



IPv4
EXHAUSTION

IPv6オペレータ育成プログラム

**SOHO/一般ユーザ向けネットワーク
[座学編]**

アライドテレシス株式会社



Agenda

- IPv4枯渇問題
- IPv6概要
- IPv6アドレス
- IPv6ヘッダ
- ICMPv6
- プラグアンドプレイ
- DNS
- IPv6ルーティング
- IPv6マルチキャスト
- 相互運用と移行
- マルチプレフィックス問題

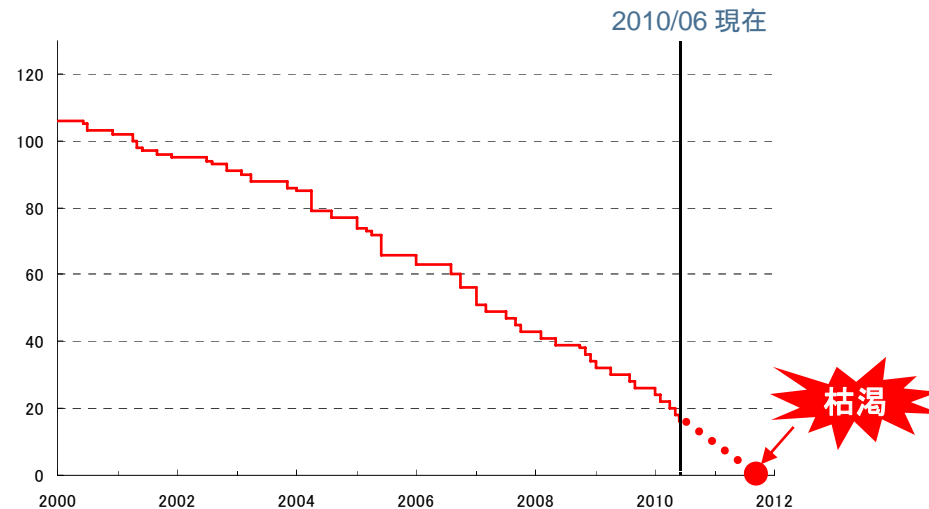


IPv4枯渇問題



IPv4アドレス枯渇

- 2～3年後にIPv4アドレスは完全に枯渇する！？
 - IANA Pool 枯渇予測 2010年～2011年
 - RIR Pool 枯渇予測 IANA Pool 枯渇後、1～2年後

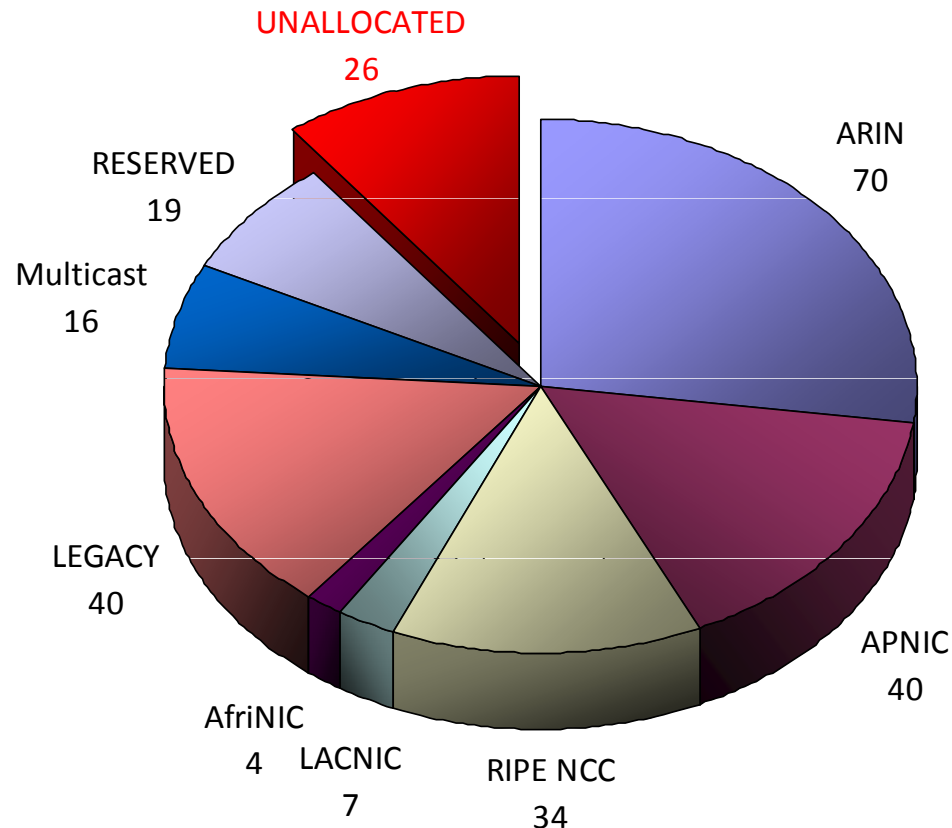


- IPアドレスが枯渇すると・・・
 - 新規サーバが立てれなくなる
 - 一般ユーザの新規加入ができなくなる



/8 IPアドレス割当状況

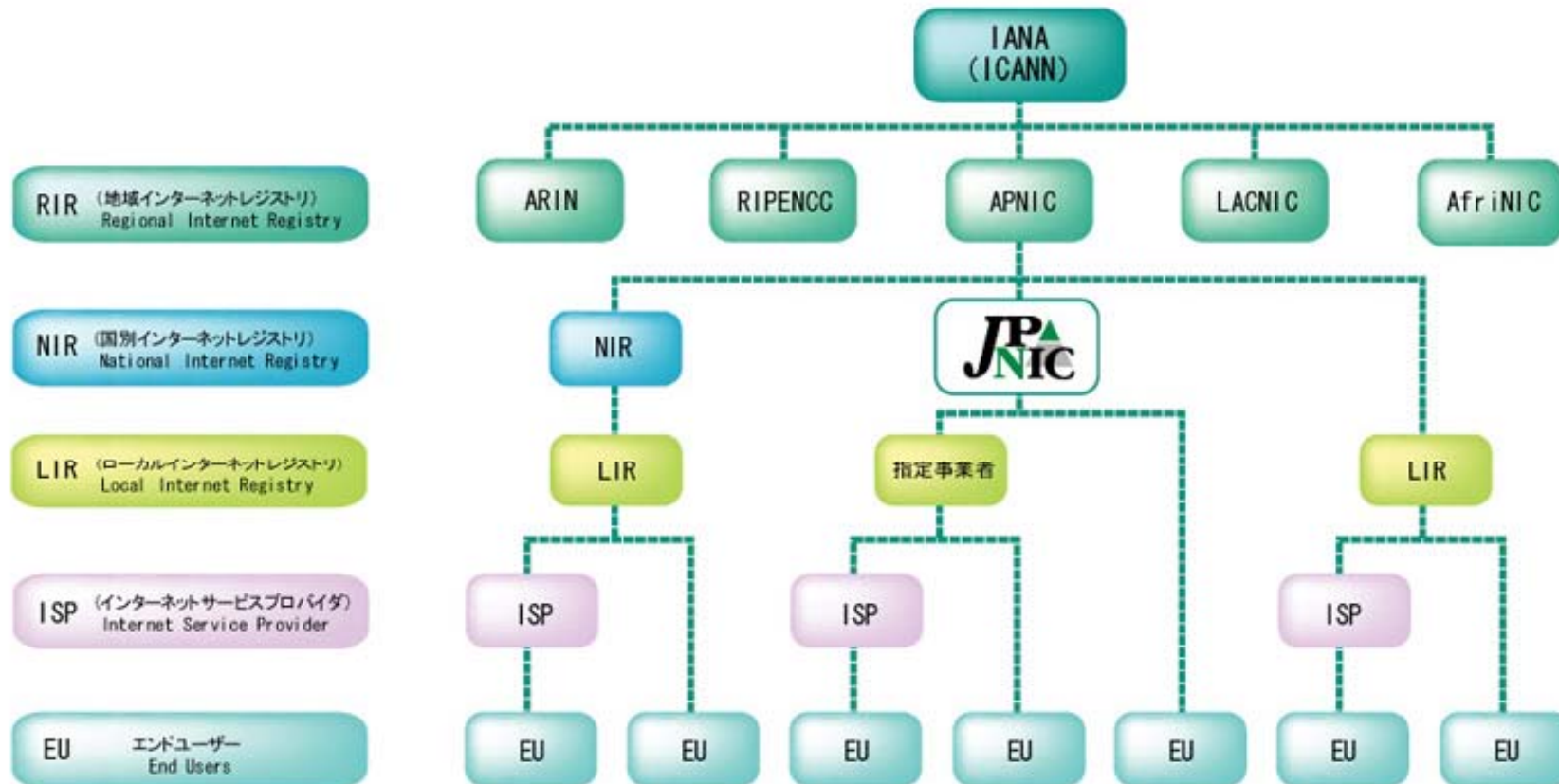
- 残りは 26/256 ブロック
- 直近5年は年間8~13個ずつ新規にRIRへ割り当て



2009/10/23現在



IPアドレス管理階層



JPNIC <http://www.nic.ad.jp/> より



枯渇対策

- アドレス再分配
 - 企業・大学など初期に割り当てられたアドレスを再分配
 - 再分配方式 売買？オークション？ まだ確立していない
 - 経路情報の肥大化、税問題、売買価格の高騰
- ラージスケールNAT (LSN)
 - ユーザにはプライベートアドレスを割り当てISP出口でNATをする技術
 - LSNと宅側ルータの2段階のNATになる
 - NATを使っているためアプリケーションに制限 (P2P、VoIP)
 - 移行期間のIPv4/IPv6併用対策としても有効



いずれも延命策にすぎない

恒久対策はIPv6のみ



IPv4
EXHAUSTION

IPv6概要



IPv6の特徴

- 128bit アドレス(IPv4は32bit)
- ヘッダ形式の簡素化
 - IPv4で不要だったフィールドの削除
- アドレス種別の明確化
 - ユニキャスト、マルチキャスト、エニーキャスト
- アドレスの自動設定
 - ステートレス自動設定
- 中継ノードでのフラグメントを廃止
 - エンド間のみフラグメント処理
- セキュリティ機能 (IPSec)の標準化
 - 暗号化/認証はネットワーク層で実施
- マルチキャストの標準化
 - IPv4マルチキャストは実験的実装
- モバイルIP対応



IPv6アドレス数

- 豊富なアドレス数

IPv4: 2^{32} 個 = 4,294,967,296個

IPv6: 2^{128} 個 = 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456個

※約340澗(かん)個 340億 × 100兆 × 100兆

人口60億人と仮定すると一人当たり

56,713,727,820,156,410,577,229,101,238個 使用可能

※万 < 億 < 兆 < 京(けい) < 垓(がい) < 杼(じょ) < 穰(じょう) < 溝(こう) < 澗(かん)



IPv6アドレス構造

[2進数表記]

1110 1010 0111 0100 : 0000 0000 0000 0000 : 0000 0000 0000 0000 : 0000 0000 0000 0111 :
0000 0000 0000 0000 : 0000 0000 0000 0000 : 0000 0000 0000 0000 : 1111 0101 0010 1101

[16進表記]

ea74 : 0000 : 0000 : 0007 : 0000 : 0000 : 0000 : f52d

ea74 : 0 : 0 : 7 : 0 : 0 : 0 : f52d

ea74 : 0 : 0 : 7 :: f52d

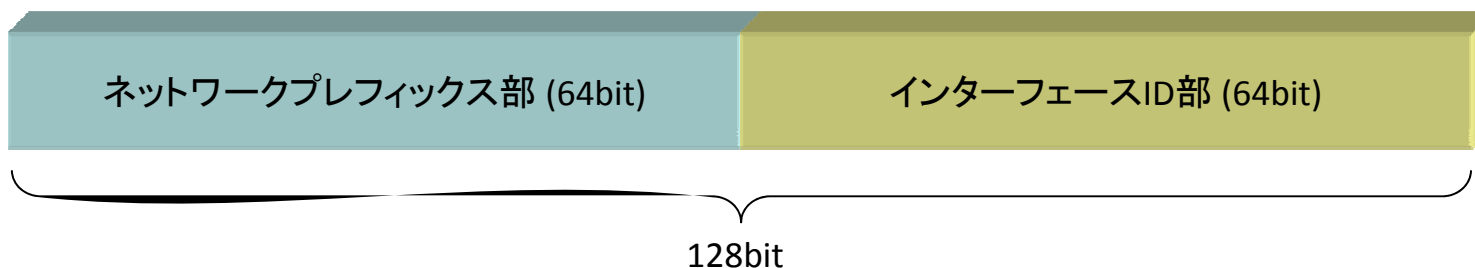
各ブロックの頭の0を省略

“0”の連続するブロックを省略

- 各ブロックの先頭の[0]は省略可。
- ブロックが[0]の場合、[::]でまとめて省略可 (但し1か所のみ)



アドレス構造

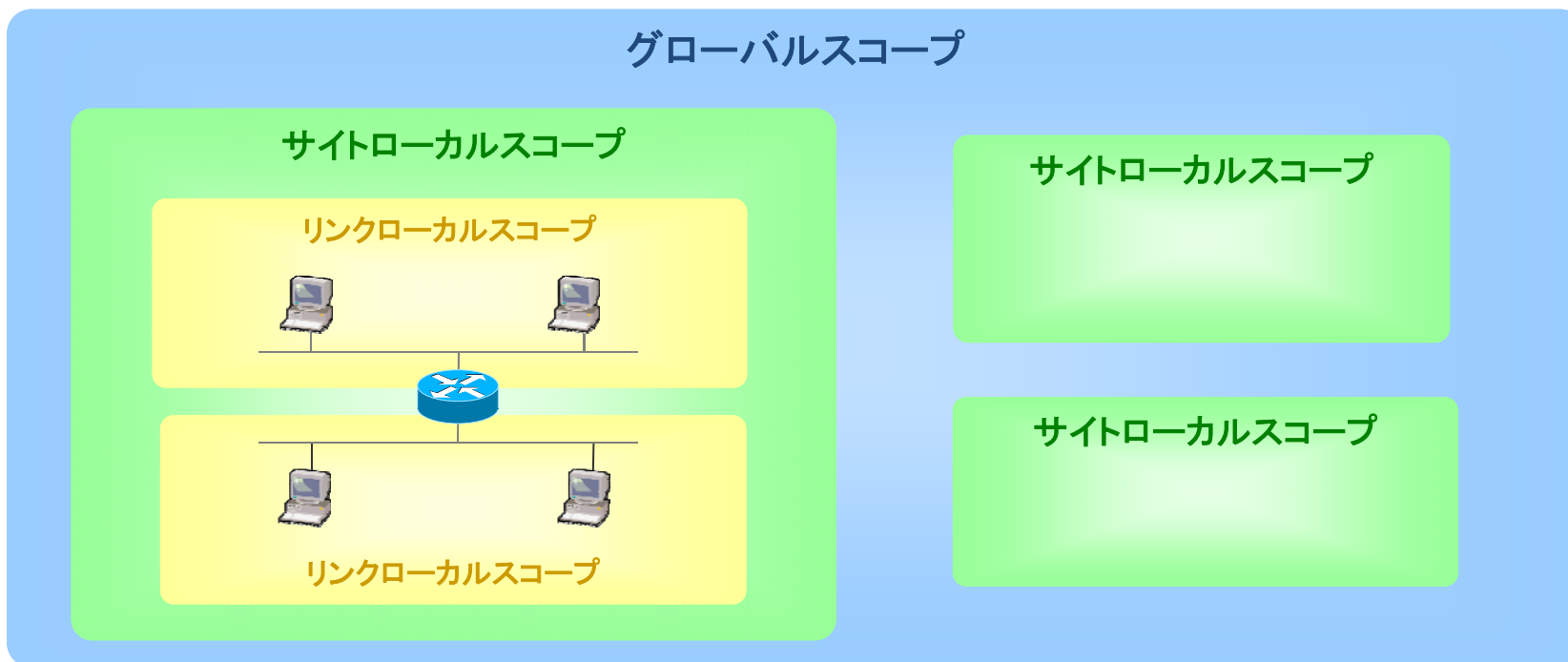


- **ネットワークプレフィックス**
 - ISPなどに対してアドレス管理組織によって割り当て
 - プレフィックス部/プレフィックス長で表記
 - プレフィックス長は10進数を使用
- **インターフェースID**
 - 通常、デバイスを一意に識別できるアドレス
 - MACアドレスをもとにEUI-64に従い自動生成



アドレススコープ

- アドレスの有効範囲
- IPv6では端末が目的や用途に応じて複数のアドレスを使い分け
- アドレススコープ概念図



※サイトローカルは廃止されています

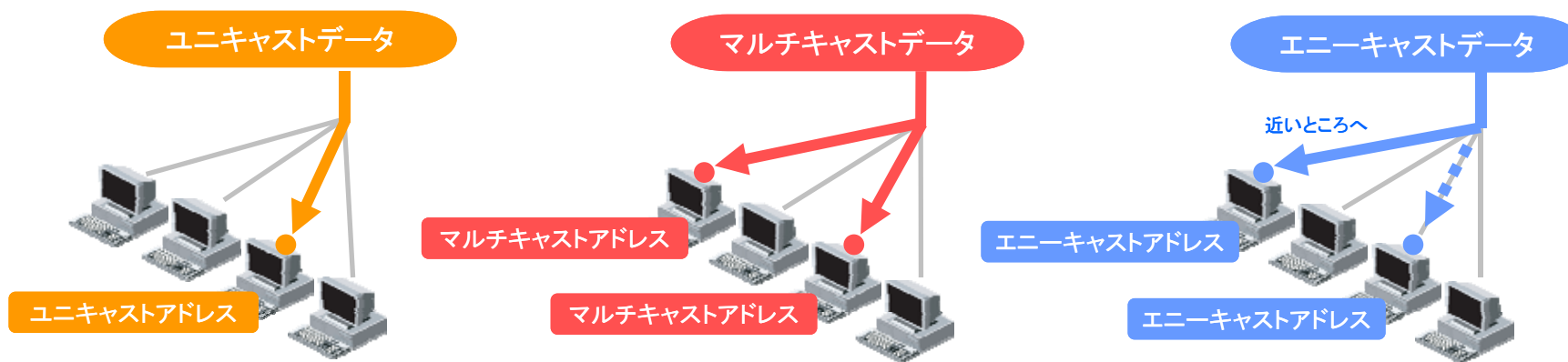


IPv6アドレス



IPv6アドレス

- IPv6では3種類のアドレスを定義
 - ユニキャストアドレス (1:1)
 - ユニキャストアドレス宛に送られたパケットはそのアドレスが示すインターフェイスに配送
 - マルチキャストアドレス (1:N)
 - マルチキャスト宛に送られたパケットはそのアドレスで示された特定のインターフェイスに配送
 - IPv4のブロードキャストはIPv6ではマルチキャストに置き換えられる
 - エニーキャストアドレス (1:1) ※複数のうちどれか一つ
 - アドレスフォーマット上はユニキャストアドレスと違いはない
 - エニーキャスト宛に送られたパケットはそのアドレスで示されたインターフェイス群のうちルーティング経路上で一番近いところへ配送





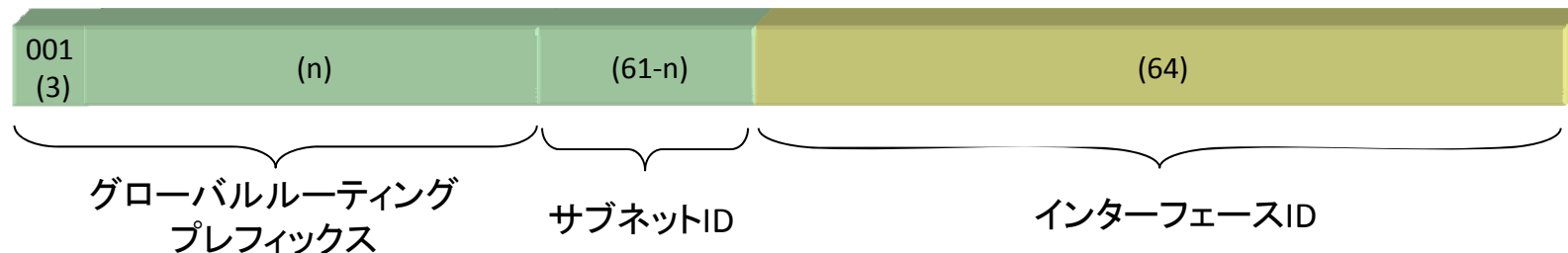
IPv6ユニキャストアドレス

- ユニキャストアドレスの種類
 - グローバルアドレス
 - リンクローカルアドレス
 - サイトローカルアドレス【廃止】
 - 特殊なアドレス
 - ループバックアドレス
 - 未指定アドレス
 - ユニークローカルIPv6ユニキャストアドレス (ULA)
 - IPv4射影アドレス
 - 文書記述用アドレスプレフィックス
 - トンネルアドレス
 - IPv4互換アドレス
 - その他のトンネルアドレス
 - 6to4アドレス、ISATAPアドレス、Teredoアドレス



IPv6ユニキャストアドレス

- グローバルアドレス (2000::/3)



- スcopeに関係なく利用する範囲を選ばないアドレス
 - インターネット上で通信が可能
 - ルータのルーティングテーブルで任意のプレフィックス毎に管理
- Ex.) 2001:AD04:1000::/48



IPv6ユニキャストアドレス

- リンクローカルアドレス (fe80::/10)



- 同一セグメント内でのみ有効なアドレス
- ネットワークプレフィックス部 2進数「1111:1110:10」、16進数「fe80::/10」
- ルータを超えて通信はできない
- Ex.)fe80::20d:56ff:fe92:1673

- サイトローカルアドレス (fec0::0/10)【廃止】



- 同一組織内でのみ有効なアドレス
- ネットワークプレフィックス部 2進数「1111 1110 11」、16進数「fec0::/10」
- Ex.)fec0::20d:56ff:fe92:1673
- 定義の曖昧さから廃止が決定



IPv6ユニキャストアドレス

- 特殊なアドレス
 - ループバックアドレス (::1)

0000....0001
(128)

- 自分自身をあらわすアドレス
- IPv4の127.0.0.1に相当

- 未指定アドレス (::)

0000....0000
(128)

- 全て”0”のアドレス
- アドレスが割り当てられていない端末の始点アドレスとして使用
- IPv4の0.0.0.0に相当



IPv6ユニキャストアドレス

- 特殊なアドレス

- ユニークローカルIPv6ユニキャストアドレス (fc00::/7)



L=0 fc00::/8 将来の為、予約
L=1 fd00::/8 ローカル管理用に割り当て

- Unique Local IPv6 Unicast Addresses (ULA)
- サイトローカルアドレスの廃止に伴い新たに考案されたアドレス
- IPv4プライベートアドレスと同様にサイト内で自由に使用することができる
- グローバルID部はランダムな値を使用し、可能な限りサイト間で重複をさける



IPv6ユニキャストアドレス

- 特殊なアドレス

- IPv4射影アドレス (::ffff:[IPv4 Address])



- その機器がIPv4しか実装していないことを表すアドレス
- 上位80bitは全て”0”、次の16bitは全て”1”、残り32bitにIPv4アドレス(10進数)を使用
- IPv6端末がIPv4しか対応していない端末と通信するときに利用
- ex/ ::ffff:202.115.84.9

- 文書記述用アドレスプレフィックス (2001:db8::/32)



- マニュアルや設定サンプルなどのドキュメントの記載に使用



IPv6ユニキャストアドレス

- トンネルアドレス
 - IPv4互換アドレス (ex/ ::202.115.84.9) 【非推奨】

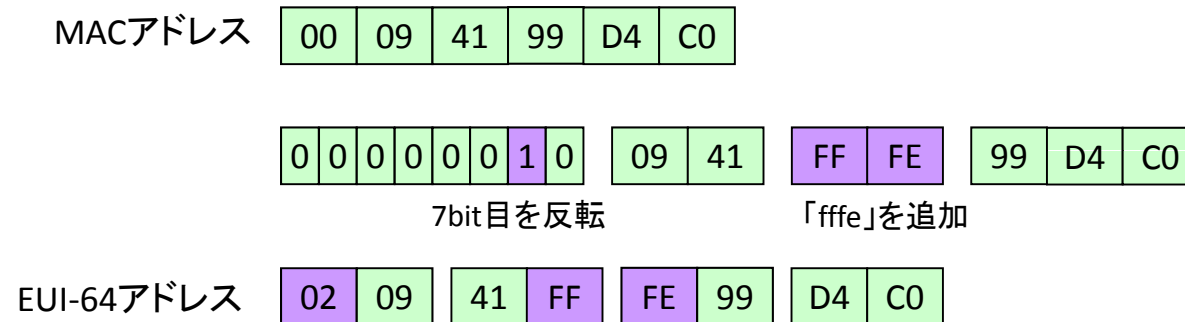


- IPv4を自動トンネリングを行うために使用されるアドレス
- 上位96bitは全て"0"、残りの32bitにIPv4アドレス(10進数)を使用
- IPv6端末同士がIPv4ネットワーク経由で通信する際に利用
- 現在は非推奨アドレス



インターフェイスID

- インターフェイスIDの決定
 - 手動設定
 - 自動設定
 - IEEE EUI-64
 - MACアドレスから以下の方式で自動生成

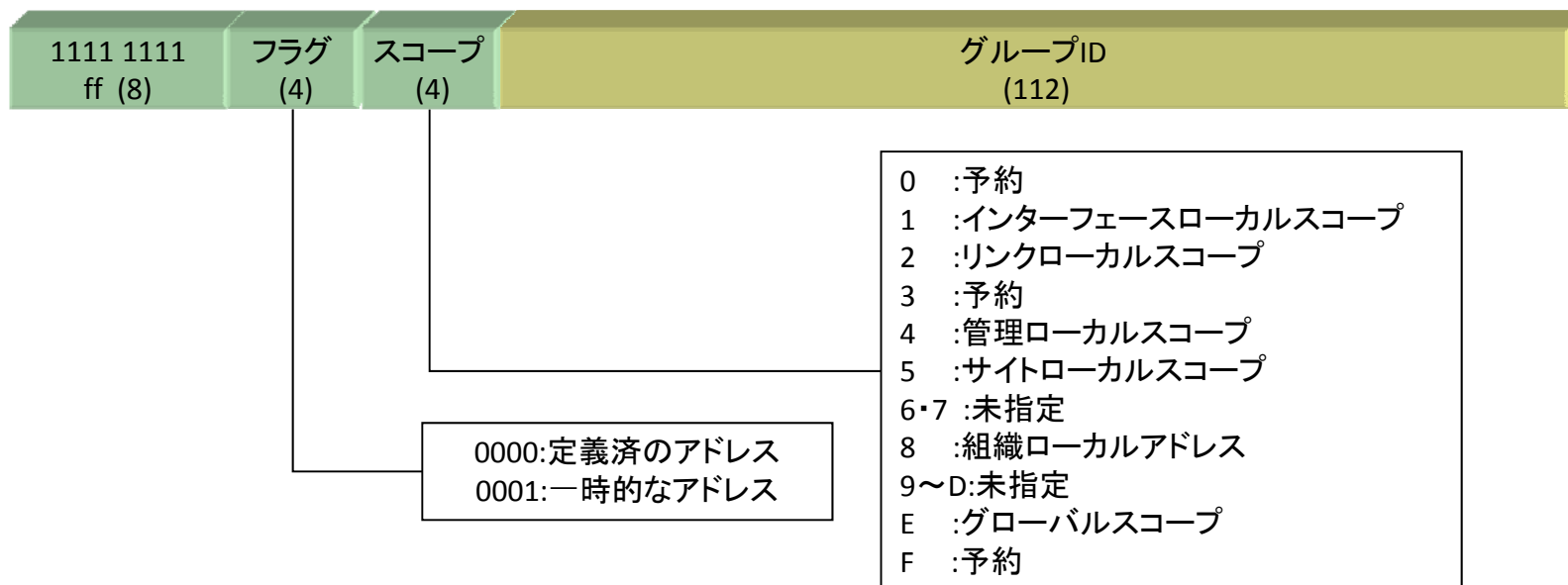


- 一時 (匿名)アドレス
 - ハッシュを使用してランダム生成
 - 期間を設け定期的に変更



IPv6マルチキャストアドレス

- IPv6では標準実装 (IPv4では実験的仕様)
- IPv4のブロードキャストもマルチキャストと統合
 - IPv6ではブロードキャストは使用されない
- NDP (近隣探索プロトコル)など多くの場面で利用
- マルチキャストアドレスの形式





IPv6マルチキャストアドレス

- 定義済みのマルチキャストアドレス

- 予約アドレス `ff0x:0:0:0:0:0:0:0`

- 全ノードアドレス `ff01:0:0:0:0:0:0:1`
 `ff02:0:0:0:0:0:0:1`

- 全ルータアドレス `ff01:0:0:0:0:0:0:2`
 `ff02:0:0:0:0:0:0:2`
 `ff05:0:0:0:0:0:0:2`

- 要請ノードアドレス `ff02:0:0:0:0:1:ffxx:xxxx`

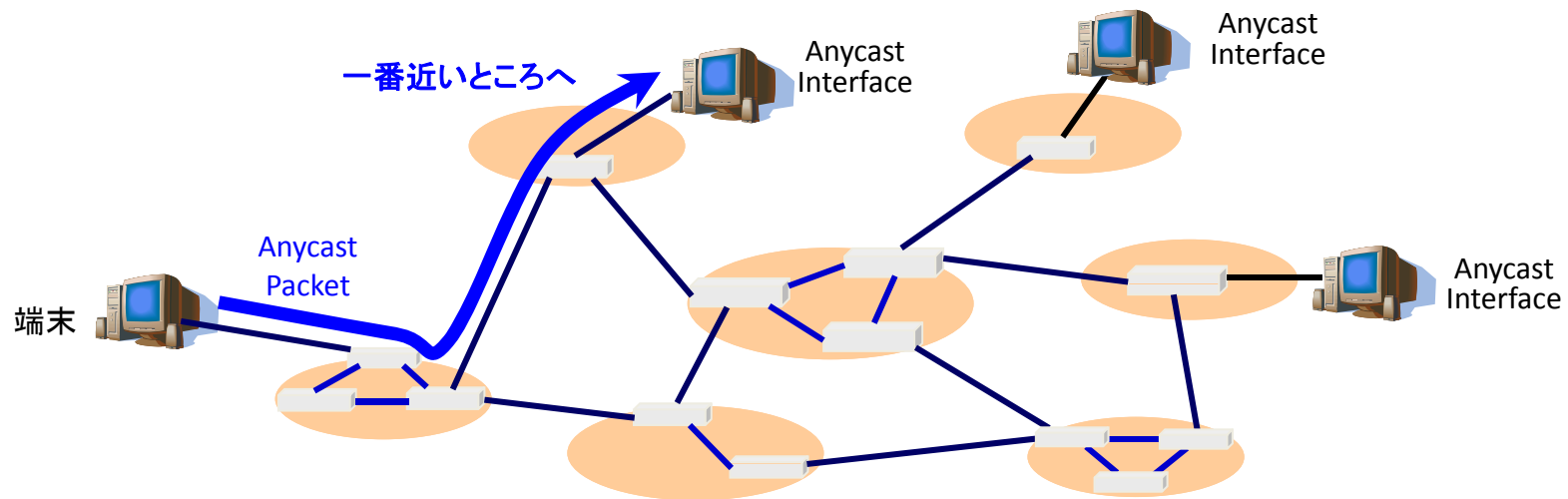
- `xx:xxxx` … IPv6ユニキャストアドレスの下位24bit

- ex) Unicast Address `fe80::0:1111:2345:6789`

- ⇒ solicited-node multicast address `fe02::1:ff45:6789`

IPv6エニーキャストアドレス

- 複数のインタフェースに割り当てられたIPアドレス
- 送信されたエニーキャストアドレスはインタフェース群の中で最も近いインタフェースに転送される
- アドレスフォーマットはユニキャストアドレスと同じ
 - 構文的にユニキャストとエニーキャストを識別することはできない
- サーバの分散、対障害性の強化





IPv6ヘッダ



IPv6ヘッダ



– 基本ヘッダ

- 40byte固定長
- フィールドを簡素化
- 全ての中間ルータで処理しなければならない

– 拡張ヘッダ

- 可変長
- IPv4のオプションフィールドに相当
- 必要に応じて追加するヘッダ
- 一部の例外を除き宛先ノードのみが処理



IPv6基本ヘッダ

- 従来のIPv4ヘッダフォーマット

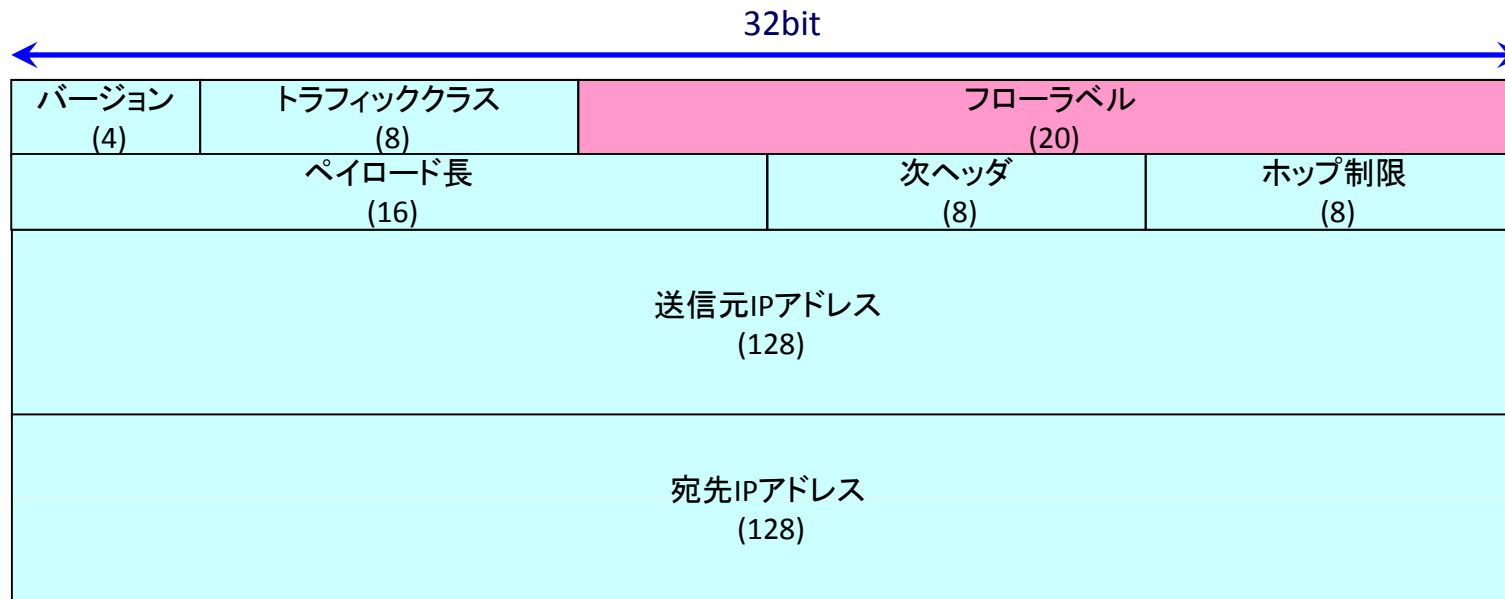


: IPv6ヘッダでは廃止されたフィールド



IPv6基本ヘッダ

- IPv6基本ヘッダフォーマット



: IPv6ヘッダで新設されたフィールド

ー IPv4から名前が変更されたフィールド

- ・ TOS → トラフィッククラス
- ・ トータル長 → ペイロード長
- ・ TTL → ホップ制限
- ・ プロトコル → 次ヘッダ



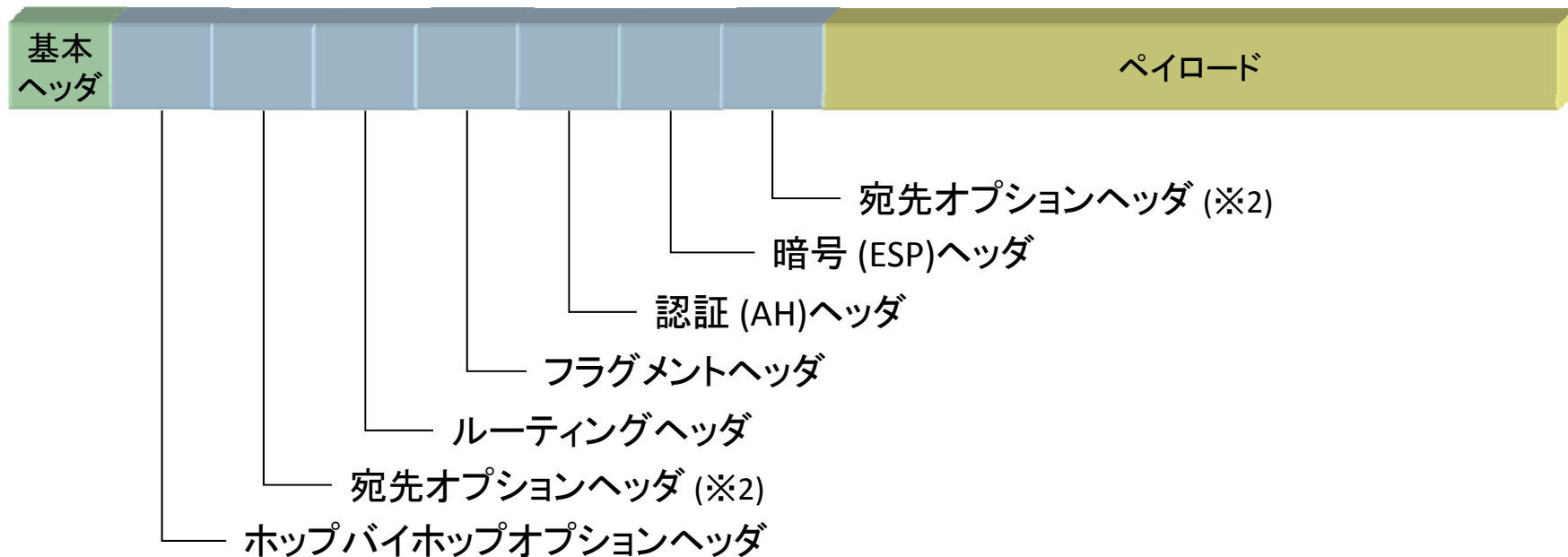
IPv6基本ヘッダ

- IPv6ヘッダフィールド
 - バージョン
 - IPのバージョンを表します (IPv6では”6”)
 - トラフィッククラス
 - 伝送を行うルータがIPv6パケットを識別するために使用
 - フローラベル
 - IPレイヤでQoS制御を実現するために設けられた
 - ペイロード長
 - IPv6ヘッダに続くペイロード長を表します
 - 次ヘッダ
 - IPv6ヘッダの直後に続くヘッダタイプを表します
 - IPv4のプロトコルフィールドに相当
 - ホップ制限
 - パケットのルータを越えた転送回数の制限を示します



IPv6拡張ヘッダ

- IPv6では基本となる情報のみをIPv6ヘッダとして定義してその他オプション情報は拡張ヘッダに定義
- 拡張ヘッダは推奨する追加の順番がある



※1 ルーティングヘッダに登録されたアドレスが処理

※2 最終ノードのみが処理



IPv6拡張ヘッダ

- **ホップバイホップオプションヘッダ**
 - 例外的に経路上にある全てのノードで参照されるヘッダ
 - 用途は特に限定されていない (例:ジャンボグラムオプション)
- **宛先オプションヘッダ**
 - 宛先ノードで参照されるオプション
- **ルーティングヘッダ**
 - 特定のルーティング経路を指定するためのヘッダ
- **フラグメントヘッダ**
 - 送信元ノードがパケットをフラグメント化して送る際に 宛先ノードに対して再構築の方法を指示するためのヘッダ
- **認証 (AH)ヘッダ**
 - IPsecを利用するためのヘッダ
- **暗号 (ESP)ヘッダ**
 - IPsecを利用するためのヘッダ



ICMPv6



ICMPv6

- ICMPv6 (Internet Control Message Protocol for IPv6)
- RFC4443で定義
- ICMP/ARP/IGMPなどを統合したプロトコル
 - 疎通確認 Ping6/Traceroute6
 - 近隣探索プロトコル NDP (Neighbor discovery Protocol)
 - Path MTU Discovery
 - マルチキャストグループ管理 MLD (Multicast Listener Discovery)
- 次ヘッダは”58”

ICMPv6ヘッダ

タイプ (8)	コード (8)	チェックサム (8)
..... メッセージ本体		



ICMPv6

- メッセージタイプ
 - エラーメッセージ
 - 宛先到達不能
 - パケット過大
 - 時間超過
 - パラメータ異常
 - 情報メッセージ
 - エコー要求
 - エコー応答
 - MLD
 - NDP

タイプ	メッセージ	
1	Destination Unreachable (終点到達不能)	Error
2	Packet Too Big (パケットサイズ過大)	
3	Time Exceeded (時間超過)	
4	Parameter Problem (パラメータ問題)	
128	Echo Request (エコー要求)	Basic Information
129	Echo Reply (エコー応答)	
130	Multicast Listener Query (マルチキャストリスナー照会)	Multicast Listener Discovery (MLD)
131	Multicast Listener Report (マルチキャストリスナー報告)	
132	Multicast Listener Done (マルチキャストリスナー終了)	
133	Router Solicitation (ルーター要請)	Neighbor Discovery (ND)
134	Router Advertisement (ルーター広告)	
135	Neighbor Solicitation (近隣要請)	
136	Neighbor Advertisement (近隣通知)	
137	Redirect (リダイレクト)	
138	Router Renumbering (ルーティン番号)	
139	Node Information Query (ノード情報問い合わせ)	Node Information (NI)
140	Node Information Reply (ノード情報応答)	
141	Inverse Neighbor Discovery Solicitation (逆近隣探索要請)	Inverse Neighbor Discovery (IND)
142	Inverse Neighbor Discovery Advertisement (逆近隣探索広告)	
143	Version2 Multicast Listener Report (MLDv2リスナー報告)	
144	Home Agent Address Discovery Request (ホームエージェントアドレス探索要求)	Mobile IPv6
145	Home Agent Address Discovery Reply (ホームエージェントアドレス探索応答)	
146	Mobile Prefix Solicitation (モバイルプレフィックス要請)	
147	Mobile Prefix Advertisement (モバイルプレフィックス広告)	
148	Certification Path Solicitation (証明書パス要請)	Secure Neighbor Discovery (SEND)
149	Certification Path Advertisement (証明書パス広告)	
150	ICMP messages utilized by experimental mobility protocols such as Seamoby	
151	Multicast Router Advertisement	Multicast Router Discovery (MRD)
152	Multicast Router Solicitation	
153	Multicast Router Termination	
154	FMIPv6 Messages	



NDP

- NDP (Neighbor Discovery Protocol) RFC4861
- IPv6を支える重要なプロトコル
 - ARP/RARP相当
- NDP機能

- ルータ発見
- プレフィックス発見
- パラメータ発見
- アドレス自動設定
- MACアドレス解決
- 次ルータ検出
- 近隣停止発見
- アドレス重複検出(DAD)
- ICMPリダイレクト

- 利用するIPv6アドレス
 - ff02:0:0:0:0:0:0:1
 - ff02:0:0:0:0:0:0:2
 - 要請ノードマルチキャストアドレス (ff02::1:ff00:0/104)
 - リンクローカルアドレス (fe80::/10)



NDP

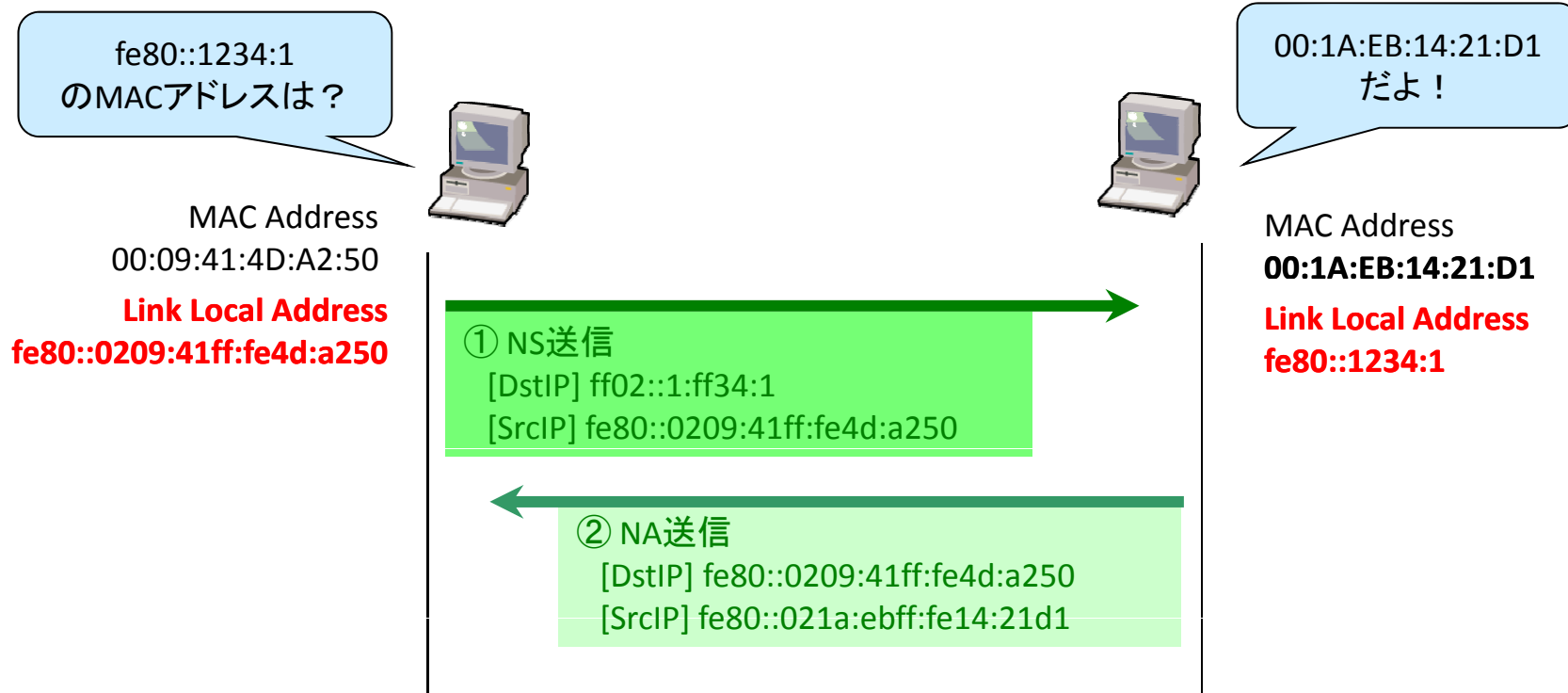
- メッセージタイプ

タイプ	メッセージタイプ	詳細
133	ルータ要請 (Router Solicitation)	ルータからのルータ広告を要求するメッセージ。 ルータからプレフィックスなどのネットワーク情報を要求する場合に使用。
134	ルータ広告 (Router Advertisement)	ルータがルータ要請に応答または定期的を送信するメッセージ。 ルータが端末にプレフィックスなどのネットワーク情報を通知する場合に使用。
135	近隣要請 (Neighbor Solicitation)	対象となる端末のデータリンク層の情報をマルチキャストで要求するメッセージ。IPv4のARP要求に相当。
136	近隣広告 (Neighbor Advertisement)	近隣要請に対して、データリンク層の情報をマルチキャストで要求のあった端末に通知するメッセージ。IPv4のARP応答に相当。
137	リダイレクト (Redirect)	ルータが次ルータや他の端末の情報を通知するメッセージ。



NDP

- NDPによるMACアドレス解決
 - NS(Neighbor Solicit) ... ARP Request に相当
 - NA(Neighbor Advertisement) ... ARP Reply に相当





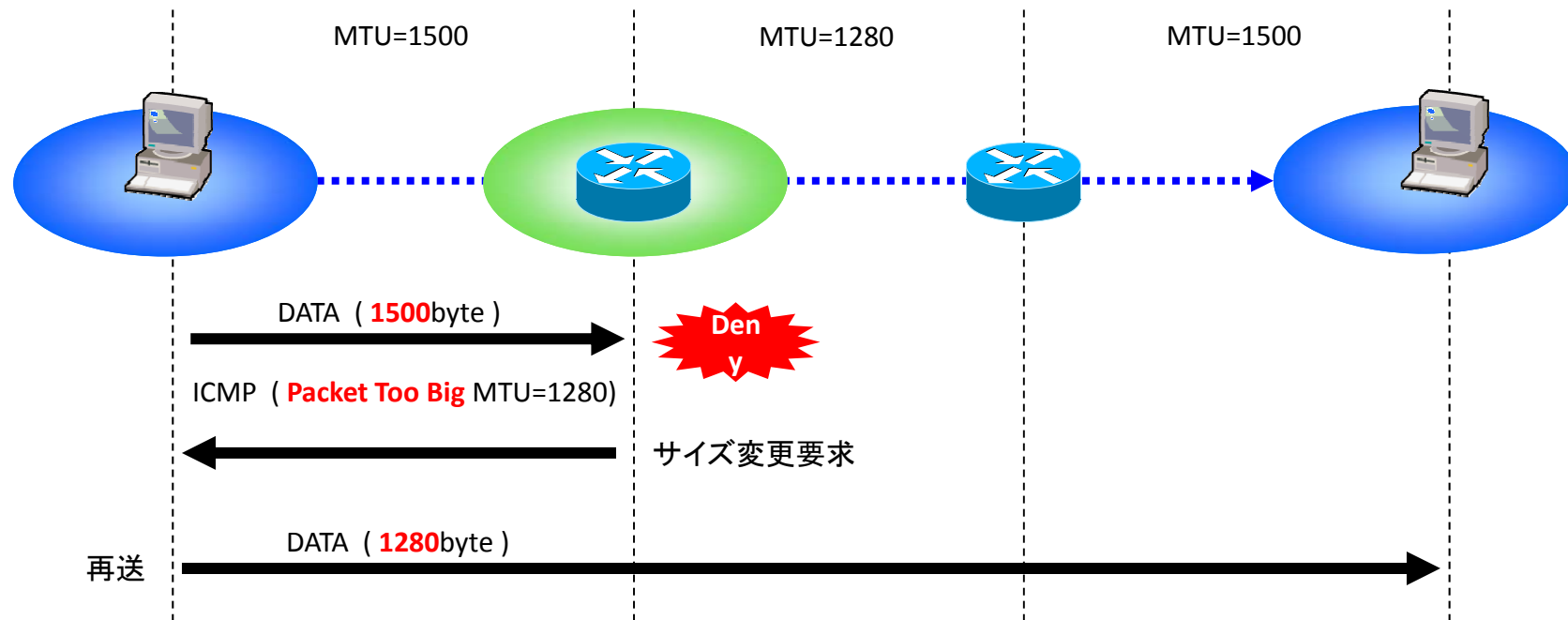
NDP

- 近隣キャッシュのエントリーステータス
 - INCOMPLETE
 - アドレス未解決の状態
 - NS送信後、NAを待っている状態
 - REACHABLE
 - アドレス解決が完了した状態
 - STALE
 - Reachable状態でReachable時間が経過した状態
 - トラフィックが発生するとDELAY状態に移行する
 - DELAY
 - 上位レイヤープロトコルで到達性を確認している状態
 - 上位レイヤーで到達性が確認されるとReachableに移行、それ以外の場合はProbeに移行(Probe前の猶予期間)
 - PROBE
 - NS Probe を送信し近隣ホストからNA応答を待っている状態
 - 応答があればReachableに移行、無ければエントリーから削除される



Path MTU Discovery

- 中継ノードはパケット (分割)をフラグメントしてはならない
- 最小MTU1280byte
- 中継ノードは許容するMTUより大きいパケットを受信した場合は許容するMTUを含むエラーメッセージを送信者に返信し再送を促す





プラグアンドプレイ



アドレス自動設定

- アドレスの設定方法
 - 手動設定
 - ルータやサーバなど
 - SLAAC (StateLess Address AutoConfiguration)
 - ステートレスアドレス自動設定
 - ホスト以外に割り当てられたアドレスを管理する機関はない
 - DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol Version 6)
 - ステートフルアドレス自動設定
 - ホスト以外に割り当てられたアドレスを管理する機関がある

RA vs DHCPv6

- SLAACとDHCPv6の比較

	IPv4	IPv6	
	DHCP	SLAAC (RA)	DHCPv6
IPアドレス	○ /32を通知	△ プレフィックスを通知	○ /128を通知
サブネット/プレフィックス長	○	○	△ RAから学習
デフォルトルート	○	○	× 標準化なし
サーバ情報 (DNS, NTP, SIP, etc)	○	× RFC5006 (experimental) 実装は少ない	○



SLAAC

- SLAAC (StateLess Address AutoConfiguration) RFC4862
- 手動でアドレス設定を行うことなく容易にネットワークに接続できることを目的に導入
- ステートレスアドレス自動設定とは自動でIPv6アドレスを端末が作成する仕組み
- DHCPサーバを必要とせず、端末が自動でアドレスを生成
- 設定はルータにだけすればよい
- RA (Router Advertisement)パケットを使ってプレフィックスを通知
- インターフェイスIDはMACアドレスをもとにEUI-64フォーマットで自動生成
- ネットワークプレフィックス部の変更が必要となった場合、ルータのIPv6アドレスの付与・変更を行うだけでよい
- インターネットへの接続がない場合、リンクローカルアドレスで運用



SLAAC

- RAパケットフォーマット

タイプ=134 (8)	コード=0 (8)		チェックサム (16)
現在の最大ホップ数 (8)	M (1)	O (1)	予約 (6)
到達可能期間 (32)			
再送タイマー (32)			
オプション			

- Mフラグ ("Managed address configuration" flag)
 - M=1 DHCPv6を使ってアドレスの割り当てを行う
 - M=0 DHCPv6を使ってアドレスの割り当てを行わない
- Oフラグ ("Other configuration" flag)
 - O=1 DHCPV6を使い、アドレス以外のサーバ情報の割り当てを行う
 - O=0 DHCPV6を使い、アドレス以外のサーバ情報の割り当てを行わない



SLAAC

- プレフィックス情報オプション
 - 通知するプレフィックス毎に設定されるオプション

タイプ=3 (8)	ペイロード長=4 (8)	プレフィックス長 (8)	L (1)	A (1)	予約1 (6)
最終有効時間 (32)					
推奨有効時間 (32)					
予約2					
プレフィックス					

- Lフラグ ("On-Link" flag)
 - 当該プレフィックスがリンク上に存在するかどうかを示す(L=1 存在する)
- Aフラグ ("Autonomous Address-Configuration" flag)
 - SLAACで当該プレフィックスをIPv6アドレスのプレフィックスとして使用するかどうかを示す(A=1 使用する)



SLAAC

- SLAACの動作
 - ① リンクローカルアドレス自動生成
 - EUI-64フォーマットを使いMACアドレスからインターフェースIDを生成
 - 生成したアドレスは重複検出を行っていないためまだ使用できない
 - ② 重複アドレス検出 (DAD: Duplicate Address Detection)
 - 生成したリンクローカルアドレスがリンク上で重複していないか確認
 - ②-1 近隣要請パケット (NS: Neighbor Solicitation)を送信
 - 宛先アドレスは要請ノードマルチキャストアドレスを使用
 - ②-2 近隣通知パケット (NA: Neighbor Advertisement)を返信
 - 重複するアドレスを保持する端末がいた場合は保持する端末がNAを返信
 - ③ リンクローカルアドレスの割り当て
 - 一定時間待ちどこからも返信が無い場合はリンクローカルアドレスとして使用
 - NAパケットを受信した場合は利用を停止



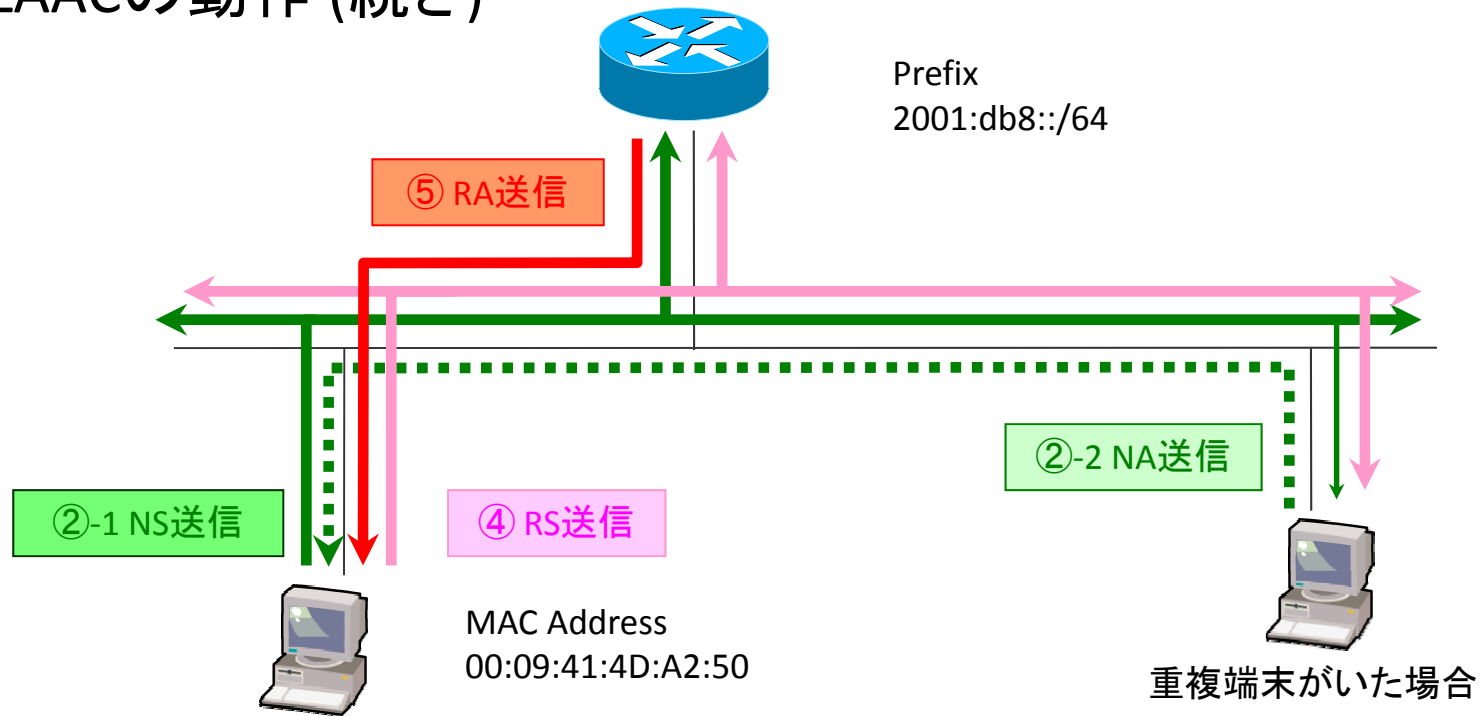
SLAAC

- SLAACの動作 (続き)
 - ④ ルータ要請パケット (RS: Router Solicitation)の送信
 - 端末はリンク上のルータに向けてRSパケット送信
 - RSパケットは必須ではない
 - ⑤ ルータ応答パケット (RA: Router Advertisement)を返信
 - RSパケットを受け取ったルータはプレフィックス/デフォルトゲートウェイ情報を含めたRAパケットを返信
 - RSパケットは定期的送信されている
 - ⑥ グローバルアドレスの割り当て
 - 端末はRAパケットからプレフィックスを取り出しグローバルアドレスを生成



SLAAC

- SLAACの動作 (続き)



①リンクローカルアドレス自動生成 → ③割り当て
Link Local Address **fe80::0209:41ff:fe4d:a250**

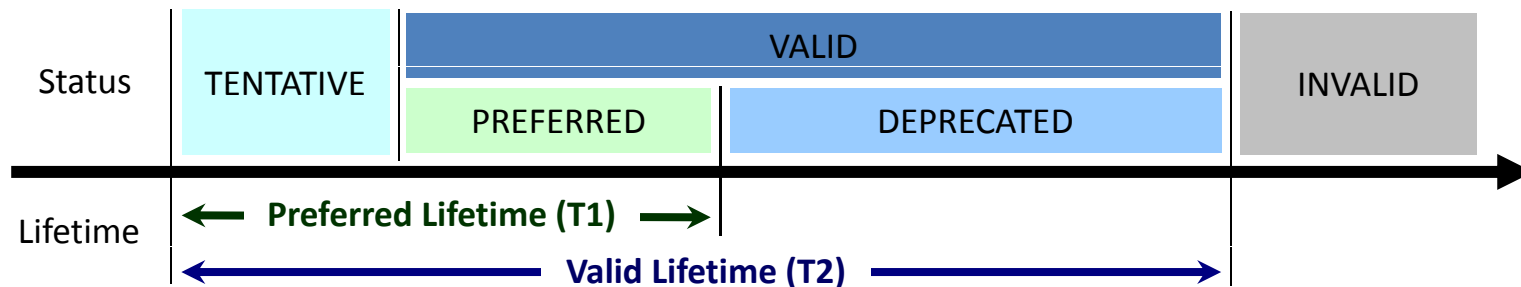
⑥グローバルアドレス自動生成
Global Address **2001:db8::0209:41ff:fe4d:a250**



IPv6アドレスの有効期間

– 自動生成されたアドレスのステータス

- Tentative Address
 - 重複確認(DAD)前の仮アドレス
- Preferred Address
 - 一意性が確認された推奨アドレス
- Depreciated Address
 - まだ有効なアドレスであるが新規通信での使用は推奨されないアドレス
- Valid Address
 - ユニキャスト通信に有効なアドレス。Preferred + deprecated
- Invalid Address
 - ユニキャスト通信で使用できない無効なアドレス



Preferred Lifetime : 推奨有効時間

Valid Lifetime : 最終有効時間



DHCPv6

- DHCPv6 (Dynamic Host Configuration Protocol Version 6) RFC3315
- IPv4 DHCP の IPv6 版
- SLAACのRAオプション (M/Oフラグと組み合わせて使用することができる)
- 1つのインタフェースに複数のアドレスを設定できる
- DHCPv6ではUDP546 (クライアント)、UDP547 (サーバー)を利用してメッセージを送受信
- ブロードキャストではなくマルチキャストを使用
 - ff02:0:0:0:0:0:1:2 – リンク内の全DHCPエージェント
- メッセージタイプを細分化
- DHCPサーバおよびクライアントは一意的DUID (DHCP Unique Identifier)で識別。DUIDはいくつか種類があり固定長ではない
 - ベンダ固有ID
 - リンク層アドレス
 - タイムスタンプ付きリンク層アドレス

DHCPv6

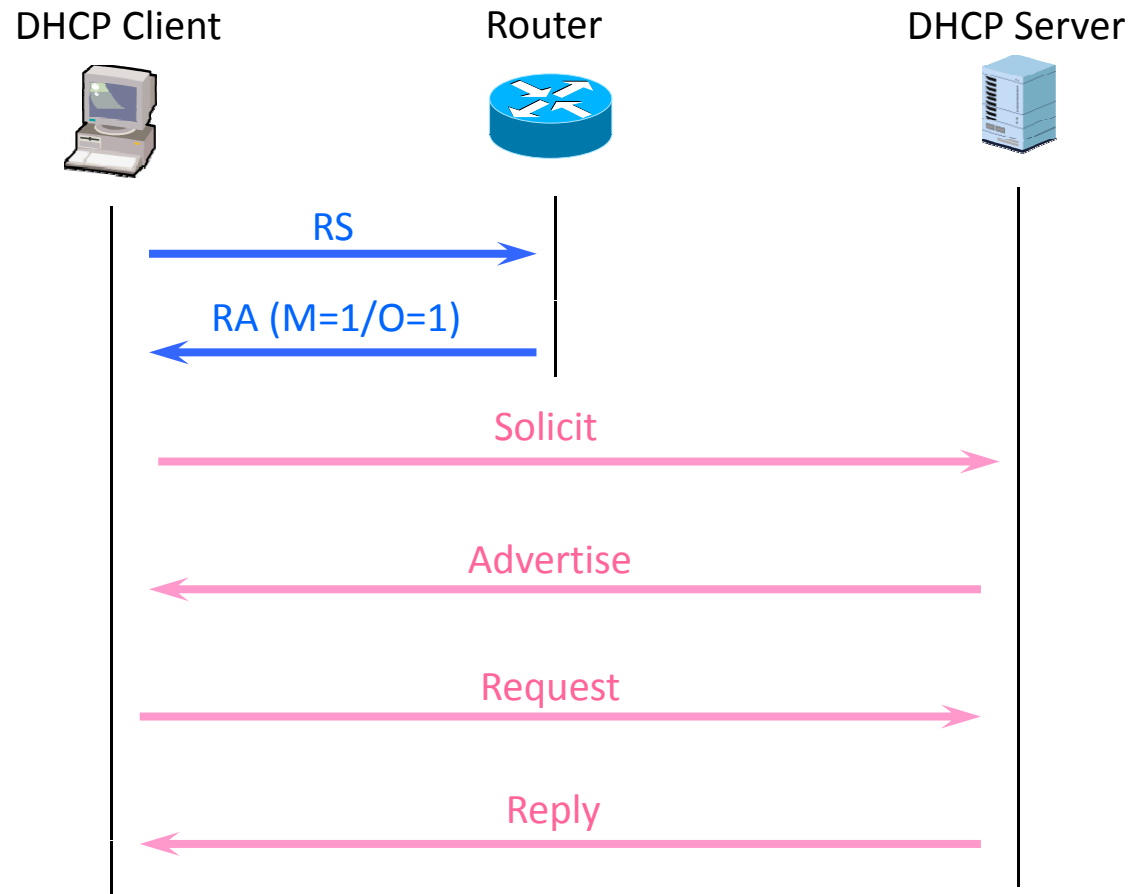
- メッセージタイプ

番号	メッセージ種別	発信元	説明	DHCPv4
1	Solicit	Client	要請 - DHCPサーバの探索	Discover
2	Advertise	Server	広告 - Solicitに対してサービスが可能であることを示す	Offer
3	Request	Client	要求 - アドレスと設定パラメータを要求	Request
4	Confirm	Client	確認 - 割り当てられたアドレスが適切かを確認	
5	Renew	Client	更新 - 割り当てられたアドレスのリース延長要求	Request
6	Rebind	Client	再結合 - Renewの応答がなかった時に送信	Request
7	Reply	Server	応答 - 割り当てたアドレスと設定パラメータを通知	Ack/NAK
8	Release	Client	解放 - 割り当てられたアドレスを使わないことを示す	Release
9	Decline	Client	辞退 - 割り当てられたアドレスが既に使用中であることを示す	Decline
10	Reconfigure	Server	再設定 - 新規または更新された設定パラメータの再取得を促す	Forcerenew
11	Information request	Client	情報要求 - アドレス以外の設定パラメータを要求	Inform
12	Relay-forward	Relay Agent	リレー転送 - リレーメッセージをサーバに転送	
13	Relay-reply	Server	リレー応答 - Relay-forwardに対する応答	



DHCPv6

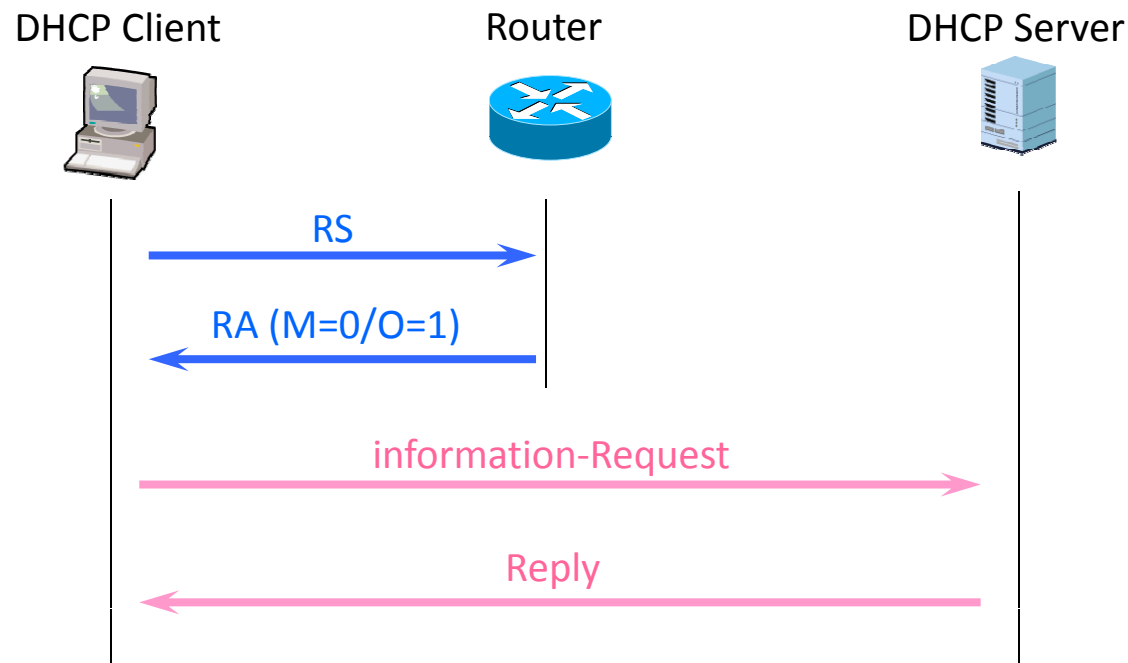
- DHCPv6シーケンス





ステートレスDHCPv6

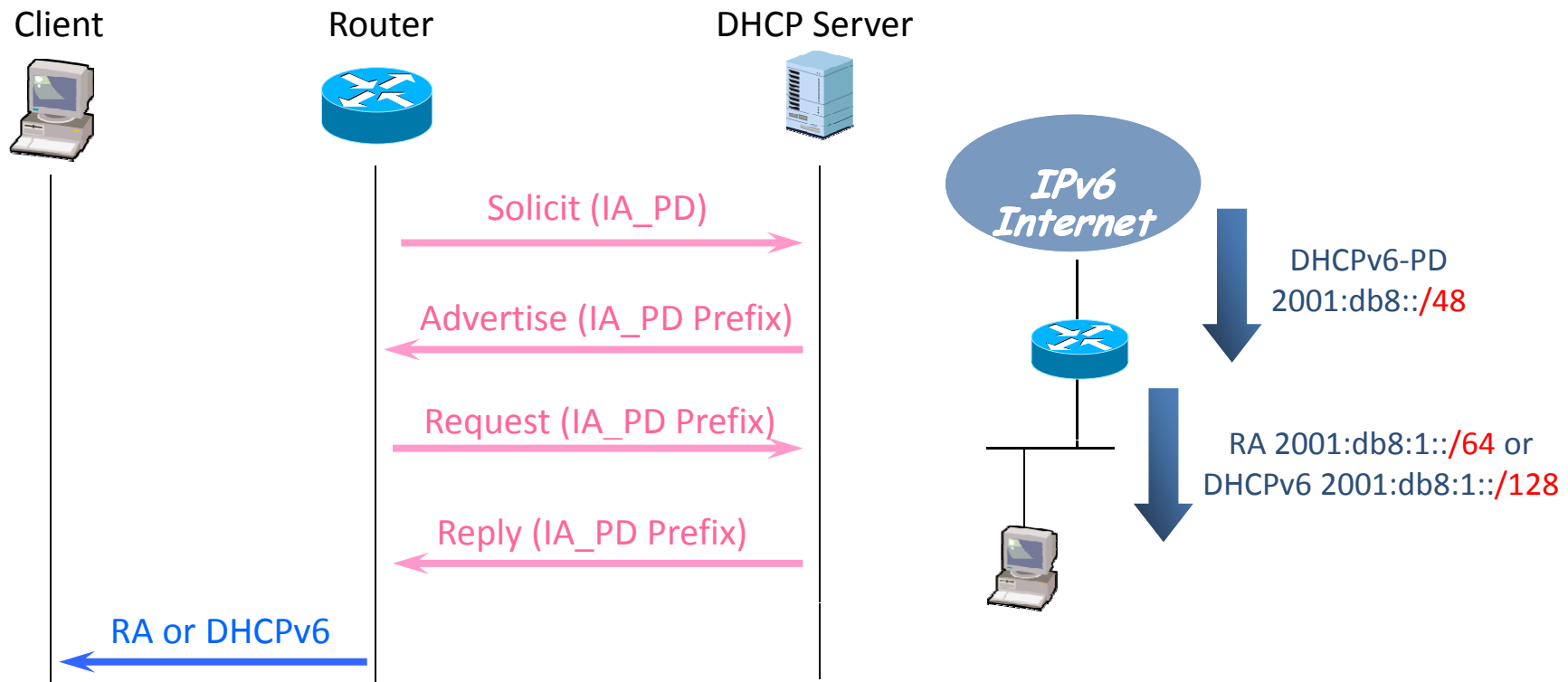
- Stateless DHCPv6
- サーバがアドレスの管理を行わない方式
- アドレス以外のサーバ情報(DNS, SIP, NTP, etc)のみを通知する
- RAでOフラグのみをセット





DHCPv6-PD

- DHCPv6-PD (Prefix Delegation)
- プロバイダからルータにプレフィックスを通知する方式
- 取得したプレフィックスをRAまたはDHCPv6で配下に通知





IPv4
EXHAUSTION

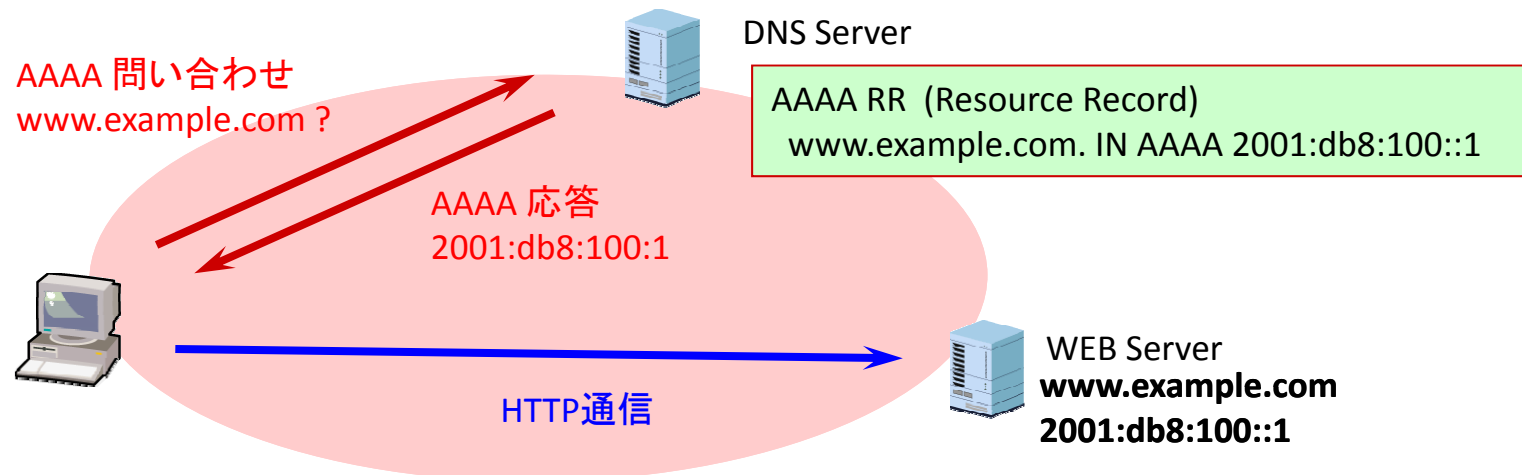
IPv6オペレータ育成プログラム

DNS



DNSのIPv6対応

- DNSのIPv6化には2つの対応がある
 - ① IPv6アドレスの問い合わせ
 - AAAAレコード
 - 128bitアドレスの対応
 - IPv4のAレコードに相当
 - ② IPv6アドレスでのDNS通信
 - IPv6アドレスを使用してDNSパケットを転送





OSのDNS実装

- OSによってDNSリゾルバの実装は異なる
 - DNSクエリーの優先順位
 - AAAAレコードを先に実施
 - Windows XP、Linux
 - Aレコードを先に実施
 - Windows Vista、Windows 7、FreeBSD、MAC OS X
 - DNS通信で使用するIPアドレスの優先順位
 - IPv4のみ
 - Windows XP
 - IPv6を優先
 - Windows Vista、Windows 7
 - 設定ファイルに依存
 - FreeBSD、Linux

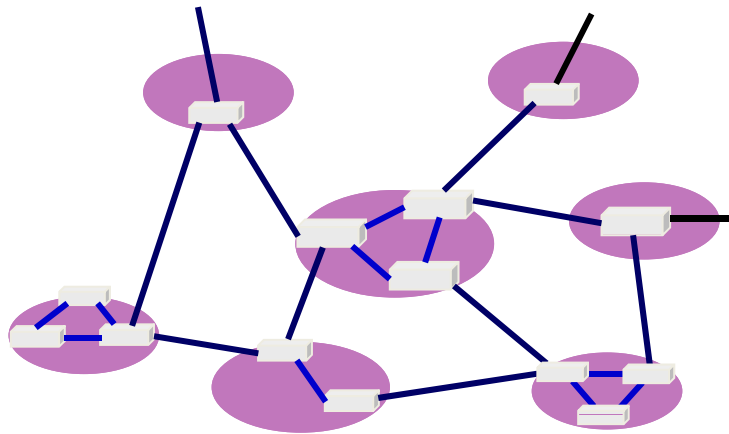


IPv6ルーティング



IPv6ルーティング

- Routing Protocol
 - スタティック・ルーティング
 - ダイナミック・ルーティング
 - RIPng
 - OSPFv3
 - BGP4+

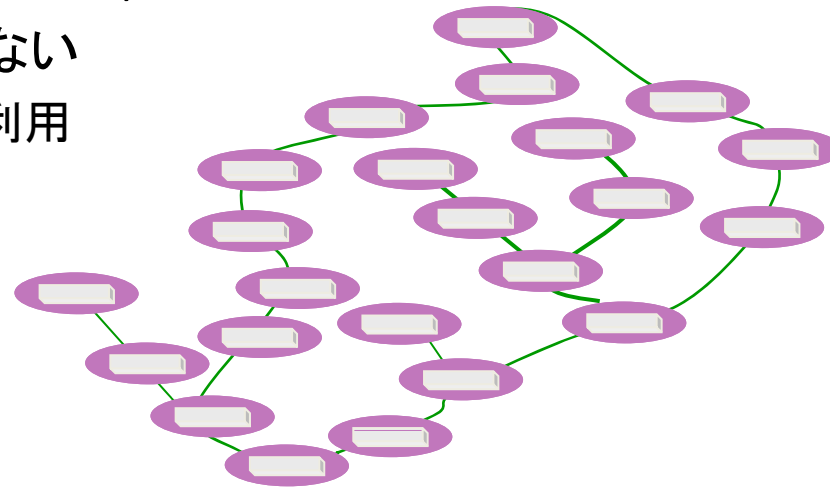


IPv4	IPv6
RIP	RIPng
OSPF	OSPFv3
BGP4	BGP4+



RIPng

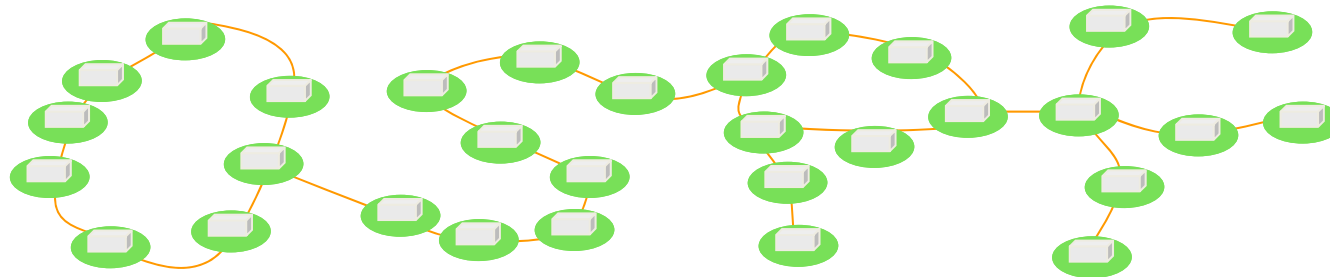
- RIP next generation (RFC2080)
- ディスタンスベクター型ルーティングプロトコル
- IPv4のRIP version2 (RFC1723)の特徴をほぼそのまま継承
 - ルーティングエントリを128bitに変更
 - マルチキャストパケットを使用 (ff02::9)
 - 最大ホップ数は15 (16は到達不能を意味する)
- UDP521番ポート (RIPはUDP520)
- 認証機能は実装されていない
 - IPsecなど他プロトコルを利用





OSPFv3

- OSPFv3 RFC5340
- リンクステート型ルーティングプロトコル
- RIPngと同様、OSPFの特徴をほぼそのまま継承
- Router-ID、Area-IDはそのまま32bitを使用
- IPv6マルチキャストアドレスによる経路情報の交換
 - FF02::5 – AllSPFRouters 全OSPFv3ルータが受信
 - FF02::6 – AllDRouters DR/BDRのOSPFv3ルータのみ受信
- LSA Type の追加
 - Type-8 Link-LSAs
 - Type-9 Inter-Area-Router-LSAs





BGP4+

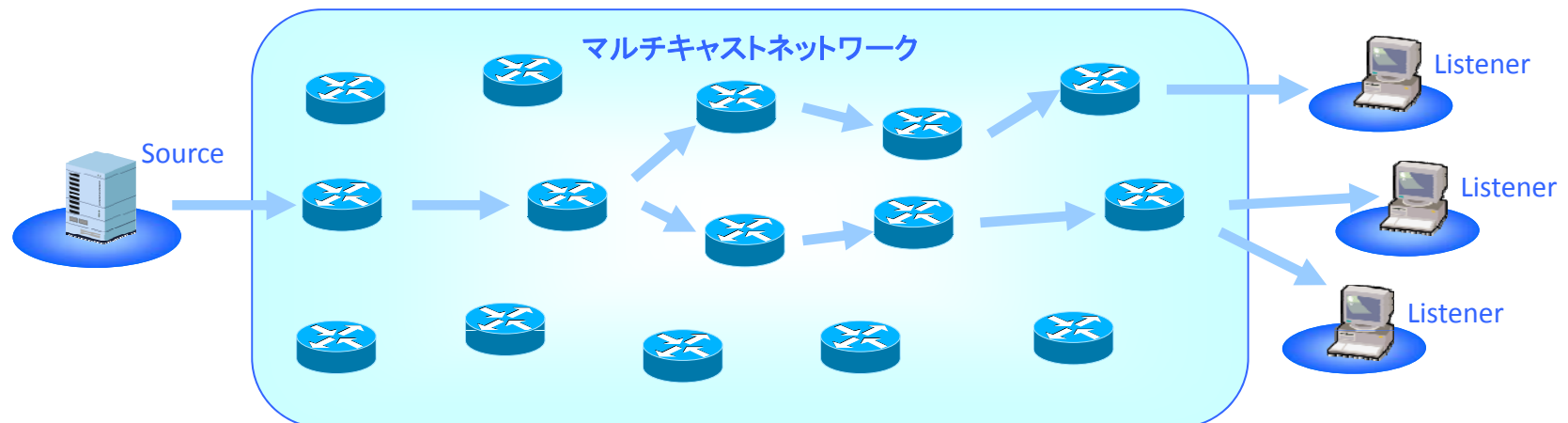
- Multiprotocol Extensions for BGP-4 (RFC4760)
- IPv6、IPX、L3VPN など複数のネットワークレイヤープロトコルに対応
 - IPv6 は AFI (Address Family Numbers) が”2” IPv4は”1”
- 新たに定義された属性
 - MP REACH NLRI (Multiprotocol Reachable NLRI)
 - 有効経路の通知
 - MP UNREACH NLRI (Multiprotocol Unreachable NLRI)
 - 無効経路の通知
- BGPセッションはIPv4、IPv6のどちらでも可
- OSPFv3と同様、Router-IDは32ビットの識別子



IPv6マルチキャスト

IPv6マルチキャストプロトコル

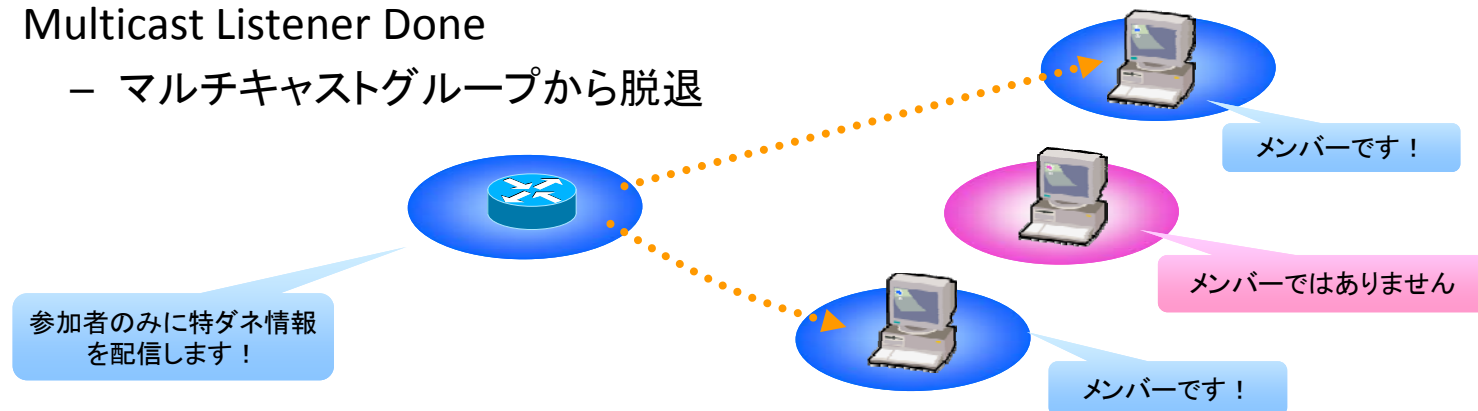
- マルチキャストグループのホストを管理
 - MLD (Multicast Listener Discovery)
- マルチキャストグループをルータ間で管理
 - PIM (Protocol Independent Multicast)
 - PIM-DM (PIM - Dense Mode)
 - PIM-SM (PIM - Sparse Mode)
 - PIM-SSM (PIM - Source-Specific Multicast)





MLD

- Multicast Listener Discovery (MLD) RFC3810
 - ICMPv6の一部として規定
 - IPv4のIGMPに相当
 - メッセージの種類
 - Multicast Listener Query
 - マルチキャストに参加する参加者を検索
 - Multicast Listener Report
 - マルチキャストに参加する意思を表明
 - Multicast Listener Done
 - マルチキャストグループから脱退





PIM

- PIM (Protocol Independent Multicast)
 - アドレスがIPv6(ff00::/8)となる以外は基本的にIPv4のPIMと同じ

PIM-DM (PIM - Dense Mode)

- マルチキャスト用の経路情報を持たず、ユニキャストのルーティングテーブルを使用
- シンプルさに重きを置いたプロトコルであり、広帯域、且つ、グループメンバーが密集しているような環境に適している

PIM-SM (PIM - Sparse Mode)

- マルチキャスト用の経路情報を使用
- グループメンバーが広範囲に分散しているような環境に最適
- RP(Rendezvous Point: ランデブーポイント)、BSR(Bootstrap Router: ブートストラップルーター)の役割を持つルーターを使ってマルチキャストグループを管理

PIM-SSM (PIM - Source-Specific Multicast)

- PIM-SMの拡張機能。リスナーがあらかじめソースのアドレスを指定して要求を行うモード
- RPが不要となりプロトコルを簡略化
- 意図しないマルチキャストパケットを軽減
- SSMに対して、通常のPIM-SMはASM(Any Source Multicast)と呼ばれる

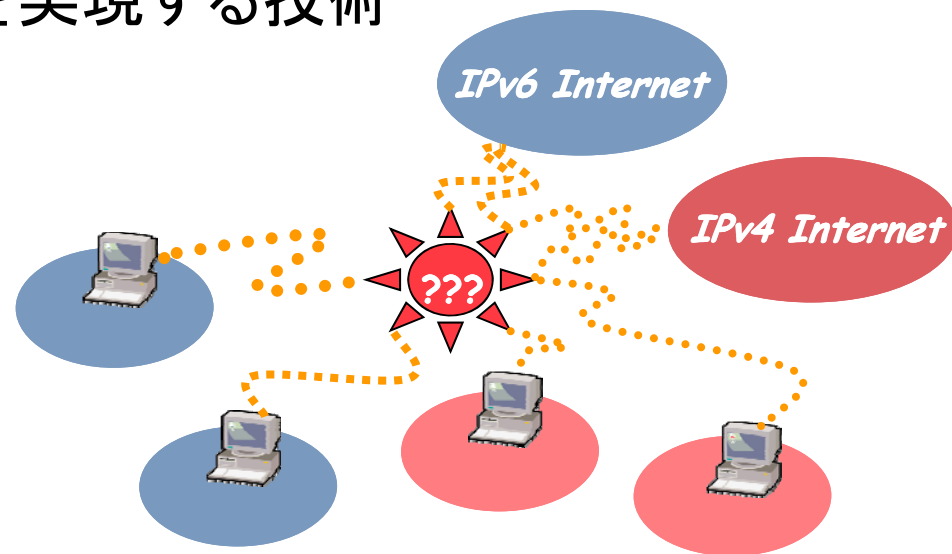


相互運用と移行



相互運用と移行

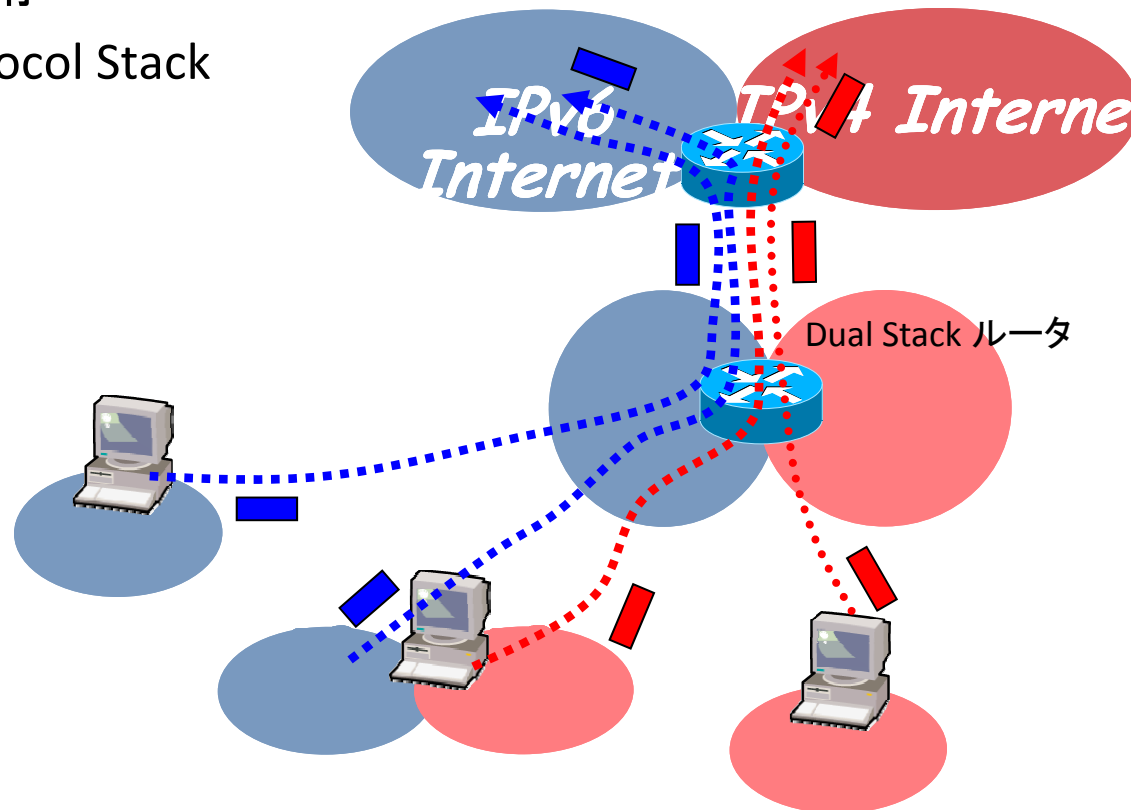
- IPv4とIPv6の共存
 - IPv4とIPv6の互換性はなし
 - 大規模ネットワークほどIPv6への移行は困難
 - 現行のIPv4ネットワークの使用を前提として段階的に移行すべき
- IPv4とIPv6の混在環境を実現する技術
 - Dual Stack
 - Tunnel
 - Translator





Dual Stack

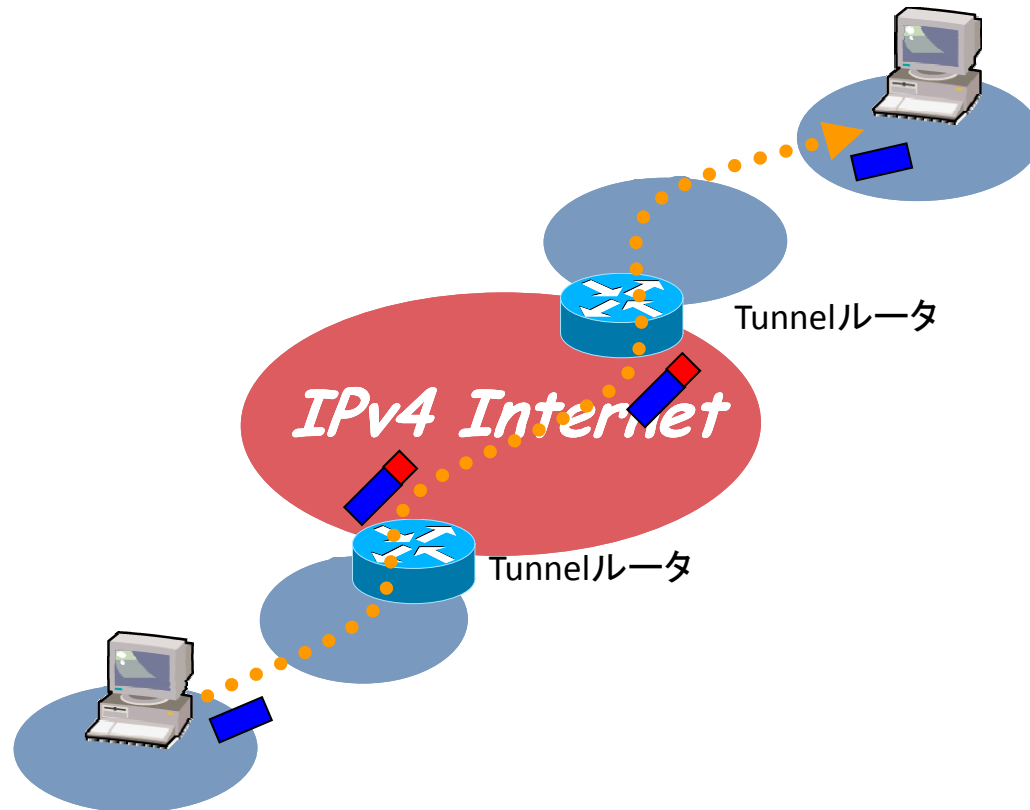
- 各ノードにIPv4とIPv6の両方のプロトコルスタックを搭載
- IPv4ネットワークと通信を行う時はIPv4、IPv6ネットワークと通信する時はIPv6を利用
- IPv4/IPv6 Protocol Stack
 - Host
 - Router
 - Service





Tunnel

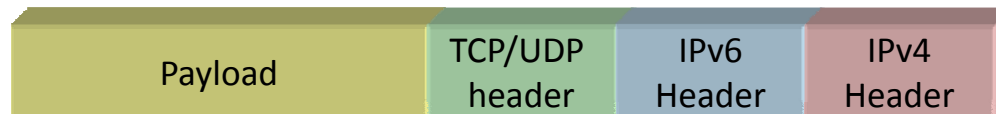
- IPv6パケットをIPv4パケットでカプセル化して通信を行う
- 点在するIPv6ネットワークをIPv4ネットワークを介して接続
- Protocol タイプ = 41
- Tunnelパターン
 - IPv6 over IPv4
 - IPv4 over IPv6
- Tunnel設定
 - 手動設定
 - 自動設定
 - 6to4
 - Teredo
 - ISATAP





Tunnel

- IPv6 over IPv4
 - パケットヘッダ



プロトコル番号41 (IPv6)でカプセル化





6to4

- RFC3065 定義
- IPv4ネットワークを介してIPv6ネットワークを自動トンネリング
- IPv4グローバルアドレスが必要
- 6to4 Prefix: 2002:[IPv4 address]::/48
- 6to4リレールーターを介してIPv6ネットワークへ接続
 - IPv4の終点アドレスはエニーキャストアドレス (192.88.99.1)
 - IPv6に対応していないISPからでも接続可能





6to4

- アドレスフォーマット
 - 6to4用アドレス割り当て 2002::/16
 - 上記にIPv4アドレスを追加したものが 6to4 Prefix となる

2002 (16)	IPv4グローバルアドレス (32)	サブネットID (16)	インターフェースID (64)
--------------	-----------------------	-----------------	--------------------

- ex) 150.87.193.54 の場合
 - 150.87.193.54 [10進表記]
 - ↓
 - 9657:C136 [16進表記]
 - ↓
 - **2002:9657:C136::/48 [6to4 Prefix]**



6to4

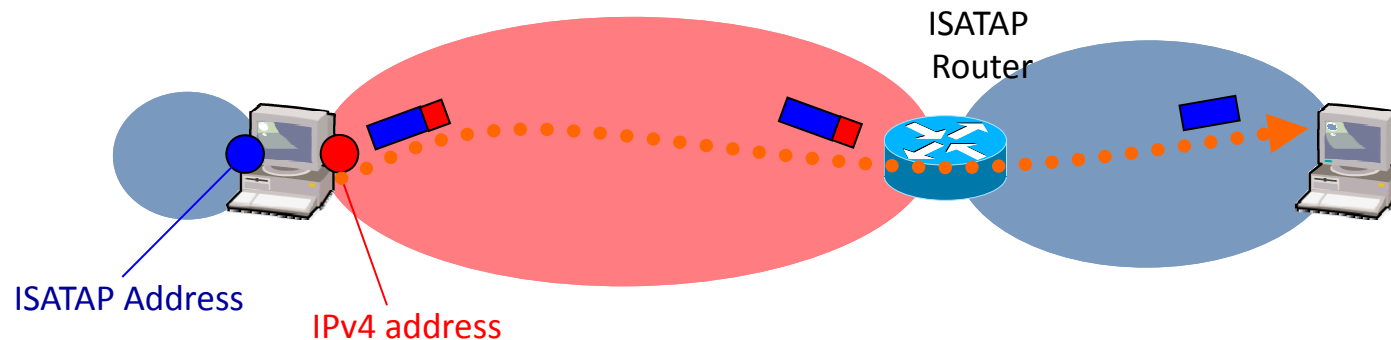
- パケットフォーマット

4	ヘッダ長 (4)	TOS (8)	トータル長 (16)	
識別子 (16)		フラグ (3)	フラグメントオフセット (13)	
TTL (8)	41		ヘッダチェックサム (16)	
150.87.193.54				
192.88.99.1 (6to4 Relay Address)				
オプション (可変長)			パディング (可変長)	
6	トラフィッククラス (8)	フローラベル (20)		
ペイロード長 (16)		次ヘッダ (8)	ホップ制限 (8)	
2002:9657:C136::1				
宛先IPアドレス (128)				



ISATAP

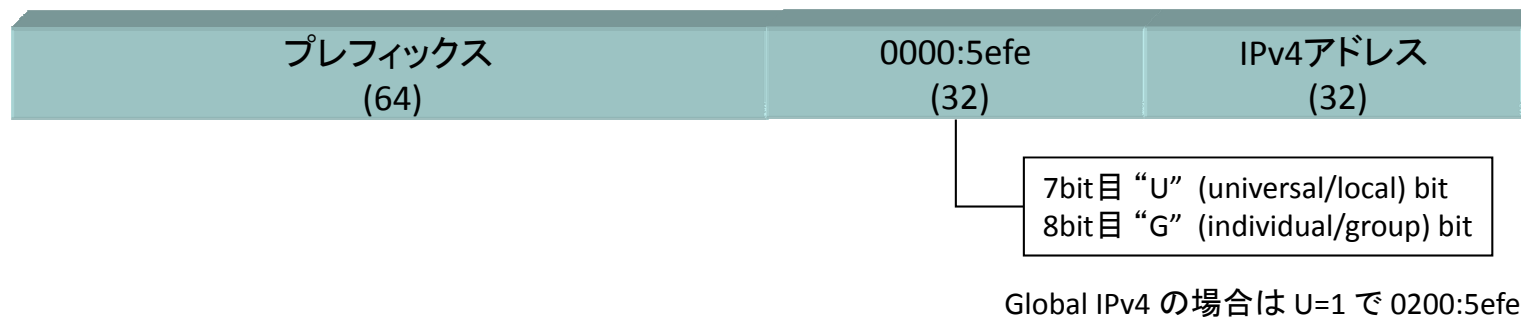
- ISATAP (Intra-Site Automatic Tunnel Addressing Protocol)
- RFC 5214 定義
- 6to4のイントラネット版
 - 点在するIPv6ホスト間の接続
- IPv4グローバルアドレスを必要としない





ISATAP

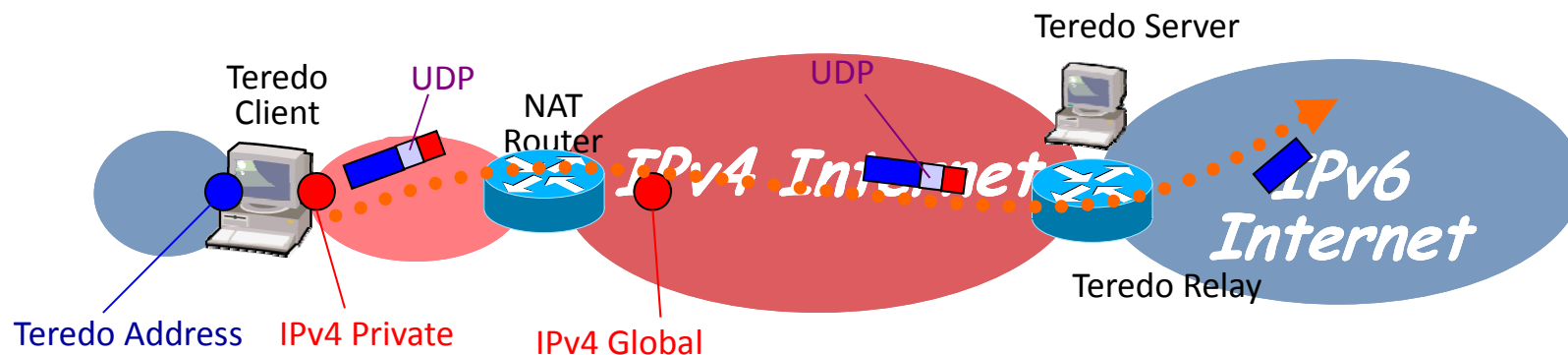
- アドレスフォーマット
 - ISATAP Interface-ID ::5efe:<IPv4 Address>
 - プレフィックス部はISATAPルータの割り当てたプレフィックスを使用
 - 同一サブネット内のISATAPホストへはリンクローカルアドレスを使用して直接IPv6通信





Teredo

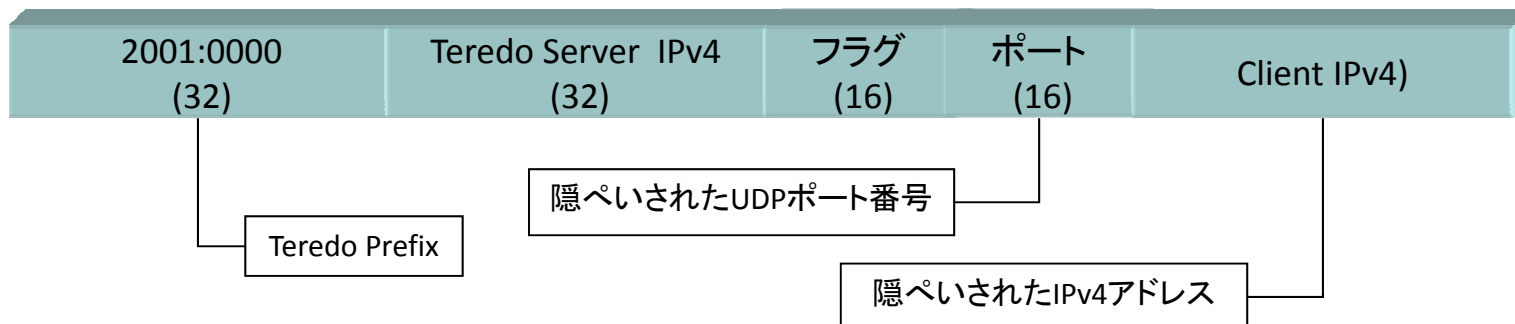
- Teredo (Tunneling IPv6 over UDP through NATs) RFC4380
- UDPでカプセル化を行うことでNAT越えのトンネルを実現
 - IPv4プライベートアドレスで利用可能
 - UDP Port 3544
- Teredoを実現するコンポーネント
 - Teredoクライアント・・・IPv6パケットをUDPカプセル化
 - Teredoサーバ・・・NATタイプ判定・プレフィックス通知
 - Teredoリレー・・・TeredoクライアントとIPv6ネットワークのルーティング





Teredo

- アドレスフォーマット
 - Teredo Prefix 2001:0000::/32
 - パブリックなTeredoサーバ
 - teredo.ipv6.microsoft.com
 - teredo.remlab.net
 - teredo.autotrans.consulintel.com etc





Tunnel

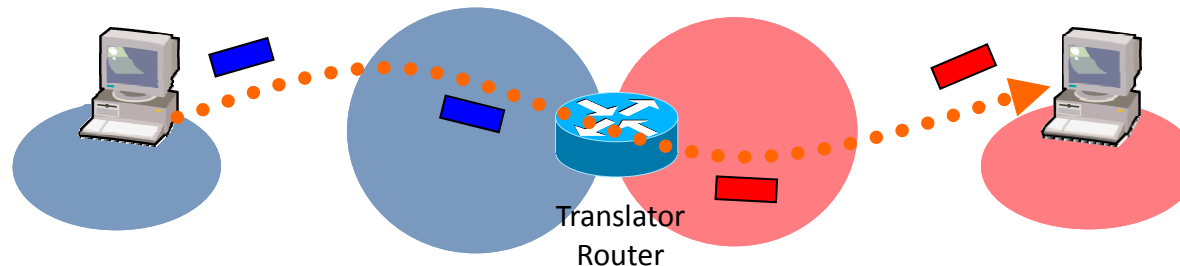
- 自動トンネリングの種類

方式	まとめ	グローバル IPv4アドレス
IPv4互換	<ul style="list-style-type: none">IPv4互換アドレスを利用この方式は現在【非推奨】	必要
6to4	<ul style="list-style-type: none">点在するIPv6ネットワークを相互接続6to4リレールーターを介して接続	必要
ISATAP	<ul style="list-style-type: none">プライベートアドレスに対応したトンネリングIPv4イントラネットでの利用	不要
Teredo	<ul style="list-style-type: none">6to4 over NATとも呼ばれるIPv4のNAT越えが可能	不要



Translator

- IPv4 NATのようにIPv4とIPv6のアドレス変換を行う
- 変換を行うレイヤーはインターネット層からアプリケーション層まで様々
- トランスレータ方式
 - ALG (Application Level Gateway)
 - HTTP/FTPなどアプリケーションレベルでの変換
 - ALGに対応する特定のアプリケーションに限定
 - TRT (Transport Relay Translator)
 - トランスポート層でコネクション変換
 - NAT-PT (Network Address Translation - Protocol Translation)
 - 現行のNAPT (ネットワークアドレス、ポート変換)を利用



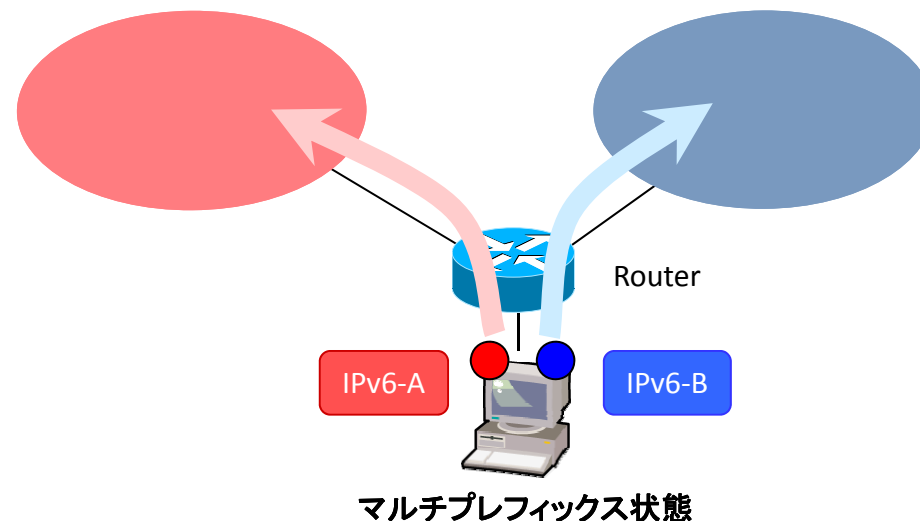


マルチプレフィックス問題



マルチプレフィックス問題

- IPv6では1つのインタフェースに 複数のIPアドレスを持つことが可能 (マルチプレフィックス)
- マルチプレフィックス環境下で発生する様々な問題の総称
 - 送信元アドレス選択問題
 - 経路選択問題
 - DNS サーバ選択問題
- IPv6インターネット接続網とIPv6閉域網が混在する環境で多く発生





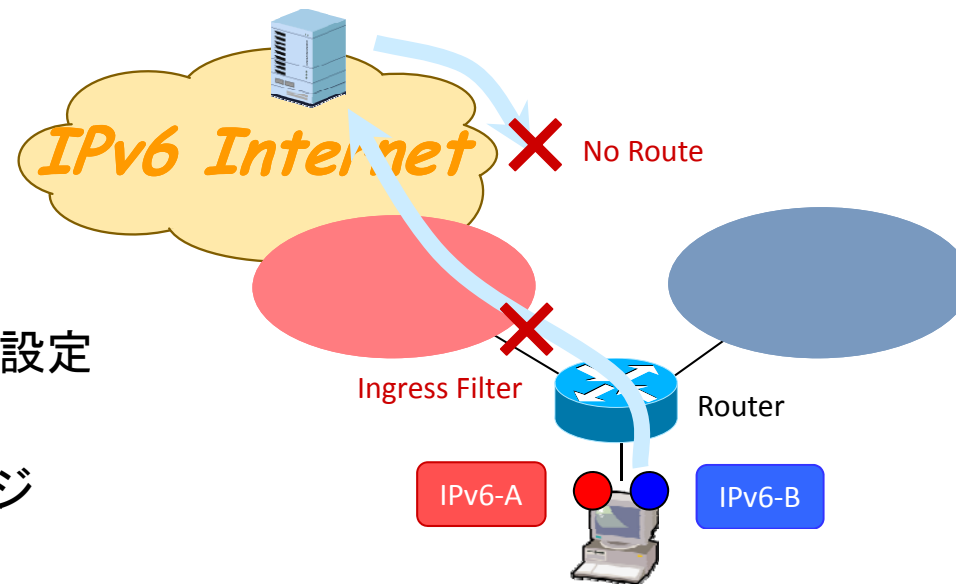
マルチプレフィックス問題

• 送信元アドレス選択問題

- 期待する送信元アドレスとは異なるアドレスを使用して通信することで発生する問題
 - セキュリティ上、アドレス不一致によるISP側によるパケット破棄
 - 閉域網との併用時にインターネットから閉域網アドレスへの経路がない

- 解決策

- ポリシーテーブルの設定
- ULAの活用
- ICMPエラーメッセージ





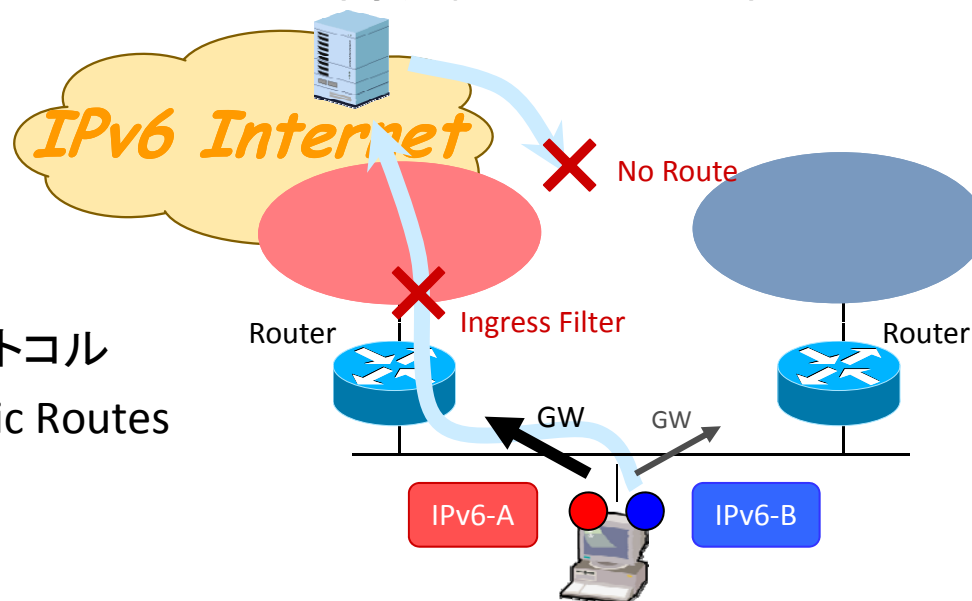
マルチプレフィックス問題

経路選択問題

- 複数あるネクストホップを適切に選択できないことで発生する問題
- デフォルトルートが複数持つ環境で端末がどちらを使用するかはOSの実装に依存
 - セキュリティ上、アドレス不一致によるISP側によるパケット破棄
 - 閉域網との併用時にインターネットから閉域網アドレスへの経路がない

解決策

- 経路情報の設定
 - ルーティングプロトコル
 - RA + More-Specific Routes
 - 手動設定
- ポリシールーティング





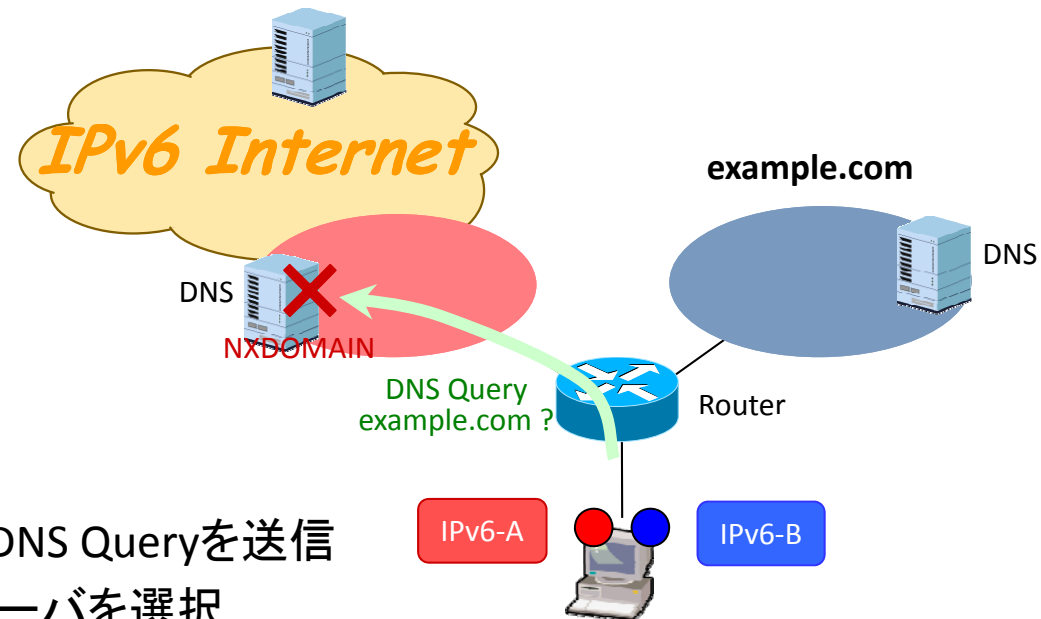
マルチプレフィックス問題

• DNSサーバ選択問題

- ISP/閉域ASPが独自のドメインを管理している時に適切なDNSサーバを選択できないことで発生する問題
- 通信不可や通信遅延などが発生

- 解決策

- DNSサーバへ順にDNS Queryを送信
- ドメイン毎にDNSサーバを選択





IPv4
EXHAUSTION

IPv6オペレータ育成プログラム



<http://www.allied-telesis.co.jp>

※各社の社名ロゴ及び製品名等の固有名詞は各社の商標または登録商標です。