティブ接続 (IPv4デュアル接続を含む)
 - 専用線ベース
 - ACCA のADSL接続
 - IPv6トンネル接続サービス
 - OCN, IJ, POWERDCOM等
 - 固定IPアドレスが必要
- ／48 (2¹⁶サブネットが構築できるアドレスブロックが割り当てられる)

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6ネットワークへの接続(2)

- IPv6対応機器
 - ルータ
 - Free UNIX を利用するのが手軽
 - Cisco等も利用可能
 - 対応ホスト
 - Windows XP SP1
 - 「接続」メニューの「プロトコル」より追加可能
 - IEがIPv6対応
 - Mac OS X 10.2
 - 導入時に対応済
 - OSの対応のみ
- Windows XP SP1の「6to4」機能で, NWがなくてもお試し利用は可能

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

構成

- インターネットへの道のり
- インターネットプロトコル(IPv4)
- IPv4 が抱える問題
- 次なるプロトコルへ(IPv6)
- IPv4からIPv6への移行
- IPv6アドレスの分配
- IPv6への対応
- IPv6のこれから

IPv6のこれから

- インターネットが IPv4 から IPv6 へと移行するのは必然の流れ
- IPv4 のネットワークがいつまで主流であるかは予想が難しい
- IPv6 は拡張機能などで検討中の部分も多いが、基本的なプロトコル部分だけでも移行価値は大きい

IPv6の普及を目指した活動 その1

- IPv6普及・高度化推進協議会
 - IPv6のプロモーション
 - IPv6アプリケーションの実証実験
 - 情報家電等へのIPv6利用推進

<http://www.v6pc.jp>

IPv6ショールーム ガレリア・バイ・シックス

- IPv6普及・高度化推進協議会の運営するショールーム(東京, 丸の内／大阪)
 - IPv6対応冷蔵庫, 電子レンジ(東芝)
 - IPv6対応IP電話機
 - IPv6対応デジカメ 等

IPv6の普及を目指した活動 その2

- IPv6 フォーラム (<http://www.ipv6forum.com>)
 - IPv6の普及, 推進を目指す国際団体
 - 2002年10月現在, 150組織が加盟
 - 日本では, 日立, NTT, WIDE, NTTソフト, NEC, 松下, NTTドコモ, NTTデータ, 等
 - 世界各地でIPv6普及のための会議を開催
 - 日本でも昨年に続き, 2002年12月にIPv6サミットを開催
 - (<http://www.jp.ipv6forum.com>)

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6の今後

- IPv6は既に広まり始めている
- 今後, 利用が期待されるのは, IPv4でカバーできない領域
 - ホームネットワークコントロール, ホームサーバ
 - ユビキタス通信(インターネットにつながったセンサ)
 - P2P通信のベースプロトコル (VoIP, モバイル通信等)

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

IPv6関連市場は2010年に170兆円 ～情報通信審議会が試算～

- 170兆円の内訳：
 1. IPv6化した通信・放送・端末機器／コンテンツ／サービス市場：32兆円
 2. IPv6化した機器・機械類：35兆円
 3. IPv6端末化する生産物・サービス：40兆円
 4. IPv6インターネットを利用したサービス・商取引など：63兆円

<http://itpro.nikkeibp.co.jp/free/ITPro/NEWS/20020812/2/>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

参考(関連サイト)

- IETF (Internet Engineering Task Force)
 - <http://www.ietf.org/>
- IETF IPv6 working group
 - <http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-main.html>
- 6bone
 - <http://www.6bone.net/>
- 6bone-jp
 - <http://www.v6.sfc.wide.ad.jp/>

2002年12月17日

NTT情報流通プラットフォーム研究所

© NTT 2002

参考(インターネットレジストリ)

- IANA
 - <http://www.iana.org/>
- ICANN
 - <http://www.icann.org/>
- APNIC
 - <http://www.apnic.net/>
- JPNIC
 - <http://www.nic.ad.jp/>

参考(関連 RFC)

- RFC2373: IPv6 Addressing Architecture
- RFC2374: An IPv6 Aggregatable Global Unicast Address Format
- RFC2401: Security Architecture for the Internet Protocol
- RFC2460: IPv6 Specification
- RFC2461: Neighbor Discovery for IPv6
- RFC2462: IPv6 Stateless Address Autoconfiguration
- RFC2463: ICMPv6 for IPv6