

# 第1回 IPv6セミナー 「IPv6の技術解説 -基礎編-」

2002年9月26日

株式会社インターネット総合研究所 江面 祥行 / ezura@iri.co.jp

### 目次



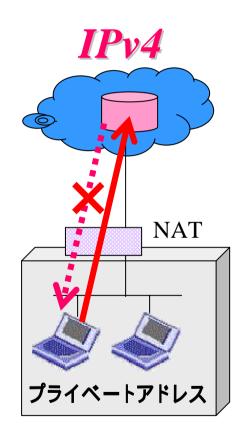
- IPv6の世界
- IPv6アドレスとは?
- 単純なヘッダ構成、細分化の防止
- セキュリティやリアルタイム性確保などの 機能の標準実装
- IPv6アドレス自動設定機能
- ユニキャストアドレス
- マルチキャストアドレス
- 参考資料

# IPv6の世界

# 現在のインターネット(IPv4)



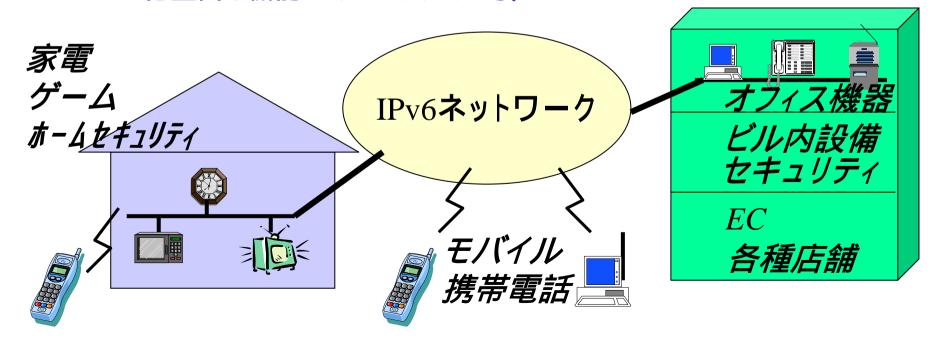
- 米国 国防総省関連(DARPA)がきっかけでルールが 作られ、米国はもとより世界に普及
- 人口60億人に対し、グローバルアドレス43億個 NAT(Network Address Translator の導入・普及)
- IPv4のインターネットが普及した一要因
  - コンセンサスのとれたモデル (社内のPCから、NATを介してインターネット上の サーバにアクセス)
  - このモデルに添った、装置開発、ビジネス開発 (統一化されたルータ機能、ホスティング事業の普及)
- IPv4における問題点
  - 情報家電、携帯電話等の非PCへの導入拡大に不向き
  - NATを介した柔軟なEnd-to-End通信の設定が困難



# IPv6とは

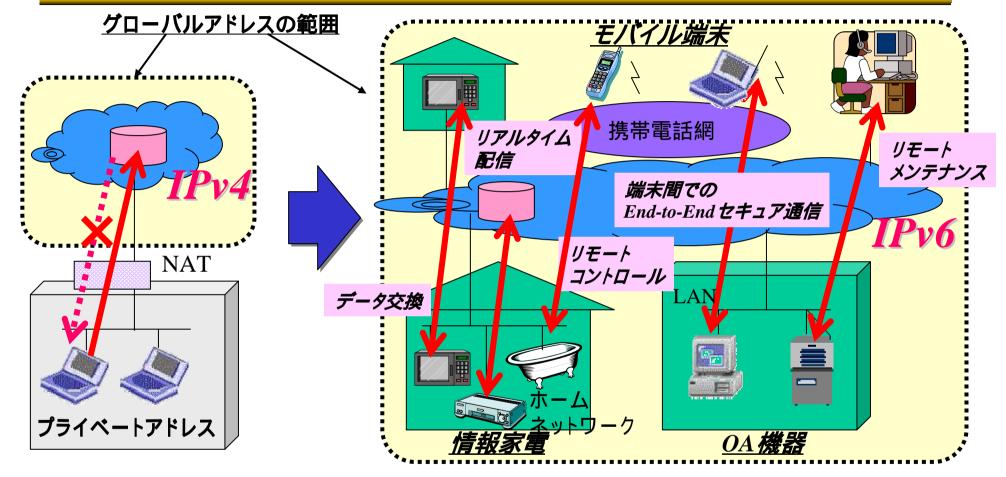


- インターネットの爆発的な普及 アドレスが枯渇する
- 次世代インターネットとしてIPv6が開発された。
  - 無尽蔵に使えるグローバルアドレス(携帯、家電、ビル内設備)
  - 世界共通のセキュリティ仕様 & 品質管理仕様(EC、映像配信)
  - 家電でも簡単設定、プラグ&プレイ機能。
  - その他豊富な機能:マルチキャスト等。



# IPv6が創造する新しいインターネットビジネス





#### IPv4:片方向の通信

Client & Server以外の モデルへの適用には いろいろと制限が発生する。

#### IPv6:双方向の通信

IPv4の制限がとれ、オープンな通信ができることにより

- ・新しい領域が開かれ、業態が一挙に変わる
- ・ネットビジネスとして認識されなかった人が参入する

# IPv6とは何か



# IPv6 = IP Version 6 次世代インターネットプロトコル

### •目的

IPv4における様々な制約/限界の解消

◇アドレス長の限界ヘッダ処理の複雑さの解消

**◇などなど...** 

#### •対象

現在IPv4を利用しているすべての人々 現在インターネットを利用していない全ての人々

# IPv6の狙い



#### IPv6

- \_基本設計思想
  - ・新時代のIPプロトコル
  - ・アドレス不足に対応を
  - ・セキュリティーへの考慮

IP技術のある意味で『仕切り直し』

『新しいプロトコルへの移行』という新しいチャレンジも

# 社会基盤形成のために不可欠なIPv6



21世紀情報社会にインターネットは不可欠

誰でも何でも何時でも何処でも使える 社会基盤とするためには、IPv4に限界

量の問題

安全の問題

魅力の問題

構成の問題

340澗(カンム)個の量は無限大に近く、ほぼ全てがインターネットを使える

当初からセキュリティ対応がなされ、安く簡単に実現できる

QoS等、動画配信のためのしくみが組み込まれている

大規模でグローバルなネットワークを想定している

技術開発と社会合意の両面で「民間の力を結集」して取り組むことが重要

### IPv6技術·普及状況



·標準化作業

ok

·機器

ok

- 端末
- ルータ
- ゲートウェイ
- 相互接続性
- ·社会基盤
  - アドレス割り当て ok
  - DNS update 課題
  - IPv6 ネットワーク運用 課題

# IPv6アドレスとは?

#### **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

### 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大改定
  - RFC2460 IPv6 Specification, etc...

### 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<sup>96</sup>倍のアドレス数
- 2<sup>128</sup>個のアドレス数
  - だいたい 3.4×10<sup>38</sup> 個
  - ばら撒いても陸地 1cm<sup>2</sup>あたり 2.2 × 10<sup>20</sup>個
- とにかく想像できないくらいたくさん!

# 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。

# IPv6のアドレス構造



- 「集約可能グローバルユニキャストアドレス」
- ネットワークトポロジに応じた階層構造を持つアドレス

3 13 8

24

16

64

FP TLA ID 予約

NLA ID SLA ID

インタフェースID

パブリックトポロジ

サイト トポロジ

Format Prefix [001] FP

**Top Level Aggregation ID** TLA ID

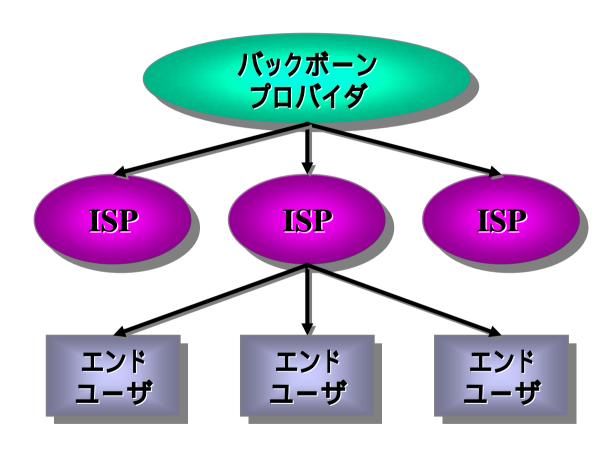
**Next Level Aggregation ID** NLA ID

**SLA ID Site Level Aggregation ID** 

インターフェースID Interface ID

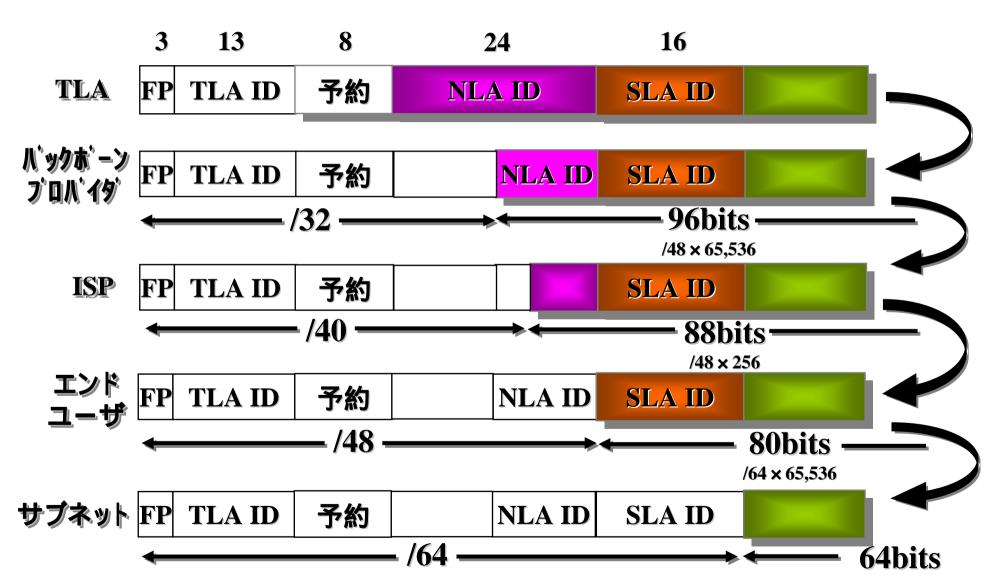
# 階層的な割り振り





# アドレス割り振りの例





### IPv6 アドレスの種類



• アドレス形式プリフィクス

- IPv6 アドレスの種類を指定

120 67			
プリフィクス	アドレス		
n ビット	128-n ビット		

001 1111 1110 10 1111 1110 11 1111 1111 プリフィクス以外がall 0 集約可能なグローバルユニキャストアドレス リンクローカルユニキャストアドレス サイトローカルユニキャストアドレス マルチキャストアドレス エニキャストアドレス

# IPv6のアドレスタイプ



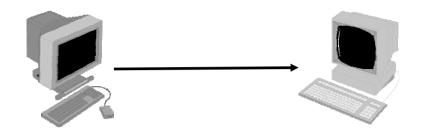
アドレスタイプ	アドレス設定対象	通信形態	通信対象	利用方法
ユニキャスト	ノード (インタフェース)	1対1	1	ホスト ルータ 間通信
マルチキャスト	グループ	1対多		ストリーミング
エニーキャスト	機能(サービス)	1対1	多(最適な 1つ選択)	DNS Discovery

### アドレス構成



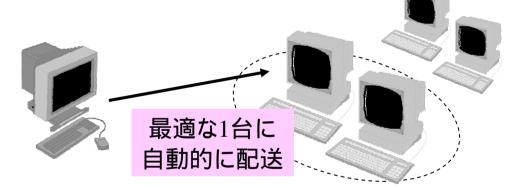
#### ユニキャスト

1個のインターフェイスを識別し、 1対1の通信を行う。



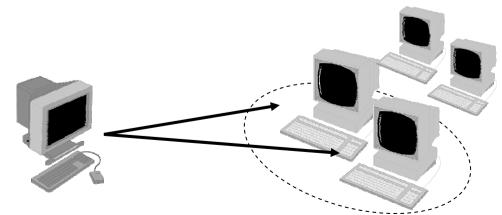
#### エニーキャスト

複数のインターフェイスに割り当てられ、そのうちのどれか1つに対して配送されることを目的。



#### マルチキャスト

複数のインターフェイスに対して割り当てられ、同一アドレスを持つ全てのインターフェイスに対して通信を行うためのもの



### 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...

32桁の16進数で表し、4桁ずつ「:」で区切って書く。
 例)21DA:90D3:0000:0000:0000:00FF:FE28:0C5A

### IPv6 のアドレス省略表記



- 1)4桁(16ビット)ごとに区切った中での値のうち、先頭の0は省略可。
  - 21DA:90D3:0:0:0:FF:FE28:C5A
- 2)4桁(16ビット)ごとに区切ったなかの値が連続して、0である場合は、 1度だけそれを「::」で置き換え可能。
  - 21DA:90D3::FF:FE28:C5A
- 3)プレフィックス長によるアドレス範囲の指定
  - 21DA:90D3::FF:FE28:C5A /64

「IPv4互換アドレス」(上位96bitが0)ではIPv4の記法を使うことができる。

# 単純なヘッダ構成、細分化の防止

# IPv4 フォーマット



Version (4bit)	IHL (4bit)	Type of Service(8bit)	Total Length (16bit)	
Identification(16bit)			Flags (3bit)	Fragment Offset(13bit)
Time To L	Time To Live (8bit) Protocol(8bit)		Header Checksum (16bit)	
Source Address (32bit)				
Destination Address (32bit)				
Ontions (可亦具)				
Options (可変長) Padding (可変				ding(可変長)

32ビット

# IPv6 フォーマット



Version (4bit)	Traffic Class(8bit)	Flow Label(20bit)			
Payload Length (16bit)		Next Header (8bit)	Hop Limit (8bit)		
Source Address (128bit)					
Destination Address (128bit)					

32ビット

# いろん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

IPv6 拡張 拡張 TCP アプリケーション ヘッダ ベッダ データ

- •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

# パスMTUディスカバリー(1)



- フォワーディングパケット細分化によるパケット数増加は、ルータ負荷の原因
  - ネットワークにはMTU (Maximum Transmission Unit)が存在する
  - 出力側I/FのMTUが入力側I/FのMTUより小さい時にフラグメント(パケット分割)が発生し、パケット数が増加する

# パスMTUディスカバリー(2)

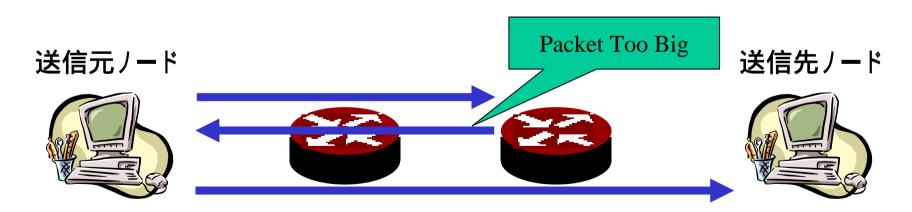


#### • IPv6 は経路上の最小MTUを探索する

送信元のノードはデフォルトのMTUでパケットを送信(Ethernet の場合、1500)

経路の途中でより小さなMTUが設定されていると、その直前の ルータが送信元ノードへ「Packet Too Big Message」を送信

「Packet Too Big Message」を受け取った送信元ノードは、そのMTU値に合わせてパケットをフラグメント化し、再度パケットを送信(フラグメントオプションヘッダを付加)



# 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

# プロトコルレベルでの機能拡張



- セキュリティ機能
  - 通信するホスト間の認証と機密性を保持
  - IPsec を標準装備(IPv4ではオプション)
- 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
  - ネットワーク間のIPsecから端末間でのIPsecへ

# IPv6アドレス自動設定機能

# ルータが教えてくれる



- IPv6なら、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



# アドレスの自動設定



### IPv6アドレス自動設定には、

- ステートレス・アドレス自動設定
  - ノードをネットワークにつなげるだけでアドレスの設定を行うことができる
- ステートフル・アドレス自動設定
  - DHCPなどによるアドレス自動設定

### の2つの方法がある

# プラグ&プレイとDHCP の違い



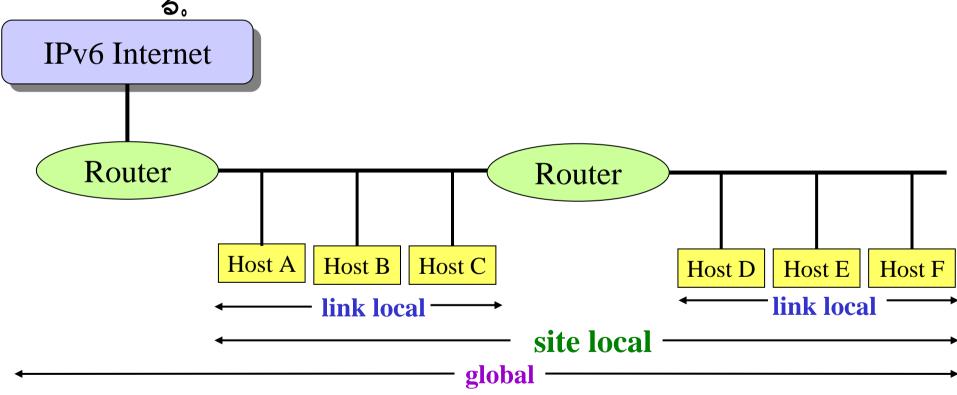
- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) はあらかじめプールされたアドレスの割り当てを受けるもの
  - DHCP 用アドレスを予約しておく必要がある
  - 毎回違うアドレスが割り当てられる可能性もある
- IPv6 の自動設定はインタフェースが持つID にネット ワーク情報を付加してアドレスを生成するもの
  - アドレスは最初からインタフェースが持っている
  - \_ 同じネットワークならアドレスは変わらない

## ユニキャストアドレス

## アドレススコープ



- ・「ノードに割り当てられているIPアドレスが、どの範囲で有効なのか」を意味する「スコープ」という概念が取り入れられた。
- IPv6アドレスは、その有効範囲をアドレス自身で決めることができる。



## ユニキャストアドレスの種類(1)



- リンクローカルユニキャストアドレス
  - 同一セグメント(ルータを超えない範囲)の端末と通信 する場合に使用
- サイトローカルユニキャストアドレス
  - 異なるセグメント上にあるプライベートネットワーク端末 と通信する場合に使用
- グローバルユニキャストアドレス
  - インターネット上に存在する端末と通信する場合に使用

# ユニキャストアドレスの種類(2) IRi



	インターネット	ルータ越え
リンクローカル・アドレス	×	×
サイトローカル・アドレス	×	
グローバル・ユニキャス ト・アドレス		

### ローカルユニキャストアドレス



- ローカルなユニキャストアドレスは、NDP (Neighbor Discovery Protocol)やDHCPのようなリンク内でのノード管理のために使用。
  - ルータからグローバルアドレスの割り当てを受ける際に使用される
- インターネットに未接続のネットワークで、ローカルなユニキャストアドレスを割り当てておき、後でプリフィックスを置き換えるだけでインターネットに接続するという使い方もある。

# ローカルユニキャストアドレスフォーマット



<u>リンクローカルアドレス(fe80::で始まる)</u>

64bit 10bit 54bit

1111111010

0000.....0000

Interface ID

サイトローカルアドレス(fec0::で始まる)

10bit 38bit 16bit 64bit

11111111011

0000..0000

**Subnet ID** 

**Interface ID** 

未指定アドレス 0:0:0:0:0:0:0

0:0:0:0:0:0:0:1 ループバックアドレス

#### リンクローカルアドレスの生成



リンクローカルプレフィックス(fe80::)とインターフェイス 識別子の組み合わせで仮アドレス生成

重複アドレス検出(Duplicate Address Detection)

- 1)仮アドレスの個別性を検証(近隣要請メッセージ)
- 2)近隣通知応答が返されてこなければ、仮アドレスは個別。

## EUI-64ベースのインタフェース識別子の生成

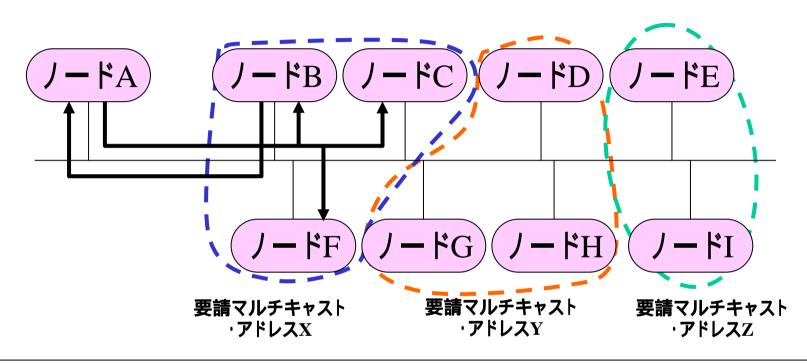


0xFF(16進数FF)と0xFE(16進数FE)の16進値 を持つ2オクテットを48ビットMACの中間に挿 入し、EUI-64アドレス生成



#### 重複アドレス検出



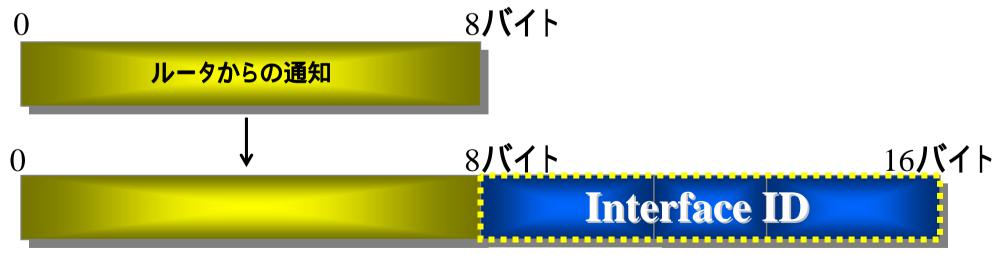


- (1)ノードAは自分のリンクローカルアドレスを計算。
- (2) ノードAは近隣要請メッセージを送信。送信先は、自分の割り当てようとしているリンクローカルアドレスをもとに計算した要請マルチキャストアドレス。 始点アドレスは、未定義アドレス(::)。・・・
- (3)ノードBとアドレスが重複していたら、ノードBは近隣通知メッセージ送信。 IPv6の全ノード・マルチキャスト・アドレス利用。・・・

## グローバルアドレスの生成とデフォルト経路の設定



- IPv6ルータは、定期的にアドレスの上位8バイトを通知している。 この8バイトは、「リンクの番号」と考えてよい。
- これは世界的に一意であり、経路制御の為に利用される。
- 上位8バイト(リンクの番号)とInterface ID(リンク内の番号)を連 結して、IPv6グローバルアドレスが生成される。
- デフォルト経路を上位8バイトを通知したルータへ向ける。



#### IPv4からの移行用アドレス



#### IPv4互換アドレス

2つのIPv6機器がIPv4で経路制御されたネットワークを通じて通信するため のアドレス



#### IPv4射影アドレス

IPv6をサポートしていないIPv4専用ノードで使用。IPv4しかサポートしていないホストとIPv6ホストが通信する場合、IPv6ホストはIPv4射影IPv6アドレスを使用する。



## マルチキャストアドレス

#### マルチキャストアドレスフォーマット



8bit	4bit	4bit	80bit	32bit
11111111	flags	scope		Group ID
				<u> </u>

flags (マルチキャストの性質決定)0000 恒久的(定義済み)のアドレスしス0001 一般的なアドレス

scope (マルチキャストの通信決定)

- 0 予約
- 1 node-local scope
- 2 link-local scope
- 5 site-local scope
- 8 organization-local scope
- E global scope
- F 予約

# 定義済みのマルチキャストアドレス



アドレス	機能
FF00:0:0:0:0:0:0	予約
FF01:0:0:0:0:0:0:0 ~ FF0F:0:0:0:0:0:0:0	予約
FF01:0:0:0:0:0:0:1	ノード内の全てのIPv6ノード
FF02:0:0:0:0:0:1	リンク内の全てのIPv6ノード
FF01:0:0:0:0:0:0:2	ノード内の全てのIPルータ
FF02:0:0:0:0:0:2	リンク内の全てのIPルータ
FF02:0:0:0:0:0:C	DHCPサーバ/リレーエージェント
FF02:0:0:0:0:1:x:x	要請ノードアドレス

#### 要請マルチキャスト・アドレスとは?



- IPv6の機能をもつノードは、各インタ フェイスのIPv6 アドレスをもとに、"要請マルチキャスト・アドレス"と呼 ばれるマルチキャスト・アドレスを生成。
- 各ノードは、自分のIPv6アドレスから要請マルチキャスト・アドレスを作成し、そのアドレス宛に送信されたパケットを受信しなければならない。
- 要請マルチキャスト・アドレスはIPv6アドレスを複数の グループにまとめる役割を果たす。

#### 要請マルチキャストアドレスの生成



104bit(固定)

24bit

ff02 0000 0000 0000 0000 0001 ff

Interface IDの下位

- 要請マルチキャストアドレスは、IPv6アドレスを複数の グループにまとめる役割を果たす。
- scopeが2なので、同一リンク上でのみ有効

### データリンク層アドレス解決

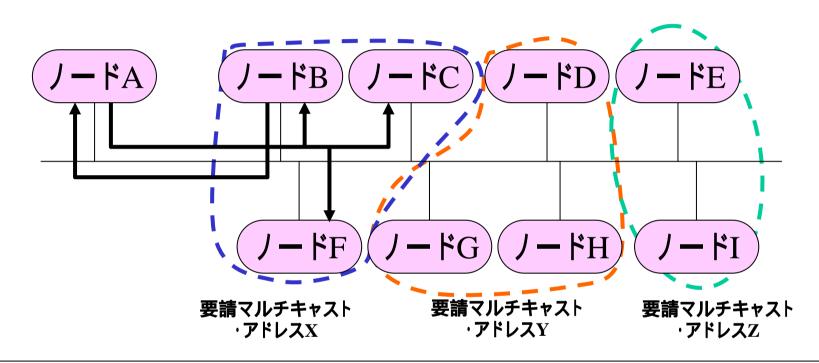


近隣探索プロトコル(Neighbor Discovery Protocol)が役割を担っている。

それ自体がIPv6の上位プロトコルとして設計されている。

## 





- (1)要請マルチキャスト·アドレス計算(X)
- (2)Xに近隣要請をノードBのIPv6アドレスと共に送信
- (3) ノードBは、近隣通知パケットをノードAに返送

## アドレス自動設定機能の比較



		IPv6	IPv4
利用するパケット		近隣探索プロトコル (NDP)	アドレス解決プロトコル (ARP)
LANプロトコル		ICMP	ARP
す通る信	発信元 アドレス	リンクローカル・ ユニキャストアドレス	MACアドレス
するアドレス 用	宛先 アドレス	リンクローカル・ マルチキャストアドレス	LANプロトコルの ブロードキャスト・アドレス

#### アドレス自動設定機能の比較



- ・ 耐障害性の向上
- アドレス不足の問題がない
- 弱点としては、DNSサーバのIPv6アドレスを入手 する方法が、まだ仕様策定中であること。

### 到達不能検知



リンク上のノードと通信不能になったことを検知 する機能

- 近隣探索プロトコルの一部として規定されている。
- IPv6では、データリンク層アドレスのキャッシュが 状態を持っている。
- 近隣探索プロトコルの近隣要請と近隣通知を利用。

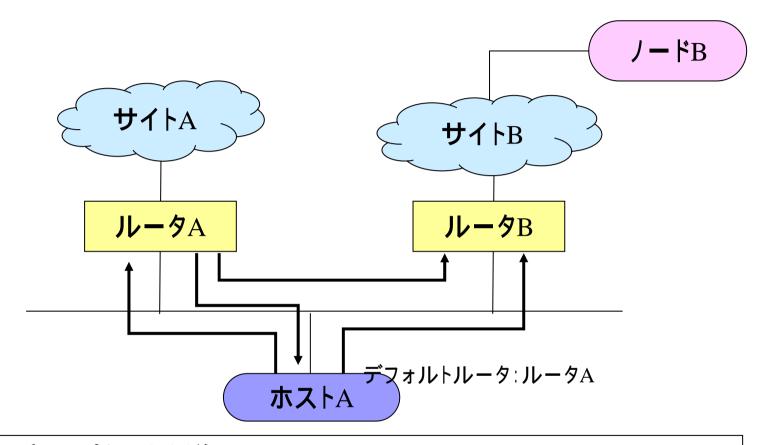
#### 向け直し



- ルータが、同一リンク上のホストから他のルータ へ送られるべきパケットを受信した場合に行われる。
- IPv4でも実現していたが、IPv6では近隣探索プロトコルの一部として実現されている。

#### 向け直しの仕組み





ノードB宛のパケットを送る。

ノードB宛のパケット送る。

同時に向け直しパケットを送信。

以後、ホストAはノードB宛のパケットを正しくルータBに送ることができるようになる。

## IPv4ネットワークとIPv6ネットワーク

## 参考資料

## 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

### 参考URL



#### IPv6普及·高度化推進協議会

http://www.v6pc.jp

WIDE project (IPv6)

http://www.wide.ad.jp/wg/ipv6/index.html

日本ネットワークインフォメーションセンター

http://www.nic.ad.jp

**IETF** (Internet Engineering Task Force)

http://www.ietf.org/

**IETF IPng 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/

**IANA** 

http://www.iana.org/

**ICANN** 

http://www.icann.org/

**APNIC** 

http://www.apnic.net/

**JPNIC** 

http://www.nic.ad.jp/