

## IPv6 ネットワークを作ろう

IPv6 は次世代プロトコルである。読者の方々が利用もしくは管理しているネットワークのほとんどはまだ IPv4 かもしれない。既に大手 ISP では IPv6 に対応しているので、一部の先進的なユーザは既に IPv6 を導入しているかもしれない。標準で IPv6 に対応しているとして Windows XP が Microsoft から発表されてから既に二年、より IPv6 に対応している Windows Server 2003 が発売されてから一年経過し、様々な組織でネットワークを IPv6 に対応させるための準備が行われていることだろう。IPv6 が主流になる時代は目前である。主流になる前に対応を準備しておこう。

## IPv6 とはどのようなものか？

まずはそのメリットについて確認してみよう。IPv6 のメリットとしては、

- ① 豊富なアドレス空間 → アドレス枯渇問題の解消
- ② P2P 通信の実現 → 全員がグローバルアドレス  
→ NAT を使用せず直接通信が可能。  
→ NAT の存在で使用をあらかじめしていたアプリケーションが使用できる。
- ③ セキュリティの確保 → 標準で IPsec を実装
- ④ アドレス自動設定 → エンドユーザー・管理者の負担軽減
- ⑤ ブロードバンド通信対応 → マルチキャストが標準実装

があげられる。

先日（執筆時 5 月現在）新聞報道によると、ADSL というブロードバンドサービスが、韓国に次、世界で二位の普及となった日本では、本格的ブロードバンドの FTTH では、世界で一位の普及率だという。

いわゆるキャリアと呼ばれる通信事業者と、ユーザをインターネットに接続する ISP は、FTTH などのブロードバンド回線を普及させるために、その広い帯域を十分に活用する動画コンテンツの充実に力を入れているということだ。動画コンテンツを配信するのに、IPv4 では帯域を圧迫するユニキャスト通信が一般的だ。もちろん IPv4 でもマルチキャストに対応しているがオプションである。IPv6 ではマルチキャストが標準機能であり、これからの広帯域動画の配信・通信方法として、回線を圧迫しない IPv6 マルチキャストの利用が、一般的になると思われる。そこで、一般ユーザの方への IPv6 サービスへの取っ掛かりは、動画のストリーミングコンテンツかも知れない。

運用面では、アドレス自動設定などユーザにとってはメリットであるが、ユーザにとって簡単・便利になるということは、サービスを提供・準備するエンジニアにとっては、IPv4 に比べて難しくなっている部分・習得せざるを得ない新技術もある。

例) アドレス自動設定のためには、アドレス払い出しの機能が必要。

もちろんこれは Windows Server 2003 で実現可能だ。更に今回は、IPv6 ネットワークを Windows で構築したときに、通常の IPv4 ネットワークと比べてどのように運用方法が異なるのか、という部分を、Windows Server 標準の DNS サーバと HTTP サーバ (IIS) を例にして述べる予定である。

## IPv6 の概要

IPv6 は、現在主流である IPv4 プロトコルで足りない機能を実装し、使用されていなかった機能を省き、次世代を担うプロトコルとして生まれた。インターネット プロトコルの現在のバージョン (IPv4) のアドレスの枯渇、セキュリティ、自動構成、拡張性などの問題の多くを解決するように設計されている。IPv6 では、インターネットに接続している全てのホストにグローバルアドレスを提供できるの

でエンド・ツー・エンドの通信が可能である。ピアツーピア アプリケーションやモバイル アプリケーションなど、新しい種類のアプリケーションに対応できるように機能を拡張している。

### アドレス枯渇問題の解消

IPv4 の 32bit アドレス空間では約 42 億個のアドレスを利用できる。これでは残念ながら、人一人あたりにひとつの IP アドレスを割り当てられない。IPv4 アドレス空間で、約 42 億個のこの空間が使い果たされると明らかになったときに、NAT・NAPT などの対策が考案され、ユーザのインターネットアクセスには現在のところ支障は出ていないが、エンド・ツー・エンドの通信ができないことから、エンド・ツー・エンドのアプリケーションの利用に不都合が出ているのが現状だ。

IPv6 は、IPv4 よりもはるかに多くのアドレスを使用できる。IPv6 アドレスのサイズは 128bit で、IPv4 アドレスの 32bit の 4 倍となる。128bit アドレス空間で利用可能なアドレスは 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456 個である。筆者は兆より遥かに大きなこの数字を漢字の単位で呼ぶことが出来ない。

### IPv6 アドレスの表現方法は、16bit ブロック・16 進表示

IPv4 であろうと IPv6 であろうとコンピュータは二進数のビットで通信しあう。そのビット列を十進数や十六進数として表示するのはあくまでも人間にとってわかりやすい表示にするためである。

IPv4 アドレスは 32bit の 2 進数を 8 ビットのブロック(オクテット)に分け、それぞれを 10 進数で表示する。区切り記号はピリオドだ。

```
2 進数 11000000.10101000.00000000.00000001
10 進数 192.168.0.1
```

IPv6 アドレスは 128bit の 2 進数を 16 ビットのブロックに分け、それぞれを 16 進数で表示する。区切り記号はコロンである。

```
2 進数 0010000000000100:1111111110101000:0000000000000000:0000000000000000:
0000000000000000:0000000000000000:1111000100000000:0000000011110001
```

```
16 進数 2004:FFA8:0000:0000:0000:0000:F100:00F1
```

やっと一行で書ける長さに表現できた。更に IPv6 では各ブロック先頭の 0 を省略できる。

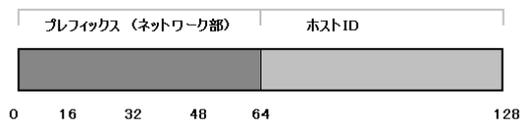
```
16 進数 2004:FFA8:0:0:0:F100:F1
```

更に、ブロックを超えて 0 の連続を一箇所だけ省略できる。

```
16 進数 2004:FFA8::F100:F1
```

### プレフィックス

IPv6 では、ネットワーク部分とホスト部分を IPv4 の CIDR と同じ、<アドレス>/<プレフィックス長



> という表記で表示する。<画像 1>

ネットワーク部分をプレフィックスといい、ホスト部分をホスト ID もしくはインターフェース ID と呼ぶ。IPv4 と同様、プレフィックス長によって 1 つのネットワークに属するホスト数も変動する。IPv6 では全アドレス数が膨大なので、IPv4 でのクラス A ・ クラス B ・ クラス C のような分け方をしなくても十分にアドレスを割り当てられる。そこで、ISP からユーザにアドレスが提示されるときは /64 (ホストの場合) もしくは /48 (ネットワークの場合) のプレフィックス長で払い出されることが多いだろう。

## IPv6 アドレスの種類

IPv6 アドレスは IPv4 アドレスと異なり、インターフェース 1 つに複数のアドレスがある。もちろん IPv4 のときでも複数のインターフェースとして構成する場合に、複数の IP アドレスを明示的に設定することもあった。IPv6 の場合は、マルチホームコンピュータとして構成しなくても、1 つのインターフェースに複数の IP アドレスを設定する。各ホストに設定するアドレスの種類は、ローカル リンク トラフィック用のリンク ローカル アドレスと、ルーティング可能なグローバルユニキャストアドレスの 2 つである。IPv4 と同様、ループバックアドレスも存在する。

- FE80 で始まるインターフェースごとに 1 つのリンクローカルアドレス(ルータを超えない。)
- インターフェースごとに 1 つ以上のグローバルユニキャストアドレス(ルータを超える。)
- ループバック インターフェースのループバック アドレス (::1)

IPv6 のアドレス空間がどのように割り当てられているかを知りたいときは

<http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space> を参照すること。

## アドレス自動設定 ・ リンクローカルアドレス ・ グローバルアドレス

サーバやルータを除くほとんどのホストでは、IPv6 アドレスを手動で設定する必要はない。リンクローカルアドレスは、インターフェースごとに自動的に設定され、FE80::/64 というプレフィックスが付く。Windows 2000 以降に実装された IPv4 の APIPA に相当する。

Windows Server 2003 の IPv6 プロトコルには、ルータ検出機能が追加されており、ローカルネットワーク内の IPv6 対応ルータの存在を検出し、追加のグローバル IPv6 アドレスを自動的に設定する。**netsh interface ipv6 add address** コマンドを使用して、インターフェースに追加の IPv6 アドレスを手動で設定できる。このコマンドにより、インターフェース、アドレス、希望する有効期間、およびアドレスがユニキャストかエニキャストかを指定できる。IPv4 のグローバルアドレス(パブリックアドレス)に相当する。

また、**netsh int ipv6 set int <interface name> forwarding=enabled advertise=enabled** コマンドと **netsh int ipv6 add route <ip addr::>/<prefix> <interface name> publish=yes** コマンドで Windows Server をルータとして構成できる。IPv6 ルータは、プレフィックス情報オプションを含むルータ アドバタイズ (RA) メッセージを送信する。クライアントのグローバルユニキャストアドレスは、RA の受信に基づいて自動的に設定される。実際の設定手順は後で述べる。

## Windows Server 2003 の IPv6 機能

### DNS

Windows Server 2003 では、次のように DNS をサポートする。

- DNS クライアント(resolv)機能は、AAAA (クアド A) レコードと呼ばれる IPv6 ホスト リソース レコードの照会、処理、動的登録をサポートする。DNS メッセージは、IPv4 でも IPv6 でも交換できる。

- DNS クライアント(resolv)機能は、FEC0:0:0:FFFF::1、FEC0:0:0:FFFF::2、および FEC0:0:0:FFFF::3 という DNS サーバアドレスを自動的に設定する。この値はデフォルトで有効である。netsh interface ipv6 add dns コマンドを使用して、静的に IPv6 対応 DNS サーバの IPv6 アドレスを設定することもできる。この場合は、自動設定された FEC0:0:0:FFFF::1、FEC0:0:0:FFFF::2、および FEC0:0:0:FFFF::3 のアドレスは消去される。明示的な追加は可能だ。
- DNS サーバサービスでは、IPv6 ホスト リソース レコードの格納、照会、および動的登録をサポートする。DNS メッセージは、IPv4 でも IPv6 でも交換できる。ネイティブに IPv6 クエリに対応している。Windows 2000 の時は、AAAA レコードの登録と照会が出来たが、IPv6 クエリに対応しておらず、IPv4 クエリに対して、AAAA レコードの登録内容を IPv4 で応答していた。

#### その他のアプリケーション

Windows Server 2003 には、以下のものが用意されている。

- Ipconfig ・ Ping ・ Tracert ・ Pathping ・ Netstat および Route コマンドの IPv6 対応バージョン
- IPv6 対応の Microsoft Internet Explorer およびインターネット インフォメーション サービス (IIS) Web サービス
- Telnet クライアント (Telnet.exe)、Telnet サーバ (Tlntsvr.exe)、ファイル転送プロトコル (FTP) クライアント (Ftp.exe)、および Windows Media サービスの IPv6 対応バージョン
- Network Monitor IPv6 ヘッダー解析サポート

## IPv6 の実装

Windows XP と Windows Server 2003 ではネイティブに IPv6 に対応している。そこで今回は、この二つの OS をつかって IPv6 ネットワークを構成する。

注意したいのは、Windows XP と Windows Server 2003 はルック&フィールはそっくりだが、別の OS であるということだ。Windows 2000 までの Microsoft 製 32bitOS はサーバ版とクライアント版と二種類用意されていた。しかし、XP は 2003 サーバのクライアントバージョンではない。これら二つの OS は別の OS ということだ。IPv6 の操作方法にも若干の相違がある。このことはいずれかの OS で出来た操作が他方の OS では出来ないこともあるということを表す。これは注意である。

## インストール

### IPv6 の install

IPv6 のインストールは OS ごとにさまざまな方法で行える。Windows XP でも Windows Server 2003 でも共通に利用できる方法は GUI である。

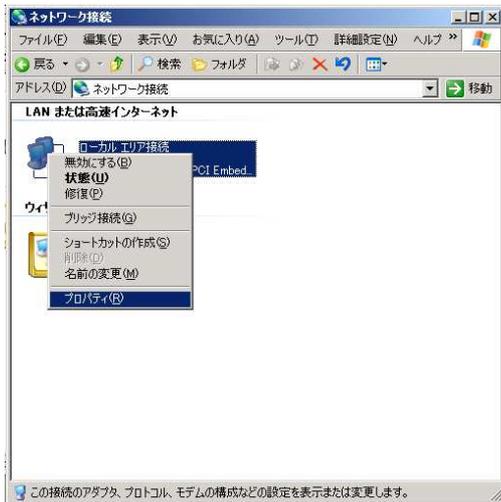
- ネットワークプロパティの「追加」 - 「プロトコル」 - 「IPv6」

## 手順

① コントロールパネルのネットワーク接続を開く。〈画面 1〉



② ローカルエリア接続のプロパティを開く。〈画面 2〉



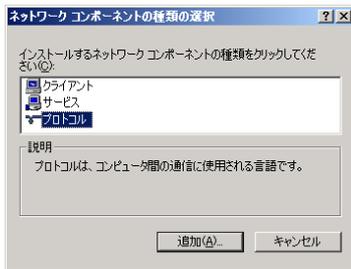
③ プロパティボタンをクリックする。<画面 3>



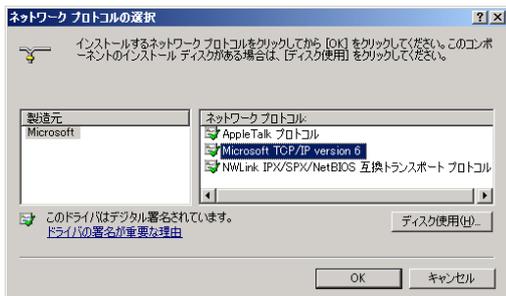
④ インストールボタンをクリックする。<画面 4>



⑤ プロトコルを選択して追加ボタンをクリックする。<画面 5>



⑥ Microsoft TCP/IP Version6 を選択して OK をクリックする。〈画面 6〉



Windows XP の場合は

- IPv6 install コマンドの実行

ができる。Windows Server 2003 ではサポートされない。

Windows Server 2003 では netsh コマンドを利用できる。Windows XP では、Windows Update で最新の状態(SP1 以降)にしておかないと netsh でインストールできない。

- netsh interface ipv6 install



〈画面 7〉



〈画面 8〉

再起動を求められない場合にはインストールが終了するとすぐに IPv6 が利用できる。確認してみよう。確認には ipconfig を利用できる。〈画面 9〉

```
C:\>ipconfig

Windows IP Configuration

Ethernet adapter LAN:

    Connection-specific DNS Suffix  . : 
    IP Address. . . . . : 192.168.0.208
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    IP Address. . . . . : fe80::1:208:c7ff:feac:845f%1
    IP Address. . . . . : fe80::208:c7ff:feac:845f%4
    Default Gateway . . . . . : 192.168.0.50

Tunnel adapter Automatic Tunneling Pseudo-Interface:

    Connection-specific DNS Suffix  . : 
    IP Address. . . . . : fe80::5efe:192.168.0.208%2
    Default Gateway . . . . . : 

C:\>
```

コマンドプロンプトで ipconfig コマンドを実行するとネットワークインターフェースに IPv6 アドレスが表示されているのが見える。また、tunnel インターフェースも追加されているのが見えるはずだ。各 IPv6 アドレスの後に見える%数値はインターフェース番号である。物理インターフェースとトンネルインターフェースなどの論理インターフェース毎に異なる IPv6 アドレスがつけられている。他の IPv6 PC と通信するとき、物理インターフェース同士で通信するか、論理インターフェースで通信するかを選択できる。

netsh int ipv6 show address

インターフェース番号を確認する方法は ipconfig コマンド以外にも、ipv6 if コマンドを使う方法と netsh interface ipv6 show address コマンドとある。2003 サーバには IPv6 コマンドが無いので netsh を利用する。このときにループバックアドレスも確認できる。〈画面 10〉

```
C:\>netsh int ipv6 sh address
アクティブ状態を照会しています...

インターフェイス 4: LAN
Addr Type  DAD State  Valid Life  Pref. Life  Address
-----
Link       Preferred  infinite   infinite   fe80::208:c7ff:feac:845f

インターフェイス 2: Automatic Tunneling Pseudo-Interface
Addr Type  DAD State  Valid Life  Pref. Life  Address
-----
Link       Preferred  infinite   infinite   fe80::5efe:192.168.0.208

インターフェイス 1: Loopback Pseudo-Interface
Addr Type  DAD State  Valid Life  Pref. Life  Address
-----
Loopback  Preferred  infinite   infinite   ::1
Link      Preferred  infinite   infinite   fe80::1

C:\>
```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>ver

Microsoft Windows [Version 5.2.3790]

C:\>ipv6 if
'ipv6' は、内部コマンドまたは外部コマンド、
操作可能なプログラムまたはバッチ ファイルとして認識されていません。

C:\>
```

<画面 11>

明示的にインターフェース番号やインターフェース名を指定するとそのインターフェースの情報のみの表示となる。netsh interface ipv6 show interface コマンドでも同様だ。<画面 12><画面 13><画面 14>

```
C:\WINDOWS\System32\cmd.exe
C:\>ipv6 if 4
Interface 4: Ethernet: LAN
  Guid {47E1619F-2DD3-4A2D-811B-AE0BDC8D5169}
  uses Neighbor Discovery
  uses Router Discovery
  link-layer address: 00-10-5a-64-ac-60
  preferred global 2004::5450:3c5:717e:2e1f, life 6d22h39m4s/22h36m17s (temporary)
  preferred global 2004::210:5aff:fe64:ac60, life infinite (public)
  preferred site-local fec0::1:210:5aff:fe64:ac60, life infinite (public)
  preferred global 2000:100:0:1:ffff::230, life infinite (manual)
  preferred global 2000::230, life infinite (manual)
  preferred link-local fe80::210:5aff:fe64:ac60, life infinite
  multicast interface-local ff01::1, 1 refs, not reportable
  multicast link-local ff02::1, 1 refs, not reportable
  multicast link-local ff02::1:ff64:ac60, 3 refs, last reporter
  multicast link-local ff02::1:ff00:230, 2 refs, last reporter
  multicast link-local ff02::1:ff7e:2e1f, 1 refs, last reporter
  link MTU 1500 (true link MTU 1500)
  current hop limit 128
  reachable time 42500ms (base 30000ms)
  retransmission interval 1000ms
  DAD transmits 1
  default site prefix length 48

C:\>
```

```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>netsh int ipv6 sh address 5
アクティブ状態を照会しています...

インターフェイス 5: LAN
ユニキャスト アドレス: fe80::208:c7ff:feac:845f
種類                  : Link
DAD 状態              : Preferred
有効な生存期間        : infinite
優先する生存期間      : infinite
スコープ              : Link
プレフィックスの原点  : Well-known
サフィックスの原点   : Link-Layer Address
エントリが見つかりませんでした。

C:\>
```

```
C:\WINNT\system32\cmd.exe
C:\>netsh int ipv6 sh int 5
アクティブ状態を照会しています...

-----
インターフェイス 5: LAN
Addr Type  DAD State  Valid Life  Pref. Life  Address
-----
Link      Preferred  infinite   infinite   fe80::208:c7ff:feac:845f
f
接続名      : LAN
GUID        : {5A18E862-64D7-4BDF-A439-B9B0A5C9D0DB}
状態        : Connected
メトリック  : 0
リンク MTU  : 1500 バイト
```

netsh interface ipv6 show address コマンドは、デフォルトで簡易表示である。詳細表示にするには、detail オプションをつける。netsh interface ipv6 show address コマンドでインターフェイスを指定するとデフォルトで詳細表示となる。簡易表示にするには、normal オプションをつける。

```
netsh interface ipv6 show address <intfacename> normal
```

netsh では、interface を int に、show を sh に、address を ad に、normal を nor に省略して入力できる。そこで先のコマンド行は、

```
netsh int ipv6 sh ad <intfacename> nor
```

と入力できる。

では ping を打ってみよう。物理インターフェイスにつけられているアドレスに対して ping を打ってみる。〈画面 15〉

```
C:\WINNT\system32\cmd.exe
C:\>ping fe80::208:c7ff:feac:845f
Pinging fe80::208:c7ff:feac:845f from fe80::208:c7ff:feac:845f%5 with 32 bytes of data:
Reply from fe80::208:c7ff:feac:845f: time<1ms
Reply from fe80::208:c7ff:feac:845f: time<1ms
Reply from fe80::208:c7ff:feac:845f: time<1ms
Reply from fe80::208:c7ff:feac:845f: time<1ms
Ping statistics for fe80::208:c7ff:feac:845f:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
C:\>
```

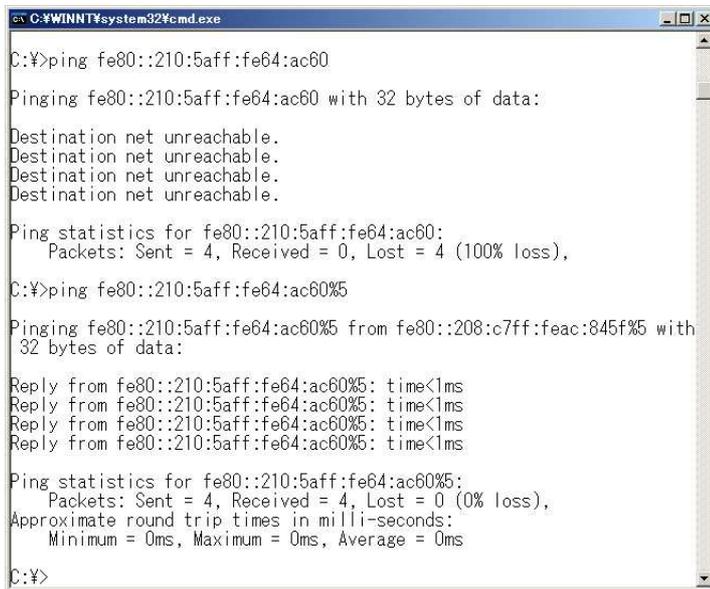
正確にアドレスが入力できているのならば reply が返ってくるはずである。

ここで使用したアドレスは"リンクローカルアドレス"である。リンクローカルアドレスは同一セグメント (サブネット) 内でユニークな値である。重複するものは無い。APIPA の IPv4 アドレスと同様、自動的に生成され、同一ネットワーク内でアドレス重複が無いが自動的に確認される。その名のおり"リンクローカルアドレス"はルータを越えない。

Windows アップデートしていない Windows XP では ping コマンドは ipv4 用であり、IPv6 で ping を利用するには ping6 コマンドを使う。最新の Windows Update を適用している PC では IPv4 にも IPv6

にも対応した ping コマンドが利用可能だ。セキュリティの面からも最新の Windows Update を常時あてておくことを心がけよう。

それではもう一台 IPv6 を有効にした Windows PC を用意して、リモートの IPv6 ホストに対して ping を打ってみよう。ここでのターゲットは同一のセグメント(サブネット)にいる PC である。ルータを経由せずに届く PC である。事前に ping ターゲットの PC でも netsh で Ipv6 アドレスを確認しておく。<画面 16>



```
C:\>ping fe80::210:5aff:fe64:ac60
Pinging fe80::210:5aff:fe64:ac60 with 32 bytes of data:
Destination net unreachable.
Destination net unreachable.
Destination net unreachable.
Destination net unreachable.

Ping statistics for fe80::210:5aff:fe64:ac60:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),

C:\>ping fe80::210:5aff:fe64:ac60%5
Pinging fe80::210:5aff:fe64:ac60%5 from fe80::208:c7ff:feac:845f%5 with
32 bytes of data:
Reply from fe80::210:5aff:fe64:ac60%5: time<1ms
Reply from fe80::210:5aff:fe64:ac60%5: time<1ms
Reply from fe80::210:5aff:fe64:ac60%5: time<1ms
Reply from fe80::210:5aff:fe64:ac60%5: time<1ms

Ping statistics for fe80::210:5aff:fe64:ac60%5:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\>
```

最初の ping が失敗しているのがわかる。メッセージから"ターゲットネットワークに届いていない"ことが判る。これはどのインターフェースを利用して ping を打つかを指定していないからである。先の netsh で確認したインターフェースの番号をコマンドの末尾に指定することで、ping が成功する。

## IPv6 アドレスの設定

ここまでは IPv6 を有効にただけで自動設定されたリンクローカルアドレスで通信できた。このように IPv6 のアドレスは自動設定で利用することが多い。ユーザは IPv4 の時ほど

「自分のアドレスはいくつを利用しているか?」  
を意識しない。これはルータを超えるグローバルアドレスでも同様である。

しかし、サーバの IP アドレスは利用するユーザに周知したいことだろう。そのときに自動設定されたアドレスを周知するより、任意にマニュアル設定したアドレス値を周知するのが現実的だ。そこで、次に IPv6 アドレスのマニュアル設定について述べる。

## アドレス設定

IPv6 アドレスの設定は IPv4 アドレスと異なり、「ネットワーク」のプロパティからは行えない。現時点では GUI では設定できない。全てコマンドで行う。これも OS ごとにさまざまな方法で行える。

### Windows XP の場合は

- ipv6 adu コマンドの実行

ができる。しかし Microsoft は Ipv6 コマンドを netsh に統一することを発表しているのので、筆者も netsh コマンドの習得を薦める。Windows Server 2003 でもサポートされない。(ipv6 コマンドがない) <画面 17>

コメント [W1]: 画面 17 に説明をつけたいです。画面 17-2 を用意しています。参照をお願いします。稗田

```
C:\>ipv6 if 4
Interface 4: Ethernet: LAN
Guid {47E1619F-2DD3-4A2D-811B-AE0BDC8D5169}
uses Neighbor_Discovery
uses Router_Discovery
link-layer address: 00-10-5a-64-ac-60
preferred link-local fe80::210:5aff:fe64:ac60, life infinite
multicast interface-local ff01::1, 1 refs, not reportable
multicast link-local ff02::1, 1 refs, not reportable
multicast link-local ff02::1:ff64:ac60, 1 refs, last reporter
link MTU 1500 (true link MTU 1500)
current hop limit 128
reachable time 16500ms (base 30000ms)
retransmission interval 1000ms
DAD transmits 1
default site prefix length 48

C:\>ipv6 adu 4/2004::230
← インターフェース4に 2004::230 を付与

C:\>ipv6 if 4
Interface 4: Ethernet: LAN
Guid {47E1619F-2DD3-4A2D-811B-AE0BDC8D5169}
uses Neighbor_Discovery
uses Router_Discovery
link-layer address: 00-10-5a-64-ac-60
preferred global 2004::230, life infinite (manual) ← アドレスが付いた
preferred link-local fe80::210:5aff:fe64:ac60, life infinite
multicast interface-local ff01::1, 1 refs, not reportable
multicast link-local ff02::1, 1 refs, not reportable
multicast link-local ff02::1:ff64:ac60, 1 refs, last reporter
multicast link-local ff02::1:ff00:230, 1 refs, last reporter, 4 seconds until report
link MTU 1500 (true link MTU 1500)
current hop limit 128
reachable time 16500ms (base 30000ms)
retransmission interval 1000ms
DAD transmits 1
default site prefix length 48

C:\>
```

Windows XP でも Windows Server 2003 でも共通に利用できる方法には以下の二つがある。

- netsh interface ipv6 set address <interface name> <ip addr>
- netsh interface ipv6 add address <interface name> <ip addr>

<画面 18>

```
C:\>netsh int ipv6 set address LAN 2004::208
OK

C:\>
```

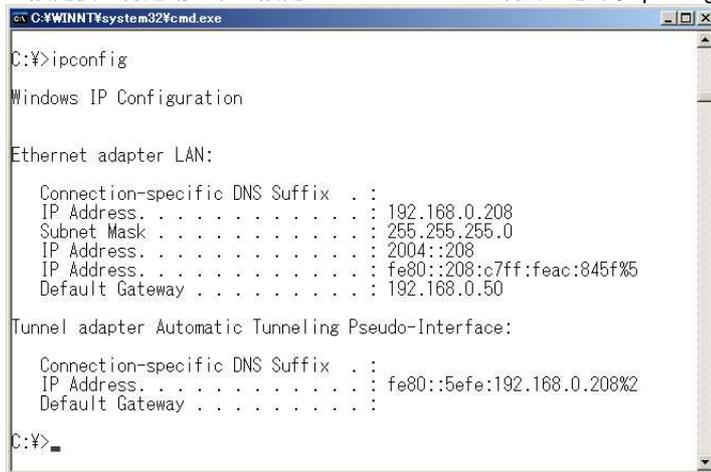
<画面 19>

```
C:\>netsh int ipv6 add address LAN 2004::208
OK

C:\>
```

※ Interface は int と省略可能

設定後は再起動せずに設定アドレスで IPv6 が利用できる。ipconfig で確認してみよう。 <画面 20>



```
C:\¥>ipconfig

Windows IP Configuration

Ethernet adapter LAN:

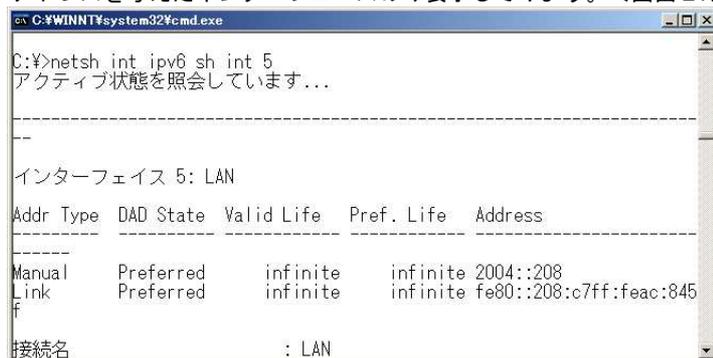
    Connection-specific DNS Suffix  . : 
    IP Address. . . . . : 192.168.0.208
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    IP Address. . . . . : 2004::208
    IP Address. . . . . : fe80::208:c7ff:feac:845f%5
    Default Gateway . . . . . : 192.168.0.50

Tunnel adapter Automatic Tunneling Pseudo-Interface:

    Connection-specific DNS Suffix  . : 
    IP Address. . . . . : fe80::5efe:192.168.0.208%2
    Default Gateway . . . . . :
```

コマンドプロンプトで ipconfig コマンドを実行するとネットワークインターフェースにマニュアル設定した IPv6 アドレスが表示されているのが見える。

ipv6 if コマンドや netsh interface ipv6 show address もしくは netsh interface ipv6 show interface コマンドでも確認できる。netsh interface ipv6 show interface コマンドでは詳細表示でないとアドレスが表示できない。<interface name> はインターフェース名・インターフェース番号、どちらでも可能だ。IP アドレスを与えたインターフェースのみ表示してみよう。 <画面 21>



```
C:\¥>netsh int ipv6 sh int 5
アクティブ状態を照会しています...

-----
インターフェイス 5: LAN
Addr Type   DAD State Valid Life  Pref. Life  Address
-----
Manual     Preferred infinite  infinite 2004::208
Link      Preferred infinite  infinite fe80::208:c7ff:feac:845f
接続名      : LAN
```

netsh interface ipv6 show address コマンドはインターフェースを指定すると default で詳細表示になる。normal オプションをつけて簡易表示してみよう。 <画面 22>

```

C:\WINNT\system32\cmd.exe
C:\>netsh int ipv6 sh address 5 nor
アクティブ状態を照会しています...

インターフェイス 5: LAN

Addr Type DAD State Valid Life Pref. Life Address
-----
Manual Preferred infinite infinite 2004::208
Link Preferred infinite infinite fe80::208:c7ff:feac:845
f
エントリが見つかりませんでした。

C:\>

```

IPv6 アドレスを設定してある他の PC に対して ping を実行してみよう。 <画面 23>

```

C:\WINNT\system32\cmd.exe
C:\>ping 2004::230

Pinging 2004::230 from 2004::208 with 32 bytes of data:

Reply from 2004::230: time<1ms
Reply from 2004::230: time<1ms
Reply from 2004::230: time<1ms
Reply from 2004::230: time<1ms

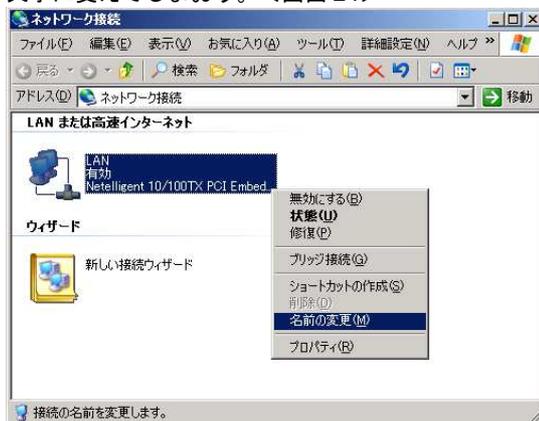
Ping statistics for 2004::230:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\>

```

以上の例ではインターフェイス名に LAN を用いているが、デフォルトのインターフェイス名で使っている方はローカル エリア接続などといった 2 バイトコードの文字や半角空白がインターフェイス名に使用されていると思う。これがまことに使用しにくい。コマンドプロンプト内で半角英数字から仮名漢字を入力するモードへの切り替え (MSIME の起動) が慣れない方もいるだろうし、空白の位置をつかめないと正しく文字入力しているつもりでも失敗する。

そこで最初から半角英数字のインターフェイス名にしまえばよい。マイネットワークのプロパティを開き、インターフェイスをクリックするか右クリックメニューの「名前の変更」で LAN などの文字に変えてしまおう。 <画面 24>



Windows 2003 を IPv6 ルータとして構成する。

サーバ用にマニュアルでアドレスを設定したところで、次に IPv6 ホストの自動アドレス設定を目的とした IPv6 ルータを構成する。IPv6 ではルータが IPv4 の DHCP サーバのごとく、IPv6 ホストからの要求に対応してプレフィックスを通知する。この通知をアドバタイズと呼ぶ。IPv6 ホストはこのプレフィックスに合わせて重複のないアドレスを自動設定する。

Windows server 2003 でルーティングを有効にするには、netsh interface ipv6 set interface コマンドを使用して、該当するインターフェース上での転送およびアドバタイズ（広告）を有効にし、その後、netsh interface ipv6 add routes コマンドを使用して、公開するサブネット プレフィックスを設定する。

詳細な例については、Windows Server のヘルプとサポートセンターにある「IPv6 インターネットワークの異なるサブネット上のノード間での IPv6 トラフィック」というトピックを参照すること。

IPv6 転送を有効にするには

コマンド プロンプトで

```
netsh interface ipv6 set interface [interface=]intfacename [forwarding=]enabled  
と入力する。既定値は disabled である。
```

アドバタイズを有効にするには

[advertise=]enabled とすることでルータ通知メッセージ（RA）を送信出来る。

※ enabled は enable と過去形でなくても通用するようだ。

```
netsh int ipv6 set int intfacename [forwarding=]enabled [advertise=]enabled
```

<画面 25>



```
C:\WINTT\system32\cmd.exe  
C:\>netsh int ipv6 set int lan forwarding=enable advertise=enable  
OK  
C:\>
```

ネットワークプレフィックスを割り当てる

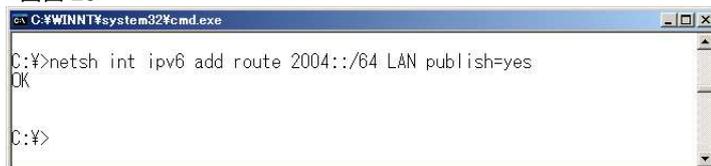
今回のネットワークプレフィックスは、2004::/64 とする。コマンド プロンプトで

```
netsh int ipv6 add route [prefix=]IPv6 addr/<prefixlength> [interface=]intfacename  
[publish=]yes
```

と入力する。

※ interface は int と省略可能。

<画面 26>

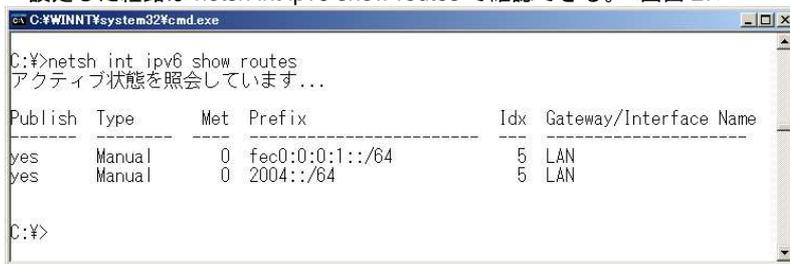


```
C:\WINTT\system32\cmd.exe  
C:\>netsh int ipv6 add route 2004::/64 LAN publish=yes  
OK  
C:\>
```

ルータというからには複数の NIC を実装しているマルチホームコンピュータを想定する。上記と同様のことを別のネットワークインターフェースに対しても適用すると IPv6 ルータとして構成できる。今回のような、一枚のネットワークインターフェースにのみ適用しても、ローカルネットワーク上の

IPv6 ホストに対して、ネットワークプレフィックスの払い出しが可能だ。ルータ通知メッセージ (RA) は IPv6 ルータから定期的に自動でローカルネットワーク上に送信される。

設定した経路は netsh int ipv6 show routes で確認できる。<画面 27>



```
C:\>netsh int ipv6 show routes
アクティブ状態を照会しています...

Publish  Type      Met  Prefix                Idx  Gateway/Interface Name
-----  -
yes      Manual    0    fec0:0:0:1::/64      5    LAN
yes      Manual    0    2004::/64            5    LAN

C:\>
```

当然だが、この IPv6 ルータに、

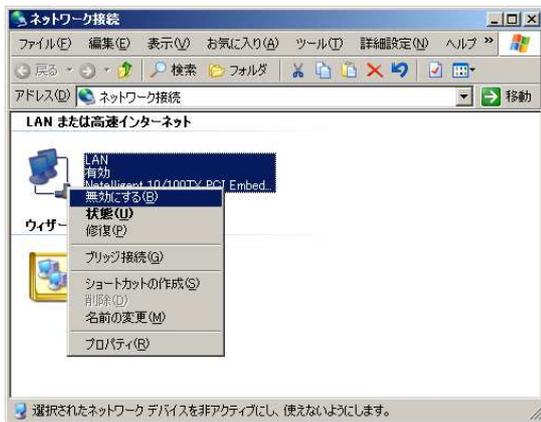
- nexthop
- siteprefixlength
- metric
- validlifetime
- preferredlifetime

などを設定すれば、ネットワークプレフィックスの払い出しとともにこれらの設定値も、ローカルネットワーク上の IPv6 ホストに対して適用できる。この他、IPv6 ルータとして設定可能なパラメータは、netsh int ipv6 add route ?のヘルプか、もしくは、[Microsoft Technet のサイト](#)で確認できる。

## IPv6 アドレスの設定(2)

ネットワークプレフィクスを払い出す IPv6 ルータを構成したところで、今度はクライアント PC が IPv6 ルータからネットワークプレフィクスを受取り、IPv6 アドレスを自動設定する様子を見てみよう。

ルータ通知メッセージ (RA) は IPv6 ルータから定期的にローカルネットワーク上に送信される。しかし、IPv6 ホストがアドレスを必要とするタイミングと合うかどうかは別である。IPv6 が有効になっている Windows PC は、ネットワークインターフェースが有効になると、ローカルネットワーク上にルータ要請メッセージ RS を送信する。Gui のネットワーク接続から該当するネットワークインターフェースを明示的に無効・有効しても、RS を送信する。ネットワークカードから LAN ケーブルを一度抜いて再び接続してもよい。<画面 28>



インターフェースがリンクアップしている場合には、以下に述べる方法が使用できる。ただし、利用している IPv6 ルータの仕様やネットワーク環境によっては、Windows PC のルータ要請メッセージ RS に反応しないこともある。

### インターフェースのリセット

- netsh int ipv6 reset  
今までのインターフェース設定を無かった事にする。

### アドレスの更新

- netsh int ipv6 renew  
RS (Router Solicitation) の送信、RA (Router Advertisement) の受信、

### アドレス自動設定 (Neighbor Discovery Protocol)

以前にも述べたが、サーバやルータを除くほとんどのホストでは、IPv6 アドレスを手動で設定する必要はない。Windows Server 2003・Windows XP の IPv6 プロトコルでは、IPv6 アドレスを自動的に設定する。<画面 29>

コメント [YH2]: 画面 29 に説明をつけたいです。画面 29-2 を用意しています。参照をお願いします。稗田

```

C:\>netsh int ipv6 sh ad lan nor ← 現在の値を確認
Querying active state...

Interface 4: LAN
Addr Type DAD State Valid Life Pref. Life Address
-----
Public Preferred infinite infinite fec0::1:210:5aff:fe64:ac60
Manual Preferred infinite infinite 2004::230
Link Preferred infinite infinite fe80::210:5aff:fe64:ac60
No entries were found.

C:\>netsh int ipv6 reset ← インターフェースの設定をリセットする
OK

C:\>netsh int ipv6 sh ad lan nor ← リセットできてかどうかを確認する
Querying active state...

Interface 4: LAN
Addr Type DAD State Valid Life Pref. Life Address
-----
Public Preferred infinite infinite fec0::1:210:5aff:fe64:ac60
Link Preferred infinite infinite fe80::210:5aff:fe64:ac60
No entries were found.

↑
マニユアル設定したアドレスが消えている

C:\>netsh int ipv6 renew ← ルータにプレフィックスを要求して、ルータからプレ
フィックスを受信する

C:\>netsh int ipv6 sh ad lan nor ← プレフィックスを受信してアドレスが自動設定さ
れているかを確認する

Interface 4: LAN
Addr Type DAD State Valid Life Pref. Life Address
-----
Temporary Preferred 6d23h59m50s 23h58m29s 2004::6501:1775:3fba:4b8d
Public Preferred infinite infinite 2004::210:5aff:fe64:ac60
Public Preferred infinite infinite fec0::1:210:5aff:fe64:ac60
Link Preferred infinite infinite fe80::210:5aff:fe64:ac60
No entries were found.

アドレスが自動設定されている

C:\>

```

## アドレス自動設定のプロセス

<画面 30>

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::1:ff64:ac60	ICMPv6	Multicast listener report
2	0.000000	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::2	ICMPv6	Router solicitation
3	0.000095	::	ff02::1:ff64:ac60	ICMPv6	Neighbor solicitation
4	0.015317	fe80::208:c7ff:feac:845f	ff02::1	ICMPv6	Router advertisement
5	0.500712	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::1:ffb9:9c42	ICMPv6	Multicast listener report
6	0.500770	::	ff02::1:ff64:ac60	ICMPv6	Neighbor solicitation
7	0.500793	::	ff02::1:ffb9:9c42	ICMPv6	Neighbor solicitation
8	0.500814	::	ff02::1:ff64:ac60	ICMPv6	Neighbor solicitation
9	2.503603	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::1:ffb9:9c42	ICMPv6	Multicast listener report
10	4.005780	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::2	ICMPv6	Router solicitation
11	4.021180	fe80::208:c7ff:feac:845f	ff02::1	ICMPv6	Router advertisement
12	5.507920	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::1:ff64:ac60	ICMPv6	Multicast listener report
13	8.011524	fe80::210:5aff:fe64:ac60	ff02::2	ICMPv6	Router solicitation
14	8.027046	fe80::208:c7ff:feac:845f	ff02::1	ICMPv6	Router advertisement

## アドレス解決

1. 送信元ホストは、適切なインターフェースのマルチキャスト近隣要請メッセージを送信する。
2. 送信先ホストは近隣要請メッセージを受信すると、近隣要請メッセージの発信元アドレスと発信元リンク層アドレス オプション内のリンク層アドレスに従って自分の近隣キャッシュを更新する。
3. 送信先ノードは、ユニキャスト近隣アドバタイズを近隣要請送信側に送信する。
4. 送信元ホストは近隣アドバタイズメッセージを受信すると、ターゲットリンク層アドレス オプション内の情報を基準に、送信先のエントリで自分の近隣キャッシュを更新する。

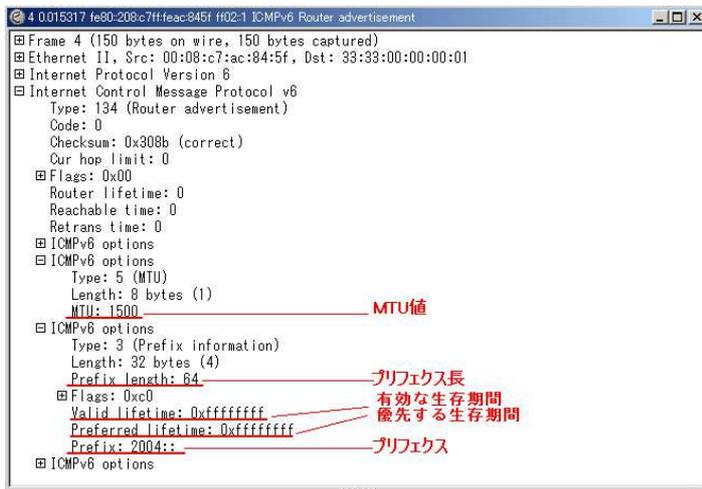
#### リンクローカル重複検出

1. IPv6 を有効にしているインターフェースは、FE80::/64 というリンク ローカル プレフィックスと MAC アドレスを利用した 64 ビット インターフェース ID に基づいて、仮承諾リンク ローカル アドレスが生成する。
2. ローカルネットワーク内に対して近隣要請 Neighbor solicit (solicitation) を送出し、重複アドレスの検出を行う。
  - 重複がないと判別されるまでは仮アドレスを使用しないので送信元アドレスは::である。
  - 同様に、重複アドレス検出近隣要請への近隣アドバタイズ応答では、リンク ローカル スコープ全ノードマルチキャスト アドレス (FF02::1) が宛先として設定される。
  - 重複アドレスが検出された場合は、近隣アドバタイズ応答がある。ノードを手動で構成する必要がある。
  - 重複アドレスが検出されなかった場合、近隣アドバタイズ応答はない。仮承諾リンク ローカル アドレスは一意かつ有効なものとなされ、インターフェースのアドレスはこのリンク ローカル アドレスで初期化される。
3. インターフェースに、対応する要請ノードのマルチキャスト リンク層アドレスが登録される。

#### ステートレス自動構成アドレス・ステートフル自動構成アドレス

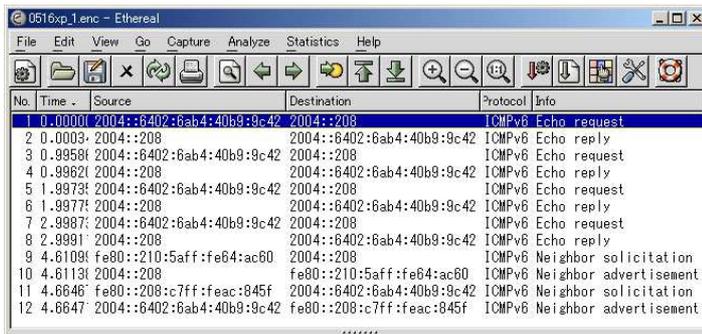
1. ホストがルータ要請メッセージ RS…Router solicit (solicitation) を送信する。(default で 3 回)
2. ルータ通知メッセージ RA…Router Advertisement が返されると、そのメッセージに含まれる構成情報がホストに適用される。
3. メッセージにステートレス アドレス プレフィックスが含まれていて、かつ、ホストがステートフルなアドレス構成プロトコルを使用していない場合、ステートレス自動構成アドレス プレフィックスごとに、次の処理が行われる。<画面 31>
  1. アドレス プレフィックスおよび MAC アドレスを利用した 64 ビット インターフェース ID を使用して、仮承諾アドレスを生成する。
  2. 重複アドレスの検出が行われる。
  3. 仮承諾アドレスが使用中でなかった場合は、アドレスが初期化される。初期化処理では、ルータ通知メッセージ RA に含まれる情報に基づいて、有効な生存期間と優先する生存期間が設定される。
4. 更に、ルータ通知メッセージ RA 内にアドレス プレフィックスが含まれていない場合、もしくは、ルータ通知メッセージ RA を受取らない場合、ホストはステートフルなアドレス構成プロトコルを使用して追加のアドレスまたは構成パラメータを取得する。

コメント [W3]: 画面 31 に説明をつけたいです。画面 31-2 を用意しています。参照をお願いします。稗田

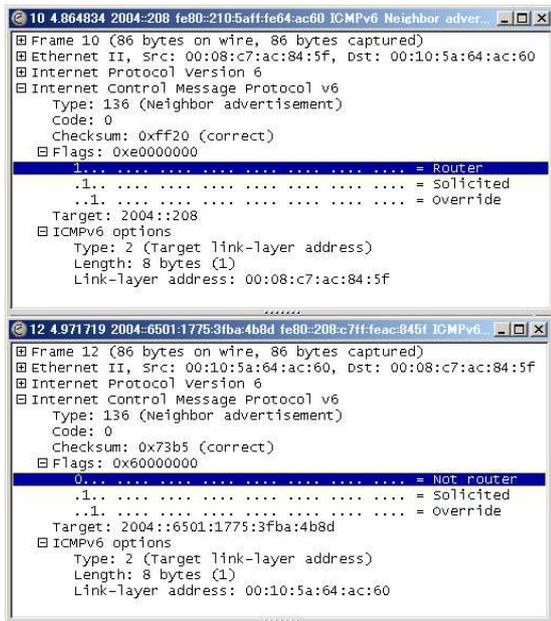


※ IPv6 マシンは、自分の IPv6 アドレスを自ら作成して設定する「ステートレスアドレス自動設定」の機能を備えている。ただし、管理者が明示的にホストに IPv6 アドレスを割り当てる方法もある。これがステートフルアドレス自動設定だ。ステートフルアドレス自動設定を使うときは、DHCPv6 サーバをネットワーク上に設置する。IPv6 対応ルータの多くは DHCPv6 サーバとなる機能を実装している。

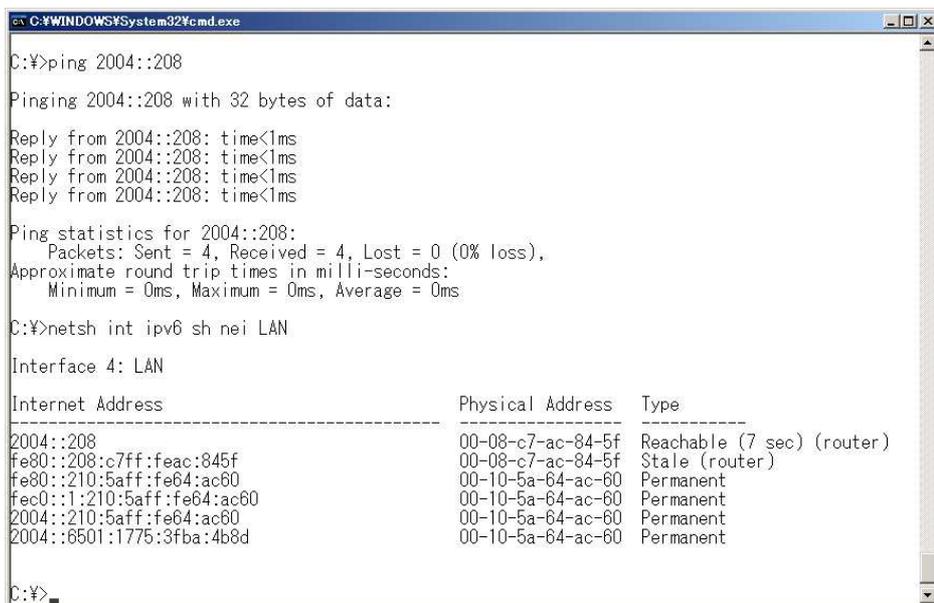
アドレスを自動構成した Windows XP で、IPv6 ルータである Windows Server 2003 に対して ping を実行すると、自動設定されたアドレスで ping を実行しているのが確認できる。<画面 32>



このときの Windows Server 2003 からの NA と Windows XP からの NA では、メッセージ内の値が異なっているのが判る。<画面 33> <画面 34>



この ping 実行の後に netsh int ipv6 show Neighbor <intfacename> コマンドで、Neighbor cache を表示するとアドレス解決しているのがわかる。このコマンドは IPv4 の arp -a にあたる。 <画面 35>



## ICMPv6

IPv6 の近隣探索プロトコル NDP…Neighbor Discovery Protocol は、近隣ノード (同一リンク上のノード) との相互作用を管理する ICMPv6…Internet Control Message Protocol for IPv6 メッセージ群で構成される。近隣探索プロトコル NDP では、

- これまでのブロードキャストに基づく Address Resolution Protocol…ARP メッセージ、

- ICMPv4 ルータ発見メッセージ、
- ICMPv4 リダイレクトメッセージ

に代わって、効率的なマルチキャストおよびユニキャストの近隣探索メッセージとして使用される。