

新米エンジニアのための

初歩の

# インターネット技術

《第15回 近頃のIPアドレスの割り当て》

浅羽 登志也  
asaba@ij.ad.jp  
株式会社インターネットイニシアティブ

インターネットの爆発的な普及とともに、IPアドレスの枯渇が叫ばれて久しくなります。最近では、さらに効率のよい割り当てをするガイドラインが決まろうとしているという話題です。

はじめに

IPアドレスの枯渇が叫ばれて久しい。IPアドレスの割り当てに関する状況も日に日に厳しくなるいっぽうである。そこで今回はIPアドレスの割り当てに関する最近の状況を解説してみようと思う。

アドレスとルーティング

現在用いられているバージョン4のインターネットプロトコル(IPv4)では、アドレスは32ビットの数値により表現される。したがって、32ビットで表現可能な $2^{32}$ 乗通りの数値を世界規模のインターネット全体でうまく共有し、利用していかなければならないことになる。

厳密に言うと、実際にホストにつけられるアドレスの個数はもうちょっと少ない数字になる。いわゆるクラスA全体で約21億通り、クラスB全体で約11億通り、クラスC全体で約5億通りのアドレスが表現可能であり、これらの合計は約37億通りとなる。それ以外のアドレス空間はマルチキャストアドレスや、他の特殊な用途に使うために予約されている。

このアドレスの個数だけとってみても、現時点ですでにアドレスが地球上の人間1人に1つない状況にあることがわかる。したがって、将来家で飼ってるポチやタマにもIPアドレスを、と思ったときには、IPv6への移行が終わっていないことにはもはや無理な状況なのである。

とはいえ現時点では世界中のすべての人がインターネットを利用しているわけではなく、まだまだかなりの余裕があるはずではないか。IPv4の間はこのままの使い方を続けていって、いざ足らなくなったらその時にはIPv6へ移行すればよいのではないか？

しかし、アドレスの問題は単に個数の問題ではない。仮に、自分のマシン用にアドレスを確保できたとして、それだけでイン

ターネットに接続できるようになるだろうか？ 賢明なインターネットマガジンの読者の皆さんはもうおわかりだと思うが、世の中には、つまりインターネット上には、経路情報というものが流れていて、自分のマシンにつけたIPアドレスに関する経路情報が流れて行かないことには、通信ができるようにはならないのである。

では単純に経路情報を流せばよいのかというところでもない。この数年インターネットが急激に発展し、接続される組織が爆発的に増加している。これらの組織が思い思いにアドレスの割り当てを受け、それに対する経路情報を流してしまうと、インターネットの中心部を構成するルーター上のルーティングテーブルの大きさがそれだけ大きくなることになる。

さて、ここでルーターが何をしていたかを思い出してみよう。簡単に言うと、ルーターはIPの packetsを受け取ると、その宛先のIPアドレスをもとに、自分の持っているルーティングテーブルを参照して次にどのルーターに転送すればよいのかを判断して、packetsの仕分けをしていたのだ。

では、もしこのルーティングテーブルが、37億個のエントリを持っていたとするとどうなるだろう？ ルーター上のCPUは、膨大なテーブルの検索処理のみで悲鳴を上げるに違いない。しかし、現在インターネット上のすべての経路情報を持って運用されているルーターのルーティングテーブルでさえ、まだ4万エントリしかない。それでも一部のルーターは結構悲鳴を上げているのである。これにはルーティングテーブルの検索のみではなくさまざまな要因が絡むのだが、このままこれらのルーターのルーティングテーブルが増大を続ければ、現在のルーター技術のままでは、近い将来これらの大規模なルーティングテーブルを処理しきれなくなり、インターネットが全体の到達可能性を保持したまま成長していくことが困難になるだろうことは火を見るより明らかだと言えるだろう。

これは何が悪かったかというと、1つにはフラットなテーブルの持ち方をするから悪いわけで、テーブルに置く情報自体に階層的な構造を持たせられれば最終的には実質37億通りの仕分けをするにしても、それに掛かる負荷を複数のルーターに分散することも可能になるのである。

では、経路情報に構造を持たせるためにはどうすればよいのか？

### 現在のIPアドレスにも階層構造がある

本当は、皆さんお察しの通り、筆者は例のごとくここまでは極端な話をしていただけであって、現在のIPの仕様にもアドレスには簡単な構造が定義されている。つまり、32ビットのアドレスをネットワーク部とホスト部の2階層に分割した構造である（ネットワーク部とホスト部の境界は例のA、B、Cの3つのクラスによって異なる）。これにより1つの組織には1つのネットワーク部が割り当てられ、組織の中では必要に応じてこれをサブネットに分割して運用する。

組織の内部ではこれらのサブネットを表す細かい経路情報が飛び交ってはいるけれども、組織の外部にはネットワーク部のみが流れてくるのである。したがって37億通りの経路情報がインターネット上を流れることは実質的にはあり得ない。

それでも、この単純な構造のみでは最大で約200万通りの経路情報が流れる可能性

がある。現在の4万通りに比べると実に50倍の容量が必要ということになる。これを汗をかかずに処理できるルーターが数年の内に開発できれば、それはそれでよいのかもしれないが、どうもそういうことは起こらないようである。

すると、さらにアドレスとルーティングに構造を持たせることによりスケラビリティを増大する努力が必要になる。これには、インターネットのトポロジーを考慮して階層的なアドレスの割り当てを行うことが不可欠となる。ここでCIDRという考え方が生まれたのである。

しかし、ここでもう一度振り返って考えてみると、IPアドレス自体になんらかの構造を導入すると、まったく構造を持たせずに考えた場合に比べて数の有限な資源であるIPアドレス全体の利用率は必然的に下がってしまう。

これはどういうことかと言うと、たとえばIPアドレスがネットワーク部とホスト部などというような構造をまるで持たないべたの番号であるとすれば、それこそホストに対するアドレス割り当ては、インターネットに接続した順に1.0.0.1から順に割り当てていけばすむはずで、この場合、割り当てられたアドレス空間の利用率は常に100%とすることが可能なはずである（これまた極端な話ではあるが。おっと、構造がないのであれば、アドレス割り当ては0.0.0.0から始めればよいのかな？）

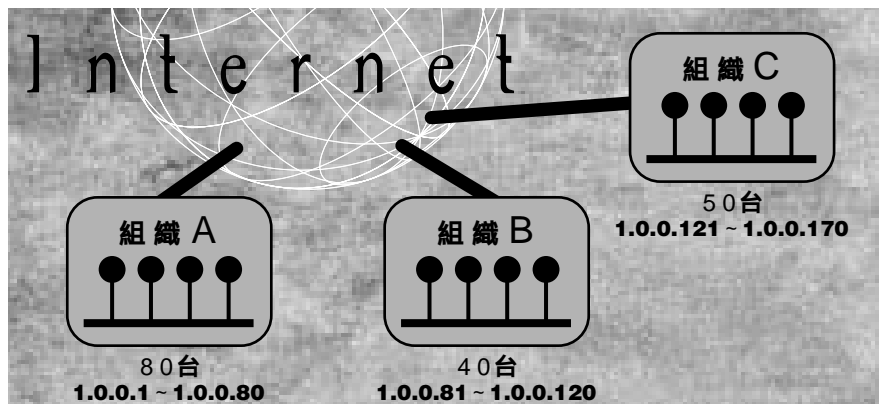


図1 構造がないとした場合

## 構造がないとどうなるか

すると図1のように、ホスト数がそれぞれ80台、40台、50台という3つの組織がインターネットにつながった場合には、組織Aから順に順番にアドレスを振ってあげばよい。この場合はたとえば組織Aにホストが増えた場合には、またその分だけ再び1.0.0.171から順に振ってあげばよい。アドレスの利用率は常に100%である。だが、このようにしてアドレスが割り当てられていった場合にルーターは、それこそIPアドレスを使い切るころには37億通りのルーティングテーブルエントリーを持つことになる。

## 階層構造を導入すると...

しかし、ここにいったんネットワーク部とホスト部という構造を導入すると、そうはいかなくなる。同じ3つの組織のホストにアドレスの割り当てをする場合には、図2のように、最低でも1.0.0.0/25、1.0.0.128/26、1.0.0.192/26という3つのア

ドレス空間をそれぞれの組織に割り当てることになる。これにより全体として合計アドレス256個分のスペースを割り当てることになり、結果として割り当てた空間に対する実際の利用率は約66%に下がってしまう。しかし、経路情報としてはアドレスの構造に応じて集約が可能になるのでルーティングテーブルのエントリー数は、前者に比べて格段に減らすことができる。

つまりアドレスに構造を持たせるとそれだけルーティングはやりやすくなるが、その分アドレス空間の利用率は下がり、逆に構造を持たせないアドレス空間の利用率を上げやすくなるが、その分ルーティングがきつくなるということである。

現在のアドレス割り当てとルーティングの議論は、このトレードオフをどこで折り合いをつけるかの議論であり、32ビットのアドレス空間をより長持ちさせながらかつインターネット上のルーティングシステムを動かし続けるためのちょうど均衡が取れたポイントを模索する作業なのである。

## CIDRのおさらい

すでにこの連載で何度かCIDRの話題は取り上げてきているので、いまさらの感もあるが、非常に重要な考え方なので、あえてもう一度ポイントだけおさらいしておく。

そもそもCIDRが導入される以前に、アドレスの枯渇やルーティングテーブルの増大が問題にされるようになった原因には以下のものがある。

組織に割り当てられるアドレス空間の大きさが、オクテット(8ビット)単位で決められていた。これはいわゆるクラスA(3オクテット分の大きさを持つアドレス)、クラスB(2オクテット分の大きさを持つアドレス)、クラスC(1オクテット分の大きさを持つアドレス)の3つのクラスによるアドレス割り当てである。これによりクラスCの空間(8ビットの大きさの空間)では足りない組織に対しては、クラスBの空間(16ビットの大きさの空間)の割り当てが行われており、全

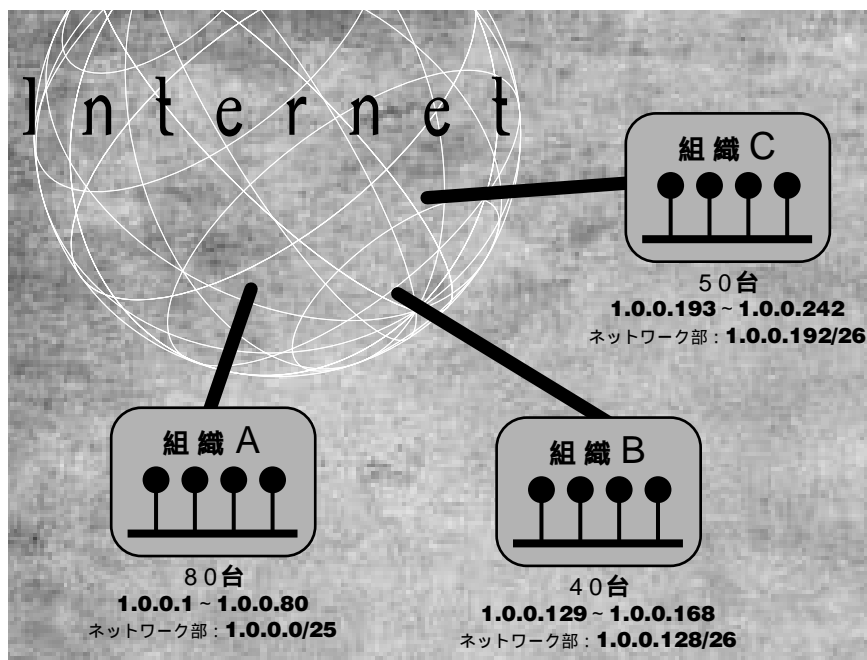


図2 構造を持たせた場合

体としてアドレスの利用効率の低下を招いた。

アドレス割り当ては、ネットワークのトポロジーを考慮せずに行われてきた。これにより、経路情報を階層的に集成することができず、インターネットに接続する組織が増えれば増えるほどインターネット全体に伝えられる経路情報が増えてゆくこととなった。

この階層的なアドレス割当てを可能にするために、IPアドレスの割り当てを行うレジストリも図3に示すような階層的な組織構成を取るようになった。

IANA ( Internet Assigned Number Authority ) はインターネット上で用いられるすべての番号を管理する組織である。IANAの下には地域レジストリであるInterNIC, APNIC, RIPE NCCがあり、それぞれ北米地域、アジア太平洋地域、ヨーロッパ地域の3つの地域でのアドレスの割り当てと管理を統括している。各地域レジストリの下には国によってローカルレジストリがある場合もあるし、そうでない場合にはISPが直接の形になる。アドレスの割り当ては、この階層構造にあわせて行われる。たとえば、IANAからAPNICに対して202.0.0.0 ~ 203.255.255.255までのアドレス空間の割り当てと管理が委任され、さらにAPNICはこの空間の一部である202.32.0.0 ~ 202.35.255.255までの割り当てと管理をJPNICに対して委任する。JPNICはさらにこのアドレス空間の一部を必要に応じて国内のISPに対して委任して行くのである。アドレスの委任を受けたISPは自分のユーザーのアドレスや、さらにトポロジ的に下位に接続されているISPのユーザーのアドレスの割り当てなどを、自分に委任されたアドレス空間の中から行っていくことになる。

このように、CIDRに準拠したアドレス割り当てとルーティングを行うことにより、ある程度のアドレスの利用効率を保ちなが

ら、かつ、経路情報の集成によりルーティングテーブルの大きさも抑えることができるようになるのである。

これらの問題を解決するために導入されたのがClassless Inter-Domain Routing (CIDR) と呼ばれるアドレスの割り当て方式と経路制御の方式である。

上記の方式に対するCIDRの利点は、インターネットに接続される各組織に割り当てられるアドレス空間の大きさはビット単位で決められるようになった。また以前の方式では、IPアドレスにはネットワーク部とホスト部という2階層の構造しか持たせていなかったのに対して、CIDRではビット境界で経路情報を集成していくことにより、何階層もの構造を持たせることができるようにした点である。

これにより、ある程度のアドレスの利用効率を保ちながら、かつ、経路情報の集成によりルーティングテーブルの大きさも抑えることができるようになるのである。

### アドレスownershipの考え方とrenumberの必要性

さて、CIDRの効果を最大限に引き出すためには、アドレスの割り当てではできる限り階層的に行われる必要がある。また前節でも述べたように、CIDRが導入される以前のアドレス割り当てでは、アドレスの利用効率や、インターネットのトポロジ的な階層を考慮したものではなかったため、そのようなアドレスを利用している組織では、CIDRの方式に準拠したアドレスに移行することが理想的ではある。

さらに、いったんCIDRに準拠したアドレスの割り当てを受けた組織が、プロバイダーを変更するような場合には、以前のプロバイダーから割り当てを受けていたアドレスを返却して、新たに接続するプロバイダーからアドレスの割り当てを受け直す必要がある。

これをやらないと、せっかくCIDRでアドレスの割り当てとルーティングに構造を持

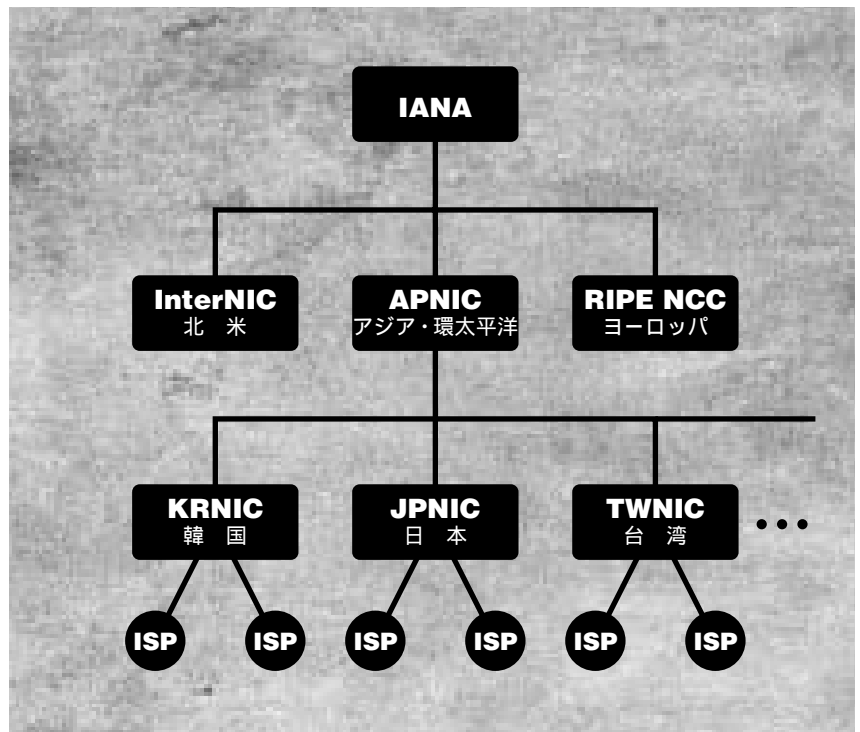


図3 インターネットレジストリの階層



たせることができたにもかかわらずその構造を崩してしまうことになるからだ。

つまりCIDRのもとでは、アドレスは組織が恒久的に所有するものではなく、インターネットのある部分に接続を持っている間だけ、そこに構造上割り当てられているアドレスの一部を借り受けるものという考え方になるのである。

これは、たとえばある場所に住んでいる間だけその場所を表す住所を使うことができるのと同じことであり、また、特定の地域に住んでいる間だけある特定の電話番号を使えるのと同じことなのである。じゃあ携帯電話はどうなるんだと言われてしまうかもしれないが、ううむ、つまり向こうは100年の歴史があるのだ。

この考え方にもとづけば、ネットワークポロジの変更やプロバイダーの変更に伴うアドレスの付け替え（renumber）は、そのつど行われなければならないことになる。とはいえ、「renumberとひとことに言いますが、電話番号なら簡単に変えられるけれど、IPアドレスの付け替えはおっしゃるほど簡単なことじゃないんですよ」という声がいまにも聞こえてきそうである。

悲しいことに、現在はまだほいほいアドレスを付け替えてもへっちゃらと言うだけの技術は確立されていないと言ってよい。どんなに小さな組織であってもアドレスを付け替えるためにはそれ相応のコストがかかってしまうのが現実である。もちろん、そういった技術を確認するための努力もなされている。アドレスの付け替えに際してどのような点に気を配りながら作業を進めなければいけないかの実務的なノウハウは、現在 IETF の PIER ( Practical Internet/ Enterprise Renumbering ) というワーキンググループを中心に具体的な事例も含めてまとめる努力がなされている。このワーキンググループの成果に是非期待したい。

## アドレス割り当てのガイドライン

さて、今後CIDRを推進していくために必要となる、アドレス割り当てに関する現状のガイドラインを示すためのドキュメントがまもなくRFCになろうとしている。

これは現時点では、通称RFC1466bisとか（これは以前のガイドラインがRFC1466により規定されており、それを改定するものであることから、RFC1466bisという表現がされている）、そのドラフト版のファイル名からdraft-hubbardとも呼ばれているドキュメントであり、ドキュメント自体のタイトルは、“INTERNET REGISTRY IP ALLOCATION GUIDELINES” というものである。

日本国内のローカルレジストリーであるJPNICでも、このガイドラインにあわせて国内でのアドレス割り当ての方針を改定しようとしている。本稿執筆の時点ではまだ確定したドキュメントなどは出されていないが、基本的にはこのRFC1466bisにのっった形でまとめられようとしている。

ここでは、RFC1466bisに述べられているいくつかのガイドラインのうち基本的な部分について簡単に紹介しようと思う。ここでいくつかJPNICの方針の案についても紹介するが、現時点でこれらはまだ案ではないということに注意して欲しい。国内でどのような方針が正式に採用されるかは、今後公開されるJPNICドキュメントのほうを参照して欲しい。

## アドレス利用率

まずアドレスの利用率については、以下のような方針が示されている。つまり、割り当てられるアドレス空間の大きさは、申請されたホスト数とサブネット数に対して、以下の2つの利用率に関する条件をともに満たすように決められる。

- a) 割り当て直後に25%の利用率
- b) 1年以内に50%の利用率

ここでRFC1466bis自体には利用率の明

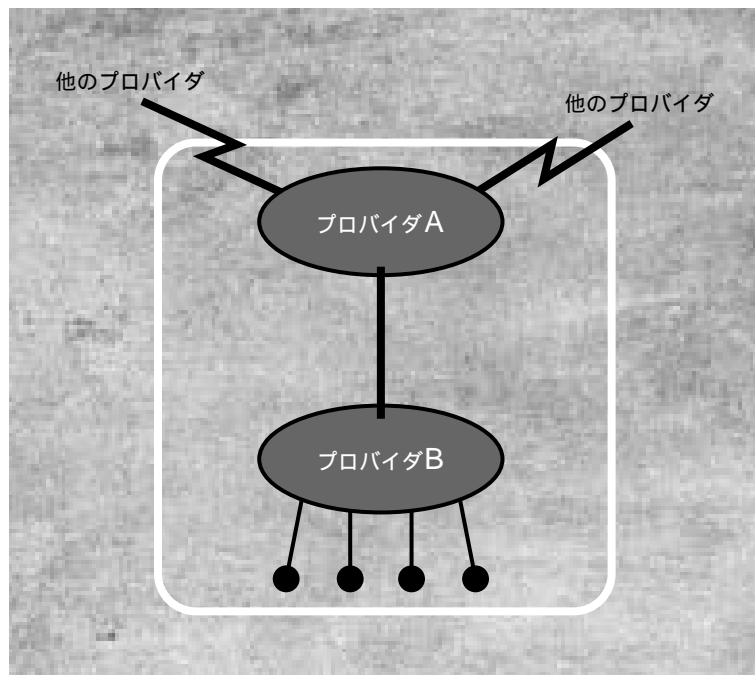


図4 階層的アドレス割り当て

確な定義がなされていないが、JPNICでは以下のような計算式を採用する予定で準備が進んでいる。

$$\text{利用率} = \frac{\text{割り当てられた空間の中からホスト等に割り当てるアドレス数の合計}}{\text{割り当てられたアドレス空間の大きさ} - \text{サブネット数} \times 2} \times 100$$

またaの「直後」についても具体的な期間などは定められていないために、JPNICでは、アドレスが割り当てられた日から半年以内を「直後」と考える予定である。

これらの利用率に関しては、アドレスの申請時に根拠のある予測を示さなければならぬ。また、基本的にはアドレスの割り当ては、利用する機器でVLSMや、all-0/1サブネットを利用できることが前提となる。

アドレスの申請に際しては、この利用率の計算のために、申請者は、具体的なネットワーク構築計画を提出するように要求されることがある。具体的なネットワーク構築計画書とは如何なる物かということまでは言及されていないので、この詳細については、JPNICがなんらかの指針を示すことになるだろう。

また過去にその組織がアドレスの割り当てを受けていた場合には、そのアドレスの利用状況に関しても考慮すべきことが述べられている。

つまり、新たなアドレスの割り当ては、上記の利用率のもとで利用されることとしながら、過去に割り当てられた分についてもできるかぎりこの利用率に近づけるような努力が暗に要求されているものと考えられる。1年経った後の利用率については特に言及されていないが、自然に考えれば50%以上を保つべきだと言っているのだろう。

ングに階層構造を保つための指針も示されている。基本的にアドレスは、組織が接続を持つプロバイダーにあらかじめ委任されている大きなアドレスブロックの一部の割り当てを受けることになる。ここで重要な

のは、すべてのプロバイダーがJPNICなどのレジストリーからアドレスブロックの委任を受けられるわけではないとされている点である。

つまり、ルーティングの階層構造が明確な場合には、トポロジー的にできる限り上位層にあるプロバイダーのブロックから割り当てを受けるべきであるとされているのである。これにより、階層の途中のすべてのプロバイダーに個別にアドレスブロックを委任して行った場合よりもより大きなアドレスブロックへの集約が可能となるような形でのアドレス割り当てがなされるということである。

たとえば、図4のようにプロバイダーBがプロバイダーAを経由する以外にインターネットの他の部分に対する接続性を持たないような場合には、プロバイダーBは、プロバイダーBの独自のアドレスブロックを持つのではなく、トポロジー的に上位にあるプロバイダーAに委任されているブロックからアドレスの割り当てを受けるべきであるということである。これはプロバイダーBに接続されるユーザーのアドレスに関しても同様である。

これによって、より大きなブロックへの経路情報の集成が可能となり、インターネットのコアの部分でルーターが保持すべき経路情報の数を抑えることができるようになるというわけである。

## おわりに

今回は、アドレスの割り当てとルーティングのスケラビリティに関してどのようなトレードオフがあるかについて解説した。また現在RFC化がされようとしているアドレス割り当てに関するガイドラインに関して関連する部分を簡単に紹介した。

今後このガイドラインにそってJPNICでは国内のアドレス割当方針を決めていくことになるのだが、次回以降これについても機会があったら紹介していきたいと思う。

JPNICでは、現在これらのアドレス割り当て方針や運用の方式に関して広く意見交換する場としてip-usersというメーリングリストを運営している。ここでは今回簡単に紹介したアドレス割り当て方針についてや、その他のIPアドレスの運用にかかわる話題が議論されている。メーリングリストは誰でも参加できるものなので、もし興味があれば、参加して欲しい。参加方法は、メールの本文に、subscribe ip-usersと書いたメールをmajordomo@nic.ad.jp宛に送れば自動的にリストに登録されるようになっている。また年に2~3回の予定で、同様の趣旨のオープンなミーティングも開かれている。これに関する案内などもip-usersメーリングリストに流れる。次回は広島で開かれるIPミーティングの最中に開催される予定である。もし読者の中でIPミーティングに参加を予定している方がいれば、是非こちらのオープンミーティングにも参加してみたい。

## CIDRによる階層的割り当ての推進

いっぽうアドレスの割り当てやルーティ



## [インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ] ご利用上の注意

このPDFファイルは、株式会社インプレスR&D(株式会社インプレスから分割)が1994年～2006年まで発行した月刊誌『インターネットマガジン』の誌面をPDF化し、「インターネットマガジン バックナンバーアーカイブ」として以下のウェブサイト「All-in-One INTERNET magazine 2.0」で公開しているものです。

<http://i.impressRD.jp/bn>

このファイルをご利用いただくにあたり、下記の注意事項を必ずお読みください。

- 記載されている内容(技術解説、URL、団体・企業名、商品名、価格、プレゼント募集、アンケートなど)は発行当時のものです。
- 収録されている内容は著作権法上の保護を受けています。著作権はそれぞれの記事の著作者(執筆者、写真の撮影者、イラストの作成者、編集部など)が保持しています。
- 著作者から許諾が得られなかった著作物は収録されていない場合があります。
- このファイルやその内容を改変したり、商用を目的として再利用することはできません。あくまで個人や企業の非商用利用での閲覧、複製、送信に限られます。
- 収録されている内容を何らかの媒体に引用としてご利用する際は、出典として媒体名および月号、該当ページ番号、発行元(株式会社インプレス R&D)、コピーライトなどの情報をご明記ください。
- オリジナルの雑誌の発行時点では、株式会社インプレス R&D(当時は株式会社インプレス)と著作権者は内容が正確なものであるように最大限に努めましたが、すべての情報が完全に正確であることは保証できません。このファイルの内容に起因する直接のおよび間接的な損害に対して、一切の責任を負いません。お客様個人の責任においてご利用ください。

このファイルに関するお問い合わせ先

**株式会社インプレスR&D**

All-in-One INTERNET magazine 編集部

[im-info@impress.co.jp](mailto:im-info@impress.co.jp)