

Murai Jun

アンワイアード (unwired) とは、ワイアーがないつまり無線のことである。WiFi、WiMAX などの無線ネットワークテクノロジーの進展により、アンワイアードなインターネットは、ワイアードに負けないくらいの通信速度を実現しつつある。一方、ケータイも 3G、3.5G、と進化を続けている。今後の無線コミュニケーションの世界はどうなるのだろうか。日本のインターネットの牽引者である村井教授が、技術的、政策的、経済的、社会的な観点から語った、デジタルコミュニケーションの未来提言。

Photo: Tsushima Takao

アンワイアード・インターネット

unwired internet

村井 純

村井 純 Murai Jun

慶應義塾大学環境情報学部教授。東京工業大学時代に研究者ネットワーク JUNET を発足以来、商用化・普及の基盤整備に取り組み、日本・世界のインターネットを技術面・思想面でリード。ミスター・インターネットと呼ばれる。著書に『インターネット』『インターネットII』(岩波新書)、『インターネットの不思議、探検隊!』(太郎次郎社エディタス)。訳書多数。

※この記事は『アンワイアード 果てしなきインターネットの未来—4G へのシナリオ』(インプレス刊)の内容を転載しました

無線技術の普及とインターネット

アンワイアードの世界は始まったばかりで、その最終形は誰も知らない。しかし、そのインパクトはこれまでのインターネットによる変革より大きいかも知れない。ここでは、アンワイアード構築に向けた、インターネットが果たすべく役割を述べていく。

移動通信を支えるバックボーン

IEEE 802.11bなどの無線LANや3Gの携帯通信網は、すでにインターネットへのアクセスラインとして定着している。IEEE 802.16の無線MAN技術も早期に市場に投入され、普及すると期待されている。

この流れの中で、日本も含めて世界の周波数割り当て政策の転換が始まっている。インターネットというグローバルな通信基盤の上では、無線周波数割り当てをグローバルにとらえる必要があるからだ。また、RFID(電子タグ)に代表されるように、物流システムに利用する場合も国際的な周波数の調停が必要となる。そして、周波数は限られた資源で常に不足しているため、いかに新しい技術に周波数を効率的に割り当てられるかが課題になる。これらの周波数割り当てに関する詳細は次節で述べる。

また、無線移動通信の普及には、2つの考え方がある。新たにアンワイアード用のバックボーンを構築する方法と、バックボーンにインターネットを採用する方法である。

4Gを前者のシナリオで考えると、現在これだけ高額な携帯電話の通話料金が突然安くなることは決してありえない。携帯電話の普及と技術開発の進歩に伴

い、無線の音声およびデータ通信量は年々増えているが、それら进行处理するためのインフラストラクチャーを新たに構築することは、コストからも設備からも非常に困難である。パケット通信は固定電話(DSLや光)の中では固定料金になりつつあるが、固定料金を無線通信にまで適用すると、無線基地局の通信可能容量は絶対的に不足して大きな問題になるだろう。

しかし、無線部分での通信容量が充足できるようになったと仮定すると、バックボーンはすでに存在し、共有されているため、後者のシナリオに落ち着くことができる。すなわち、インターネットを無線のアプリケーションが新たにつながるためのバックボーンだと考えるのである。

インターネットのバックボーンがすでに成長している環境であれば、その成長に伴い、バックボーンの通信許容量も成長していく。インターネットは使われ方に応じて成長していくというプロセスが確立されており、そのバックボーンの成長に見合ったビジネスモデルがすでに形成されている。今後のインターネットに登場する新たなビジネスの中に、モバイルインターネットのマーケットがある。このようなビジネスが成立すると考えれば、無線通信の世界はインターネットを使うことにより非常にコストエフェクティブになり、利用者にとっては通信費用の負担が少なくなる。また、利用者の伝送容量が増えても、それに応じて無線の技術やバックボーンの許容量はインターネットと一緒に成長していくことができると考えられる。

では、理想のモバイルインターネットとはどちらのシナリオか。確かに前者のシナリオで定義すると、現在の携帯電話や

iモードこそが「モバイルインターネット」である。しかし、携帯電話端末でインターネットの一部のアプリケーション(ウェブやメール)が使えるというだけで、現状のインターネットとはまだ異なっている。たとえば、インターネットの自由なエンドツーエンドの通信やアプリケーションの自由な開発という意味ではある程度の制限がある。それはインターネットではなく、あくまでもキャリアのパケット網にインターネットへの口を開いた段階で現状のところとどまっているのである。

やはり、それは現時点での携帯電話でもiモードでもなく、無線環境で移動しながら利用できる通信基盤として成長したインターネットこそが本当のモバイルインターネットなのである。インターネットが移動体通信に向けたさまざまなアプリケーションやビジネスが自由に行える開放された通信基盤として役割を担っていく。そして、今後の携帯電話は、モバイルインターネットにおける未来のノードに対するプロトタイプという位置付けで発展し、成長していくのである。

802.11bから携帯電話網など、異なる無線技術への切り替えを行いながらの移動もできる。

このようにインターネットにおいて、あるオブジェクトがネットワーク間を自由に移動する場合、利用者の視点から見ると移動に伴う通信パスの変更が完全に通信に対して等価であることが重要となる。このような通信基盤が成立するかどうかは、非常に大きな問題となる。

次節からはインターネットが果たすアンワイアード実現への使命、そしてその未来について述べていく。

無線周波数政策の重要性

携帯電話の加入者が増加し、新しい無線アクセス方式が登場したことにより、移動通信用に大幅な周波数の獲得が必要になってきている。携帯電話では今後10年で約4～5倍の周波数需要の増加が見込まれ、無線LANなどの無線アクセス技術も同程度の需要増加が見込まれている。これらは、総務省がITU（国際電気通信連合）策定の予測方法を用いて算出し、公表している数字である。しかし、周波数は限りある資源であるため、調整や割り当てが非常に難しい作業となっている。図1は各周波数帯の特徴と電波利用状況である。

今後の周波数割り当て政策は、モバイルインターネットに向けて今までとは違うポイントを満たす必要がある。グローバルマーケットを意識した政策、国際調整、そして周波数の再利用である。

グローバルマーケットへの意識

まず、802.11bなどの産業、科学、医療用に開放されているISMバンド（Industrial Science Medical）などの低出力の周波数について考えてみる。これらの周波数帯は、微小の電力で出力しているため、無免許で利用できる。ISMバンドの電波は10ミリワット以下の微小電力で出力するため、近い範囲にしか飛ばない。そのため、周波数を共有したり競合したりということをあまり意識せずに、ローカルで行政的意思決定ができる。一方で、デジタルテクノロジーが進歩するにつれてさまざまな周波数の使い方が提案され、高度なインテリジェンスを持った無線

技術が登場し、周波数の共有度がますます高まってきている。このときに一番重要なことは、小さな行政単位で周波数問題を扱うときも、グローバルマーケットを意識した政策を行うことである。

電波資源がインターネットの無線アクセスラインとして利用されると、そのマーケットは一気にグローバルになる。人々は、行政や国という単位を超えて、どこからでもインターネットに接続できるため、A国の無線カードをB国で利用できないことや、B国の無線システムとの混信が起きるといったことを回避しなければならない。

802.11bの普及における日本の政策は、アメリカやヨーロッパで普及が始まった時点で、両地域で利用可能な周波数帯を急遽許可し、14チャンネルの割り当てを認めたことである。この意思決定は当時の郵政省により素早く行われ、1999年の3月に検討が始まり10月には終了した。この日本の政策が持つ意味は、微小な周波数帯であろうともグローバルマーケットを意識した周波数政策の重要性である。802.11bがマーケットに投入された当初は、ほとんどの無線機器がアメリカ製品だったが、あっという間に世界中の機器が日本のものに置き換わった。このように、グローバルマーケットとしての判断を日本が行ったため、日本製品が世界中で使えるようになったのである。日本はグローバルを意識した周波数割り当てを行い、微小周波数帯を使った無線アクセスラインがグローバルなマーケットで通用することを示した。そういう意味で、このときの日本の周波数政策は産業へのイン

パクトも引き起こしたと言える。これは、周波数政策の面白いポイントの一つである。周波数政策は、微小出力であろうとも、常にグローバルマーケットを意識して政策決定を行うことが重要である。

国際調整と周波数の再配分

一方で、モバイルインターネットでは、無線の屋外の利用を考慮して微小ではない周波数帯の利用が必要である。これらの周波数政策は、微小出力の周波数帯の割り当てとは違い、難しい問題がある。

まず、携帯電話などで使われる周波数帯は基本的にライセンスを付与して管理する必要がある。各国はそれぞれに周波数割り当ての取り決めを行うため、グローバルマーケットを形成していくのは困難である。これらの調整は、現在ITU（国際電気通信連合）が行っている。しかし、産業の育成のためにも、新たなニーズが生まれた場合に迅速に周波数を割り当て、グローバルな普及を促進させることは重要である。そのときに、すでに付与されたライセンスの業者間での移動を世界規模で実施することは不可能に近い。そこには国際的な調停機関が必要になる。現在では、ITUが主宰する世界無線通信会議（WRC）において、3Gや無線LAN、NWA（Nomadic Wireless Access）などの世界共通周波数帯について議論を行っている。UHF帯のよく飛散する周波数帯は使い勝手がよいと、多くのユーザーが利用している。テレビや携帯電話などで利用されており、世界中

で周波数が売り切れ状態になっている。新しい無線技術の使われ方を導入していくことは重要であるが、売り切れの状態では容易な作業ではない。各国がマーケットを見据えた政策をとることができる微小周波数帯と違い、すでに割り当てられていたライセンスの取り上げを行う政策は非常に難しいのである。

今後新たな事業者に周波数帯が切り開かれるかどうか問われれば、可能であると答える。グローバルなマーケットの中でモバイルインターネットの価値を認め、たうで周波数を割り当てることは世界中で確実に始まっている。本書が示しているモバイルインターネットのイメージが完全に理解されているかは定かではな

いが、急速に拡大した携帯電話通信産業やRFIDなどを用いた軍事物資の伝搬や物流のサプライチェーンマネジメントなど、世界中でその期待が高まっている。これらの要求を無線技術やタグ技術が解決していく価値は高いので、グローバルマーケットで無線が必要だということは認知されている。そうすると、新しい目

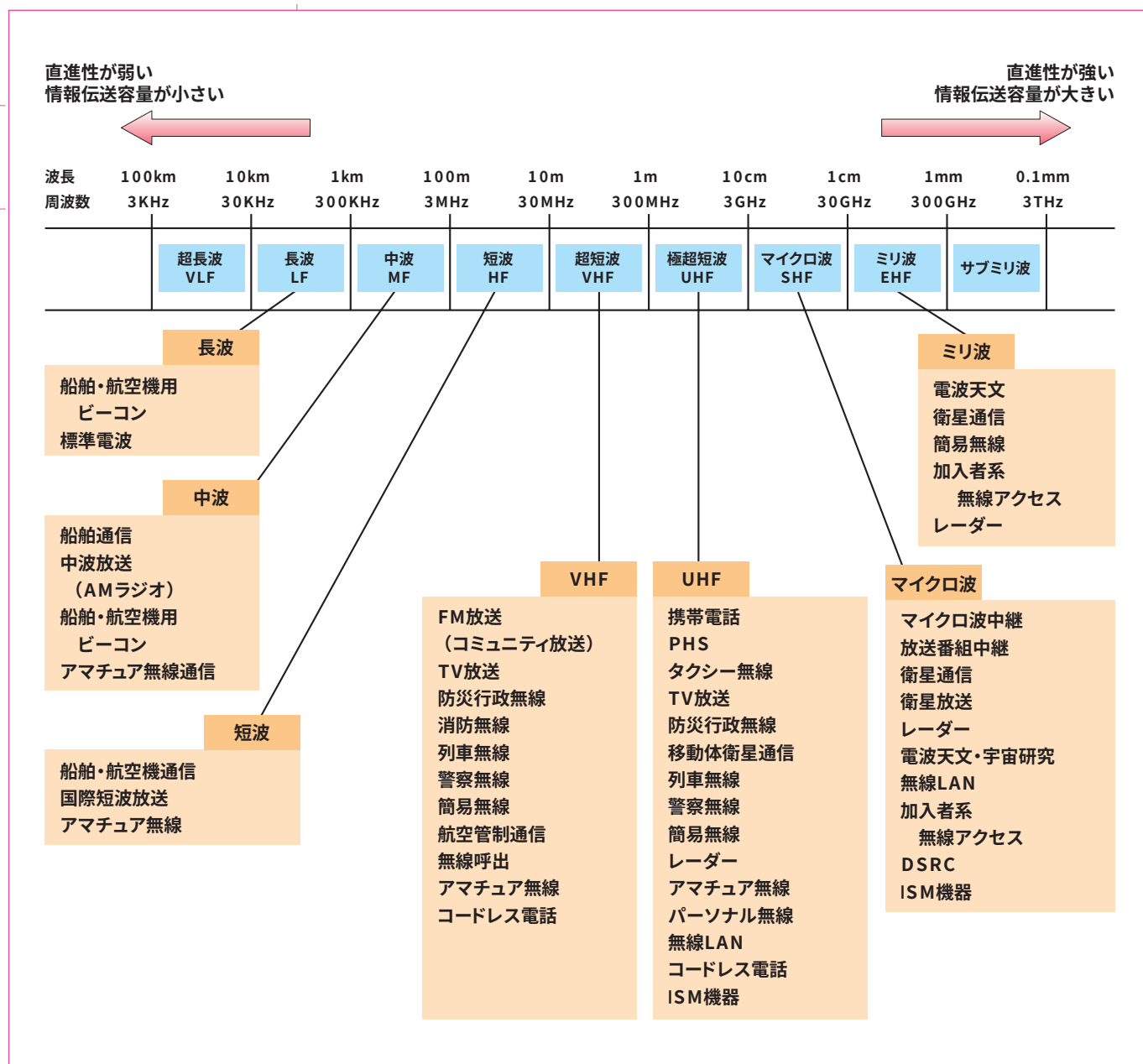


図1 総務省の周波数再編方針(総務省資料より編集)

的が出てきたときにすでにライセンスされた周波数の引越しや立ち退きを前提とした周波数再配分や割り当てが必要なことは一般的に理解される。

限られた資源を有効に利用する工夫

現在、どの国でも無線 LAN や携帯電話や RFID などの周波数割り当て政策は以前から方向転換され、グローバルマーケットを見据えた調整を前提としている。具体的な例としては、日本では周波数のライセンスの見直し期限が10年から5年に短縮された。もっと短い期間で

見直しを行うべきだという議論もある。また、積極的にモバイルなど電波利用が不可欠なシステムに周波数を割り当てるため、有効に利用されない周波数の返却や固定無線通信などの代替手段がある周波数は置き換えを進めるなど、大規模な周波数再編を行っている(図2)。政策的に周波数の割り当てと使われ方を見直しながら、新しい技術に積極的に割り当てていこうという考え方は世界中で受け入れられている。

米国では、連邦通信委員会(FCC)が、アンダーレイ(異業務との共同利用)を認めたり、ライセンスがない人のある条件で利用可能にしたり、ある技術を使って

いれば共存してよいという電波の共有を促している。アンダーレイは、ライセンスを持っていない新規業者がすでに割り当てられている周波数帯を既存のサービスに影響を与えない微小電力を用いて利用することである。これらは結局のところ、周波数の有効利用を行い、実質的に利用できる電波の総量をパーチャルに増やしていこうという考え方なのである。

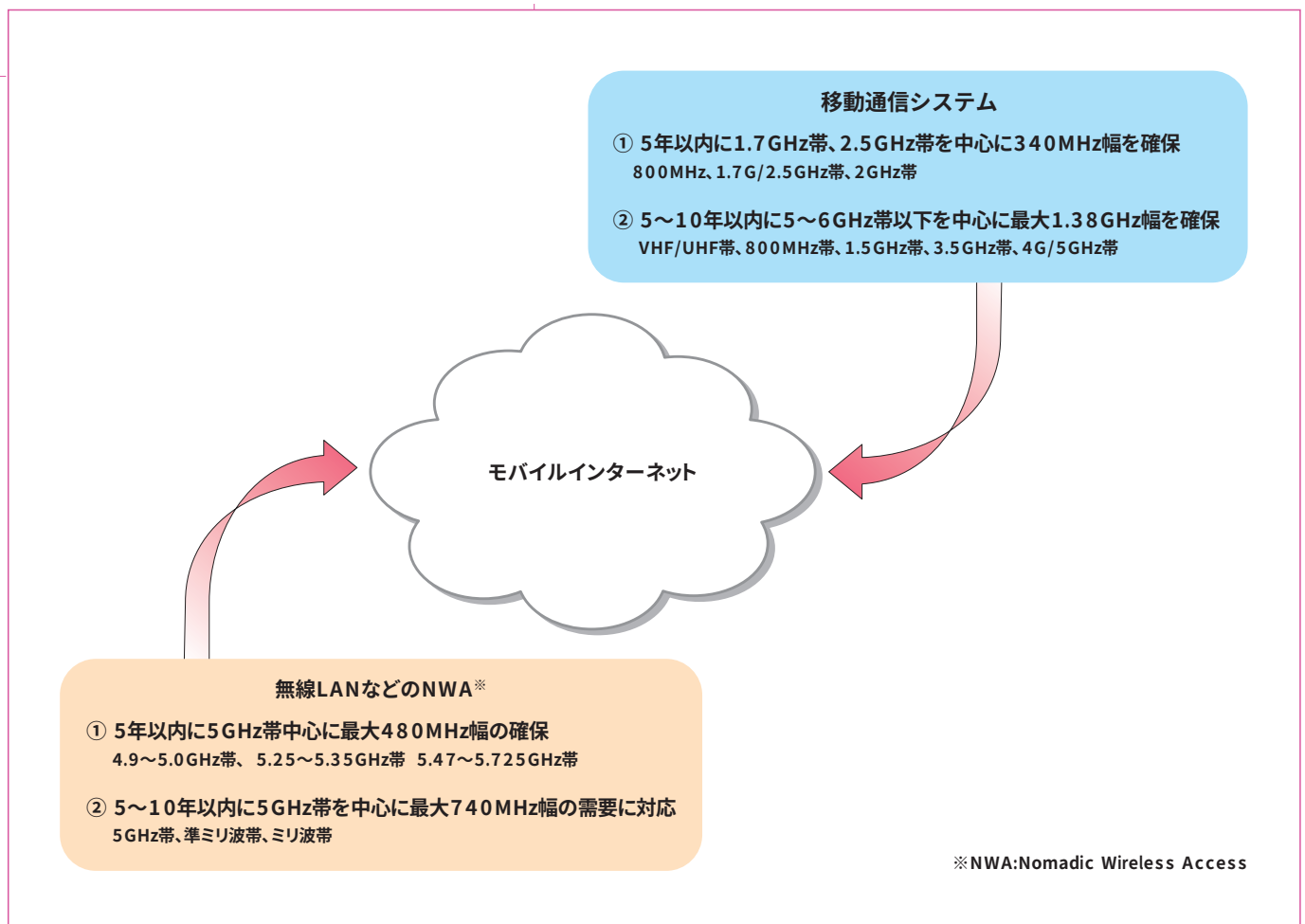


図2 総務省の周波数再編方針(総務省資料より編集)

インターネットのコスト革命

無線移動通信の普及には、バックボーンにインターネットを採用するのが有効であると述べた。ここでは、「なぜインターネットか」ということをより具体的に考えてみる。

コスト削減… 回線交換方式から パケット交換方式へ

インターネットのエンジニアリングで大事なことは、デジタル情報を自由に共有し、交換するための情報基盤であるということだ。デジタル情報というノンセマンティックな情報を共有・交換できる通信パスを提供することが、インターネットの使命なのである。

そして、インターネットでは、パケット交換方式を使って実現していることが重要なポイントである。これまでの電話のような一般的な通信システムは、回線交換方式を使っている。この方式では、通信ノード間を回線でつなぎ、それぞれの通信ごとに占有してしまうのである。同じ計算機間の通信でも、異なるデジタル情報を流す場合は、複数の回線を維持しなくてはならない。一方で、パケット交換方式では、データをパケットという小さい単位に分け、各中間ルーターで経路制御することにより通信を実現している。異なる種類のデジタル情報でも、一つの共有された回線上に同時に流すことが可能になるため、回線の効率的な利用が可能になる。

たとえば次ページ図3のように、回線交換の場合はすべての通信ごとに回線

を用意する必要があったため、コストがかさんでいた。一方で、パケット交換の場合はA地点からB地点に行く道があれば、その上に異なる情報を流すことが可能になる。また、A地点からB地点に行く人も、C地点からD地点に行く人も、必要とあれば途中で同じ道に乗ることが可能である。新しいデジタル情報を流すときに、すでに回線が引かれていれば、新たな回線を用意する必要はない。

このように、インターネットにおいてデジタル情報が共有できるということは、音や絵や文字などのさまざまなデジタル情報が、一つの道(回線)を共有するという意味もあるのだ。インターネット内に張り巡らされている道は、共有して誰でも自由に使えるということである。ここで重要なのは、この共有の可能性というものが、普遍的に制限がないということである。これがこのインターネットのパケット交換の一つの特徴である。

パケット交換方式によって回線を共有できるということは、結局のところコストを安くすることにつながる。パケット交換のエンジニアリングというのは、究極的にはいかに値段を安くできるかということなのである。コミュニケーションを安く提供できる基盤を作ることは、インターネットにおける一つのゴールなのである。

IPの持つ本来の役割やインターネットの役割は非常に重要であり、多くの専門書や学術書が解説を行っている。しかし、その中で「インターネットは何のためにあるのか」といったときに、「値段を安くするためにある」というところからスタートする議論はあまりない。ここでは

あえてコストの問題から議論を始める。これは、モバイルインターネット、移動通信のことを考えたとき、この問題が非常に重要なストーリーになってくると思うからだ。

ワイヤレスにおける コスト変革

これまでの歴史を振り返ると、コミュニケーションに対するコスト意識というものが大きく変わってきている。一般的に、テクノロジーは進化し、それに対するコストの意識が変わり、新たなテクノロジーを使う社会や産業に大きな影響を与えていくという流れができていく。この流れの中で、今日までインターネットはドラステックな影響力を与え続けてきているのである。

インターネットによって革命という言葉では言い尽くせないような情報社会への変革が人間の産業や社会に起こっている。この情報社会の革命を、産業革命に匹敵すると言う人もいるし、産業革命を超えたと言う人もいる。大きな情報革命が起これば起こるほど、利用する側にとってのデジタルコミュニケーションのコストは当然下がっていく。一方で、情報革命が提供者側のコストを下げるかというと、必ずしもそうではない。ところが、インターネットの急速な普及によってマーケットが大きくなり、提供コストの問題と利用コストの問題がそれなりのバランスをもって、少なくとも現在までできているのである。

さて、本題であるアンワイアードに

戻ってみる。インターネットがワイヤレスコミュニケーションに対して今後与える影響を考えてみよう。

無線のアンテナや基地局を設置し、それら無線インフラを維持するコストは歴然として存在する。これが魔法のように突然消えてなくなることは決してない。しかし、インターネットが発展してきたのと同じように、無線インフラが何のために、どのような目的のために、誰に使われるかということを考えてみてほしい。携帯電話を例にとってみても、急速な普及を果たし、すでに多くの人の生活の必需品となっている。無線通信のマーケットは巨大であり、一般社会に深く浸透している。急激な普及・拡大によって、コストの考え方やコストバランスが変わるということは、これまでの有線インターネットが発展した過程で証明されている。それは図らずしもワイヤレスコミュニケーションにも当てはまる。コスト感覚やコストバランスの変革というものは、ワイヤレス

コミュニケーションでは起きていないが、いままでのインターネットで起こってきた延長線上のことが今後起こってくると考えられるのである。コストモデル、ビジネスのモデル、コストバランスに対する大きな衝撃がワイヤレスコミュニケーションにも遅かれ早かれ起こるのである。これらを前提にして、アンワイアードの未来を考えていくことが重要となってきた。

通信インフラの共有性

多くの関係者や有識者は、「インターネットで起きたデジタルコミュニケーションのコスト変革は、ワイヤレスの世界では起こりにくい」という議論をしていると思う。固定通信では、たとえばVoIPによるインターネット電話の登場で固定電話の置き換えが進み、コストが急速に安くなっている。では、なぜワイヤレスは別なのだろうか。それは、無線基地局の土地を確保し、設置して維持しなければならないなど、有線に比べて無線では多く

の設備投資が必要だからである。しかし、安心していただきたい。ワイヤレスの世界でもコスト変革は確実に起こるはずである。その根拠を順に追って示していこう。

社会での通信基盤として、インターネットの開発や普及の経緯を見てみると、利用者が便利さに気づき、それを使い、ビジネスが始まり、提供する側がサービスや通信のキャパシティを確保し、もっとたくさんの人が利用するという好循環に支えられている。

この過程で起こる競争によって、サービスに耐えられるインフラストラクチャーを堅持しながら、さらにコストは下がっていくのである。このような繰り返しの中、激しい価格競争が起こり、激しい開発が進み、インターネットという通信基盤が社会の中で浸透していった。

この社会へ浸透したという事実は非常に大きな意味を持っている。たとえば、インターネットの通信バックボーンはすでに日本全国に広がった。日本全国を網羅

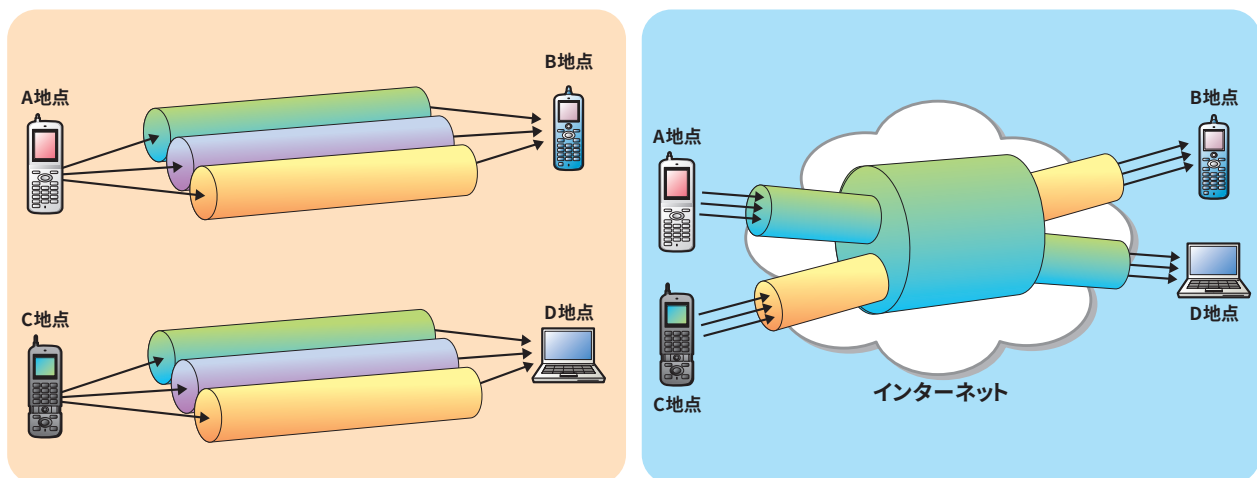


図3 回線交換(左)とパケット交換(右)の違い

する非常に高速なバックボーンが構築され、それをもとにしたインターネットのさまざまなサービスが広がっている。

簡潔に説明すると、インターネットは各ISPが連結してできた高速の通信基盤がバックボーンとして存在し、そのバックボーンへのアクセスラインとしてさまざまなアクセス網(ADSL、光など)が提供されているというモデルになっている。つまり、インターネットが発展した社会というのは、社会資材として高速インターネットバックボーンという基盤を持っている。

このインターネットバックボーンをさらに成長させるための投資というのは、もはや完成しているとみてよいのである。今後はインターネットに対しての応用が増え、共鳴するようにバックボーンが成長するという段階に来ている。新しいインターネットのサービスや通信提供者が参入してくると、バックボーンにつながるだけで済むのである。

そして、その新しいインターネットの通信提供者たちこそが、ワイヤレスコミュニケーションの無線通信事業者だと思ふのである。無線でインターネットへのバックボーンに接続するアクセス網を整備することにより、利用者はいつでもどこでもインターネットを利用することが可能となる。しかも、バックボーンはすでに整備されている。だからサービス提供者側の設備投資も節約できるのである。

4Gの明るいビジネスモデル

電子メールから始まったインターネットが、ウェブの登場でトラフィックが増えて成長し、音声や動画が入ってきてさらに成長したという経緯がある。今後、たとえばデジタルシネマや音声を使った音楽のアプリケーション、電子会議のビデオコンファレンスのようなアプリケーションがどんどん増えてくると予想できる。そ

れによってインターネットはこれまで同様に成長するが、この過程においてワイヤレスコミュニケーションも成長するのである。

このようなシームレスな成長、つまりインターネット全体が成長に乗り、モバイルのコミュニケーションがインターネットの一部になる。これがアンワイアード、つまりモバイルインターネットの世界である。

モバイルインターネットの中で何かが起きて新しいアプリケーションが生まれ、モバイルインターネットの環境を使う新しい領域で利益が生まれる。医療分野、スポーツ・健康分野、エンターテインメント分野などモバイルインターネットに特有なサービスが開始されるのは容易に想像できる。

モバイルインターネット上で新しいサービスを始めたとしても、健全な成長ができる通信基盤を共通に持つことができれば、新参者だけがすべてのコストを負担する必要はない。ここが大変重要な点である。こういうビジネスモデルを考えていくことがモバイルインターネットの世界であり、つまりアンワイアードなのである。

携帯電話の3Gと4Gを区別する場合、いわばモバイルコミュニケーションにおけるビフォーインターネットとアフターインターネットであるのとらえることができる。今後、4Gはモバイルインターネットであると考えべきではないだろうか。

それでは本当にこのようなビジネスモデルで、モバイルインターネットの世界が実現できるのかをさらに考えてみよう。今のインターネットからはじまったインフラストラクチャーの作り方というのは、一つの共通の基盤を用意し、その共通の基盤の上でそれぞれの利用者が独自の付加的な使い方をしていく。この付加的利用に応じてビジネスが生まれるモデルは非常に重要で、月間電気通信事業収入

(ARPU: Average Revenue Per User)と捉えることができる。ARPUは利用者数がベースにあり、さまざまなサービスを利用者に提供することによって、各利用者がサービス全体に支払うコストが変動していく。お金を生むことがあれば生まないことも当然ある。しかし、一度インフラストラクチャーを整備すれば、その上で新しいサービスを提供してARPUを引き上げていくというビジネスが可能になる。これは、インターネット業界全体から考えると自然なモデルとなる。その中に入るか入らないかは、結局はモバイルコミュニケーションがインターネットを使うか使わないかということになってくるのである。今後、インターネットの一部としてモビリティという機能は必ず提供されていく。インターネット以外の方法でモビリティが提供されることは考えにくい。

最初になぜインターネットかという問いかけから始まったが、結局のところインターネットのコストエフェクティブであり、一方でシステム全体の発展が期待できるビジネスモデルという点が非常に重要な意味を持っているのである。

インターネットの弱点の克服

インターネットは、全体で成長を支えられるコストエフェクティブなアーキテクチャーを持っているので、コスト面で明るい未来を描くことができるわけである。

一方で、パケット交換にはコストに対するアドバンテージがある反面、「共有のデメリット」というものもある。データの種類や通信の目的、誰のものであるかわからず、すべて同じデジタル情報として一つのパスを共有する。インターネットのアーキテクチャーの本質である共有の度合いを高めるために、デジタル情報の差別化や特別扱いは中継点を含む共有パス内では絶対にやらない。つまり、インターネットではパケットの種類にかかわらず、デジタル情報は差別なくすべて共有してしまう。こうして共有パス上における中継作業が単純化され、処理のオーバーヘッドが減るため、インターネットのパスの共有効果がどんどん上がっていくのである。

インターネットの弱点

…遅延

こういった特徴を持つパケット交換のネガティブな効果は何かという、みんなが同じ道を歩いていると、あるときトラフィックが急激に増えると当然ながら混雑してしまうのである。

インターネットはベストエフォートのパケット交換ネットワークであるため、混雑するとパケットドロップが起きてしまう。もし、必要であればエンドシステムでパケットドロップを検知して、パケットを再送することができる。この再送により、同

じパケットが多重に共有パス内で転送されるため、全体の効率がどんどん悪化してしまう。また、再送によりパケットが到達するまでの時間が余計にかかる。それがデータ遅延として通信に現れてしまう。この混雑により、インターネット全体の通信精度が下がることが、よく知られているパケット交換の弱点となる。

このような性格を持ったインターネットが苦手なものは、たとえば音声や映像のストリームというようなものである。これは、遅延などが発生して決まった時間内で映像が送れない場合など、大きな影響を受けてしまう。パケットがドロップしたときに不完全な形のデータを受け取り、もとの音声や映像への復元ができなくなり、ノイズとしてコミュニケーションに現れてしまうのである。

これらの弱点を克服しながら成長してきたのがインターネットの世界である。では、それがどうやって克服されたかを見ていこう。

インターネットの問題

…TCPとUDPの共存

インターネットはパケット交換を用いたコンピュータネットワークとして発展してきているので、ある意味パケットドロップは自然な振る舞いで仕方がないことなのである。しかし、先に送ったものが届かないということを検知すれば、幸いデジタル情報は正確に同じものを再送することができる。デジタルデータは、劣化なく、全く同一のものを送ることができるという特徴を持っている。そのため、確実

に届くまでデータを送り続けることができ、1ビットも狂うことなくデジタルデータを送るメカニズムが実現している。このメカニズムを提供しているのが、TCPというIPの上にあるプロトコルである。パケットが途中でドロップしても、時間をかけて再送すれば最終的にはデジタル情報を確実に相手に送り届けられる。この機能により、インターネットは成立しているとも考えられる。なぜなら、電子メールやウェブ、プログラムの転送など、1ビットでも変われば違う文字やデータになってしまうものに関しては、TCPによりエラーが絶対に起こらないという信頼性を付与しているのである。デジタル情報を正確に送り届けることにより、正しい知識を共有するためのインフラストラクチャーとしてインターネットは充分な役割を果たしている。そして今日まで発展してきたという背景がある。

一方で、正確に送る必要がなく、ある程度パケットがドロップしてもいいからデータを送りたいという考え方もある。それは、UDPという同じIP上にあるプロトコルを用いた送り方により実現している。UDPの場合は、パケットがドロップしても気にせずデジタル情報を送り続ける(図4)。

このUDPとTCPを用いた通信は、インターネットの中で基本的に共存しているのである。インターネットが始まった当初はUDPのトラフィックは全体の10%くらいあったこともあるが、現在では99%はTCPのトラフィックで占められているのが実態である。そういう意味で、デジタル情報の欠損が起きないTCPが主流

になっている。

もう一つのインターネットの弱点として、輻輳という問題がある。あるインターネット上のパスが混雑すると、パケットドロップが起きたり遅延が発生したりする。パケットドロップや遅延が起きるとTCPを用いた通信では再送が発生する。再送はトラフィックを増やすので、さらなるパケットドロップを引き起こすという悪循環が起こってしまう。この悪循環を克服するのが、TCPが持っている輻輳を制御するアルゴリズムである。この仕組みは、インターネット上では性善説と言われるのだが、もしパケットドロップや遅延を検出すると、TCPは通信網全体が輻輳を起こしていると扱う。輻輳を検知したすべてのTCPの通信は、送信ペースを落として輻輳を回避する方向で動作を始める。当然、TCPがペースダウンをすると、輻輳は改善されネットワークが空いてくる。改善されたのちすぐにペースを上げては元も子もない。そこで、TCPはあわててペースを戻さずに、ゆっくりゆっくりとだましだましに送信ペースを上げていく。これをTCPのスロースタートと呼ぶ。

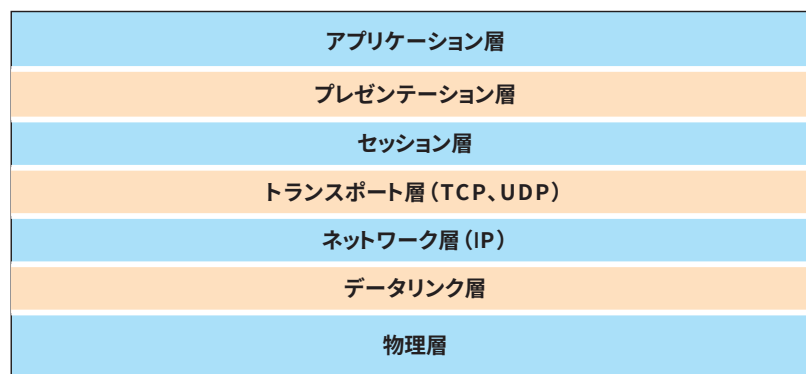


図4 OSI7階層モデル

こうしたTCPの輻輳制御アルゴリズムにより、輻輳発生後、これを回避し、最終的にはすべてのTCPによって輻輳が起きない最適な送信ペースに落ち着く。すべてのTCPのフローが“良い子”の振る舞いをするからこそインターネットは機能しており、性善説はインターネットのメカニズムの根底に事実としてあるのである。

ストリームが苦手と言われる理由

今まで説明してきたように、インターネットでは、TCPを用いることにより、途中のパスでパケットドロップが発生しても正確な通信を実現している。また、通信パス上で輻輳が発生するとペースダウンをして網全体をもっとリラックスさせる。しかし結局のところ、これは通信網全体

column

インターネットはベストエフォートネットワーク

インターネット上で使われている通信プロトコルIPでは、データの到達性を保証していない。IPは送信元から送られたパケットを、IPアドレスを見ながら中継点で経路制御を行い、宛先に届ける機能しか持っていない。途中の中継点などで混雑が起き、パケットドロップが発生した場合、IPより上位層のトランスポート層がそれらの回復に当たる(図4)。トランスポートプロトコルは、

コネクション型のTCPとコネクションレス型のUDPが古くから使われている。TCPの特徴は、インターネットのパスの混雑度に応じて送信レートを動的に変更したり、パケットドロップなどが起きると再送したりすることにより、確実にデータが宛先ノードに届くことを保証してくれる。一方のコネクションレス型UDPは、混雑度に関係なく一定の送信レートで送り続けること

ができるが、データの再送などの機能がないためにデータ到達の信頼性はない。これらインターネット上のプロトコル群は、ネットワークですべてのデータを同じように扱い、全体としての到達性に最善を尽くすため、サービスの品質保証や帯域保証などが非常に難しいベストエフォートネットワークなのである。

が遅くなるということにつながる。このようなインターネットは、電話などの音声や映像ストリームを流すのには向いていないとか、音声や映像とは共存できないと長い間言われてきた。

共存できないという根拠をストリームなどのトラフィックが増えてきたことを仮定して説明しよう。

たとえばインターネットでテレビ電話がものすごく流行ったとする。通常インターネットでのストリーム通信はUDPを用いる。これは、ストリームが遅延に非常に敏感なため、TCPなどで再送して正しいデジタル情報を送ったとしても、再送されたときには意味のないデータになってしまうことが多いからである。簡単に説明すると、映像をリアルタイムに見ていたときに、1秒前の画像フレームが再送により遅れて届いたとしても実際は再生できないので捨てることになる。また、ストリームは連続することにより意味があるデータが多いため、一部でデータ欠損が起きても影響が小さいということもある。たとえば、音声では一部のデータ欠損が発生してもユーザーにはノイズとして無意識に無視されることが多い。

さて、多くのUDPストリームがインターネットの共有パスを通る。このUDPとTCPが「共通の道を通る」ことに大きな問題がある。UDPというのは、送信元から宛先に走り、パケットドロップが起きたとしてもデータ欠損したままのぼろぼろの状態ゴールにたどり着くという振る舞いを持っている。UDPは、たとえ輻輳が起きようとも何の対応もせずと同じ送信ペースで送り続ける。テレビ電話が普及し、インターネット上にUDPを使った通信が増えると、UDPには輻輳制御がないので網全体で輻輳が大発生する可能性がある。このときにパケットドロップが起きたら、同じ道を通っているTCPも同じように落ちるわけである。そして、

TCPは輻輳制御をするので、再送すると同時に輻輳が発生しそうということでペースダウンをする。つまり、UDPが走り回るとTCPの通信が圧迫される。UDPが走るとTCPのトラフィックがぱつと引くため現在のインターネットは成立しているのである。

IP電話(VoIP)を使っているADSLのユーザーの家ではすでに同じことが起きている。VoIPを使いながら、メールやテレビを利用し、そしてTCPでのファイル転送と同じ電話線を使って行っていると。それらのアプリケーションはすべて同時に動くが、それぞれの必要帯域を全部足し算すると契約しているADSLの全帯域を絶対的にオーバーしてしまう。たとえば、テレビに3Mbpsの帯域が必要で、ファイル転送に100Mbpsを使い、ボイスで64kbps使っていると。これら全部を足し算したらどう考えてもADSLの全帯域を超えてしまうため、足し算では絶対に成立しない通信なのである。

しかし、ファイル転送はTCPで行われているため、TCPは100Mbpsを利用したいが、TCPの輻輳制御アルゴリズムにより実際は余った帯域しか使わない。これをインターネット全体に広げて考えると、今まではTCPのトラフィックが9割以上だったため全体で調整し、うまく動いていた。それがUDPのトラフィックが急激に増えると、それらすべてを収容するキャパシティはインターネットにはないという結論に達してしまうのである。インターネットはやはりストリームはすごく苦手だという議論である。

ところが、いくつかの工夫でストリームが実現できるようにインターネットは成長してきている。結果としてIP電話(VoIP)はインターネット上の大きなサービスになっている。

インターネットの弱点の克服

なぜ、VoIPがインターネットのメジャーなサービスになったのだろうか。これに二つの要因がある。

十分なバックボーンのキャパシティ

一つ目の問題は、UDPのトラフィックが増えると輻輳が発生し、TCPのパフォーマンスが落ち、過度なパケットロスでUDPもうまく動かなくなるというTCPとUDPの共存である。この克服の第一の方法が、前に述べたように全体の通信量を上回るバックボーンのキャパシティの増加があるか否かである。トラフィックが増えてパケットロスが発生するなら、起きないようにバックボーンを強化すればよいという非常に単純な解決方法だ。しかし、パケットロスや輻輳がどれだけ発生するのか予測し、バックボーン全体あるいは途中の経路を強化すると、網全体の通信キャパシティにトラフィックの増加が追いつかなくなる。すると輻輳自体が起こりにくくなり、パケットロスなどの通信エラーが起きる確率が下がっていく。つまり、一つ目の解決策は、十分なバックボーンのキャパシティが確保できるのではないかという希望に基づいている。

具体的に私がどんなイメージを持っているかというと、たとえば同じ地点から、高速道路で行く道と電車で行くという道が二つあったとする。朝晩混む高速道路は時間の予測が難しいので、約束の時間に着けない可能性が高い。本当に約束を守りたい用事があるときは電車で行こうと考える人が多いと思う。この例が、よく回線交換とパケット交換の違いとして使われる。つまり、時間や経路などのすべてにおいて正確な電車のようなビジネスやアプリケーションを考えたいのならば、インターネットを使わないで専用線

を使わなければならない。これはインターネットの初期の頃にはよく言われていた話である。そのときのアナロジーは、明らかにインターネットは高速道路で、専用線は電車であった。

ところがよく考えてみると、電車の場合もたくさんの人が殺到したら駅に入れない。電車にも乗れない。切符売り場の行列がすごく長くなるということが起きるのである。たとえば、コンサートが終わった後などは駅が大混雑し、なかなか電車に乗れないので帰宅が遅れてしまう。こういうことは電車でも起きている。だから混雑(輻輳)に対する弱さというのは電車でも同じで、むしろこれはどちらかという、空いているパケット交換と年中混むパケット交換とを比較しているような話なのである。

インターネットは共有性を拡大するという経験を経て、社会の中でのインフラとしての守備範囲の広さを確立し、高速道路から電車になったと言えると思う。だからまだ混むこともある。みんなが朝出社して同時にメールをチェックし、IP 電話をかけ、ウェブを見たらトラフィックが落ちることがあるかもしれない。しかし、通信の信頼性は、非常に高くなって

きている。そして、考えてみれば回線交換も年末年始には滞ることがある。携帯電話などの年末年始の発信制限などは毎年ニュースになっている。有事のときには混雑(輻輳)でいろいろなリソースがなくなりつがらなくなることはどこにでも起こりうる。つまり、信頼性に関しては確率の問題と状況の問題になるわけだ。インターネットが社会の中の基盤としてきちんと成立しているいま、ストリームのトラフィックはきちんと収容できるようになっている。

トポロジーの更新

二番目の解決方法として、遅延や輻輳を回避する技術の発展がある。輻輳が発生するような通信経路上のボトルネックを回避するような技術は、インターネットの短い歴史の中でもたくさんのことが考えられてきている。

途中で混雑が発生した場合は、うまく制御して混雑の発生を防いだり、混雑が起きたときは動的に別の経路によって集中トラフィックを分散させたりすることが考えられている。また、トラフィックにファーストクラスとエコノミークラスのような優先度を付加し、それを上手に制御し

て優先度の高い人は先に通すというようなことも考えられている。それ以外にも、本当に重要なトラフィックがあるときはあらかじめインターネット上に十分な帯域容量を持った経路を確保して、そこにトラフィックを通したりもしている。このような技術に対して多くの研究努力が注がれてきているのだが、インターネットではもう少し原始的な方法で解決してきている。

たとえば A 地点と B 地点を經由して、C 地点と話すというネットワークのモデルが図 5 のようにあったとすると、いろいろなトラフィックが B 地点に集約されるため、A 地点と C 地点が話すときは B 地点で混雑が起こっているとする。このような場合に、各地点のネットワーク担当者が一定時間この問題を観測していると、やがて A 地点と C 地点の間を直結するようなネットワークトポロジーに変えるということになったりするわけである。そして、トポロジーの変更により、輻輳はドラスティックに改善される可能性がある。トラフィックに応じてトポロジーを変化させるというのは、とても長い期間でトラフィックを観測したうえで行うというものだった。しかし、近頃の光ファイバーな

c o l u m n

VoIP とは？

Voice over Internet Protocol の略で、これまで交換局を使った回線交換ネットワーク上で送られていた音声を、パケットに分割してインターネットを經由して送受信する仕組みである。インターネットを使うことにより、電話網構築に関するコスト削減が可能となり、結果として通話料を安

くすることができる。また、遠方に電話すると、回線交換の場合は中継交換機の数により通話料が高くなっていたが、VoIP ではインターネットを使っているため同一料金を実現している。VoIP はすでに普及段階にあり、050 から始まる VoIP 用の電話番号の配布など、各 ISP が同様の IP 電話サービ

スを行っている。VoIP の技術としては、現在一番普及している国際電気通信連合 (ITU-T) による規格である H323 や、インターネット技術の標準化団体である IETF で提案され、今後普及が期待されている SIP (Session Initiation Protocol) がある。

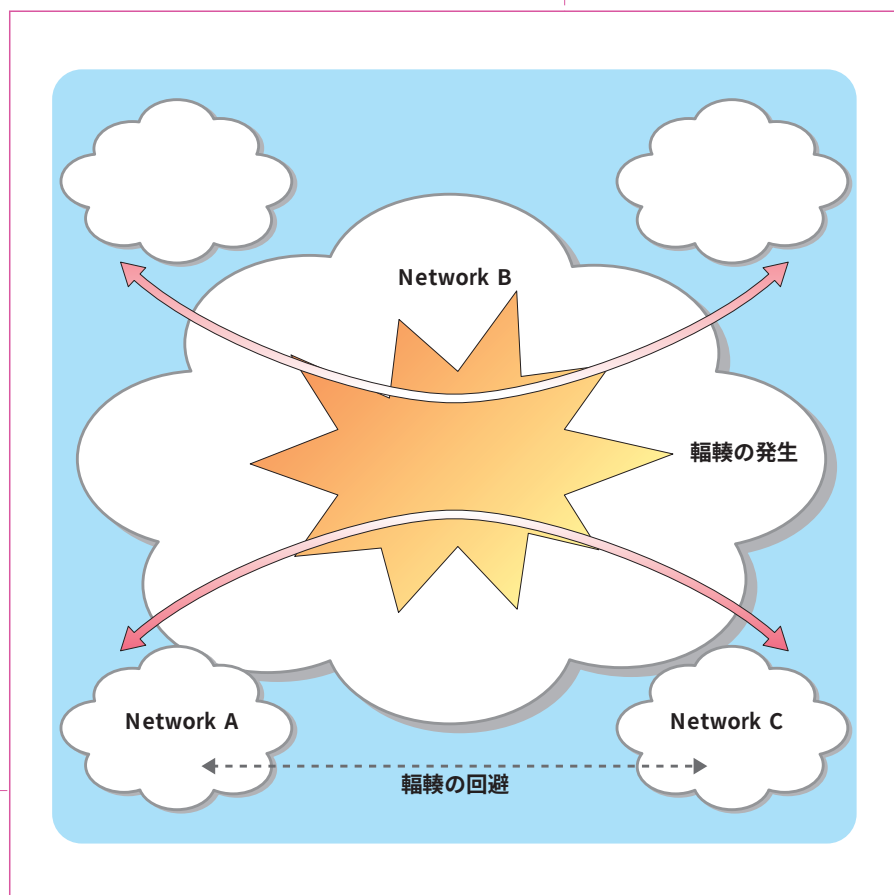


図5 トポロジーの更新による輻輳の回避

どのインフラストラクチャーがここまで発展をしてきたおかげで、トポロジーの変更に対するオペレーションが、昔に比べて行いやすくなってきたのも事実である。

もう1つの遅延や輻輳回避の方法は、アメリカがケーブルテレビを基盤にブロードバンドに移行していった背景に答えがある。

ケーブルテレビによるインターネットの場合、これまでのダイヤルアップ接続に比べて急激に帯域が増えた。そのときには、やはりこの特徴を活かすことが必要で、今までダイヤルアップでメールだけをしていたユーザーに、インターネットはそれ以上のことができることを伝えていた。インターネット事業者が接続を提供しているケーブルテレビと連携して、テレビニュースのクリップをインターネットで提供したり、ブロードバンド用のアプリケーションを開発して提供したり、ブロードバンドインターネット出現時のビジネスモデルがあった。このときにケーブル配信するツリー型などいろいろなトポロジーの中で、データをどこに配置するかということが重要になった。すべての大容量コンテンツを1地点のサーバーに集め、そこからすべてのユーザーに対して配信するという構造では、インフラストラクチャーにおける輻輳は避けることができなかった。そこでこの問題を解決するために、“Push the data to user”というコンセプトのもと、コンテンツデータを可能な限りユーザーの側に近づけて配置していったのである。この考え方は、その後、CDN (Contents Delivery Network) というサービスとして、もう少し普

column

CDN とは？

Contents Delivery Networkの略で、大容量のデジタルコンテンツをインターネット上で効率的に配送するためのネットワークを指す。CDNでは、同じコンテンツのキャッシュを持った複数のサーバーを異なる場所に配置する。ユーザーは、ネットワーク

のトポロジーから最適なサーバーを選択して配信を受けるため、コンテンツの分散配信が実現する。CDNにより、大容量コンテンツ配信によるネットワークの負荷を分散し、削減することができ、それによりユーザーは、コンテンツをスムーズに閲覧でき

ようになる。CDNを構築運用して、コンテンツ配信企業に提供するような、コンテンツデリバリーサービスというマーケットも確立している。

遍的な形に成長している。輻輳地点をうまくバイパスし、輻輳を起りにくくするためにできるだけデータをユーザーに近づけるというメカニズムを考えて、エンジニアリングを通して解決しているのである。

このようにエンド・ツー・エンドのコミュニケーションをするインターネットアーキテクチャーでは、ストリームを扱うことは苦手だと指摘されていたが、これら2つの方法で克服してきたのである。1つ目が共有バックボーンを成長させていくというモデルの浸透のおかげでインターネットが高速道路から電車になるという流れを作ったことであり、2つ目がCDNなどによるデータの配置や通信トポロジーを更新することにより、輻輳を避けたサービスを提供することだった。これらにより、インターネットは元々のアーキテクチャーを変えないで、ストリームをインターネット上で収容できるようになったのである。

インターネットの弱点の克服が、今のIP電話(VoIP)の急成長につながっている。インターネットの20年あまりの運用の歴史の中で、また、商用化後の10年近くを経て、ついにいつの日かと言われているVoIP、すなわち電話がインターネット

の1アプリケーションとして、インターネット上の共有の道を使って運用されている。

映像や放送産業へのインパクト

インターネットでストリームを扱うことに対して、産業が受ける影響は計りしれない。それは、デジタルメディア、映像メディア、放送メディアがIPをどのように使えるのかということに対して大きな期待をもっていることからわかる。

たとえば、ジョージ・ルーカスの「スターウォーズ エピソード1」では、サンフランシスコとロサンゼルスの間で映画のコンテンツをIPを使ってどのように流すのかという実験を行っている。ちなみに、映画を1本流すのには約1・5Gbpsの通信帯域が必要になるので、容易に実現することではない。しかし、スターウォーズでは全体のコストの約25%が映画館に配送する銀盤の製作コストだと言われている。全体の25%程度のコストが高速ネットワークに置き換えられると考えると、デジタルシネマの実験は非常に重要なわけである。映画製作のコストにとって25%というのは大変大きな影響

を持っているので、インターネットでのストリーム配信の実現が注目されるのは当たり前だと言える。

また、日本では、小さな地方テレビ局が中継をしたり、ライブの中継をしたりするときには、高い中継回線を買ってデータを転送しなければならなかった。これが、今、インターネットを使って容易にできるようになってきた。インターネットにより非常に安いコストで、小さなテレビ局でも自分の中継しているライブ放送をリアルタイムに他の放送局やカスタマーとも共有することができるようになってきた。

デジタル放送などのストリームがインターネットのバックボーンを経由して提供されることにより、産業界に革命を起こすということは、コストの面からはすでに進行しているとも言える。ストリームとインターネットのポジティブな展望が開けてきたのである。

アンワイアード

果てしなきインターネットの未来—4Gへのシナリオ

アレックス・ライトマン 著／村井 純 監修／湧川 隆次 編
インプレス刊
価格：2,520円(税込)／四六判・304ページ
ISBN：4-8443-2079-3

無線技術が切り拓くインターネットの未来。それがアンワイアードだ。有線ブロードバンドで起きた価格破壊はワイヤレスの世界でも必ず起こる。新幹線でも高速道路でも、移動しながら自由に高速インターネットが使える第4世代通信の最前線を、インターネットの父・村井 純が監訳。話題の周波数問題もわかりやすく解説。



人と人をつなぐ インターネットの未来

産業の発展に大きな影響を与える情報社会の基盤というものを前提にして考えた場合、やはり今の携帯電話がインターネットを使ってどう変わるかという次元の話にとどまっていはいけない。誰もが共有できる基盤を社会の中でどのように確立するのか、そこへのアクセスのメカニズムとして無線技術はどのように応用できるのか、そしてさらにこの共有基盤をどう使うのかということが、インターネットの未来を考えるうえで大事になってきているのである。特に重要なことは、インターネットを前提とした社会の中で、ユーザーが何ができ、何をやるかということなのである。

これまでインターネットを使ってデジタル情報をコストエフェクティブに共有し、交換できる基盤を社会の中に作り上げてきたプロセスを見てきた。ここではその基盤を前提に、未来を考えていく。

デジタル情報をやりとりできる自由というものが確立された社会の中で、人間はどうやって生きていくのか。人間社会はどうやって作られていくのか、あるいはその自由を前提に我々の活動をどう考え直すのかということを真剣に考える時期にちょうどきているわけである。

重要なのは、人間はもちろんコミュニケーションの主体であり、インテリジェンスの主体であり、人間は其中で生きていくということなのである。つまり、この地球環境、あるいは情報環境の中で、人間はそのコミュニケーションをどう利用していくかということを考えることになる。そうすると一番重要なことは、人間

はラップトップコンピュータではない。パソコンじゃない、PCじゃないということである。ただ、人間が身につけているものがコンピュータであって、それらをつないでいくのである。エンドシステムとしては、今までのインターネットはコンピュータ同士であったが、これからはまずユーザーとしての人間がいて、それをサポートするデバイスとしてコンピュータがあるのだ。この視点に立ち、最終的には人間の生きている空間をどうやってインターネットで結びつけていき、人間を主体としたコミュニケーションがどのように展開していくかを考えなければならない。こういうことが今後のインターネットの考え方になっていくのである。

無線技術とデバイスの多様化

さて、モバイルコミュニケーションに戻ってみると、当然ながら人間にはケーブルがつながっていないということが鍵になる。人間との最後の点や、あるいは我々のリアルスペースのオブジェクトというのは、すべてがインターネットに直につながっているわけではない。インターネット上で何らかの関係をもちながら、価値ある情報をインターネットを使って提供できるようになっていると考えられる。そしてこの環境を実現するものは、無線の技術ということになる。

無線の技術でデジタル情報としてのオブジェクト、あるいは人間との関係というものが定義され、それによってどういうふうな情報空間をデザインできるのか

ということが、現在の一番問題になっている。

今までは携帯電話を使ってやることもできた、あるいは無線LANを使ってそういうものを演出することもできた。あるいはRFIDのような非接触のICカードなどが、ことの一部分を演出してきた。しかし、私たちがそれらを使っていく経験の中ですでにわかっていることは、どのような空間でも、インターネットを通じたデジタルコミュニケーションの場の共有については制限を受けることはないということである。無線を最後の部分に利用しながら、すべてのオブジェクトと人間とがどのような情報の環境を作っていくかということが、情報化の空間の本質なのである。

このことは、もはや無線でつながっているものは携帯電話のような音声のデバイスだけではないということである。携帯電話端末が音声から電子メールなどのインターネットの接続機能も含めたものへ、そしてまたカメラとして、音楽を聴くデバイスとして、いろんな用途に発展しているのを見ていてもわかる。私たちにコミュニケーションの内容にとらわれないデバイスがすでに提供されている。

移動を意識しない利用環境

無線を使っているからにはモビリティを自由にサポートしなければならないが、これをできるだけ透過に実現しなくてはならない。

私たちは、車などの乗り物に乗って動

くかもしれないし、歩いて動くかもしれない。人間以外のオブジェクトも物理的に位置を変えるかもしれない。そうした移動に関して全く意識しないですむようなモビリティを実現することが非常に大事になってくる。すでにそんなシーンを私たちは想像できる。つまり、利用者の視点で、どういう空間ができるかということイメージすることができるのである。

しかし、なぜ、これをインターネットで提供することがイメージできるようになったかという、インターネットの環境がすでにどこにでも存在していることが前提となっているからである。そして、実際にこの空間を作ろうと思ったときに、今までのようにインフラストラクチャーを一から作ることはない。基盤となるインフラストラクチャーは、もうほとんどの家、部屋やオフィスなどの空間にすでにある。そこに、最後に無線というデバイスを加えるだけでよいのである。

したがって、こうした利用がどんなに進んでも、コストが莫大にかかることはあり得ない。その空間でのデジタル情報のやりとりにコストが新たにかかることもあり得ない。いままでと同じように、コストエフェクティブなままサービスが提供されるのである。つまり、これからのモバイルコミュニケーションというのは、コストがかからず、移動を全く意識しないですむ移動の透過性が保証され、そして何でもできる新しいアイデアが自由に生まれてくるプラットフォームとして発展することが、もうはっきりと考えられるようになってきたのである。

では、そこで人間は何ができるのかというと、先ほど話したようなストリームというものがある。先ほど述べたとおり、ストリームの扱いはインターネット上でかなり克服できているため、音声はもちろん自由自在にやりとりができるだろう。しかもこれはコストをかけずに実現できる。コストがかからないなら、今まで以上に

音声通話を自由に気軽に利用できるようになる。また、映像も自由にやりとりできるようになるだろう。携帯電話端末やそのディスプレイの技術などは急速に発展してきているので、実現は比較的容易である。さらに映像や音声にとどまらず、たとえば車内や路上のセンサーといったデバイスがワイヤレスでつながる。この恩恵の中で、温度や気象といったさまざまな価値のある正確でリアルタイムな情報が我々のインテリジェンスな空間にもたらされるだろう。

こうした無線と新たなデバイス、センサーなどが連結しながらインターネットの中に入り込んでくるとき、2つの新しい技術への挑戦が目される。それがモバイルIPとアドホックネットワーク(ad hoc network)である。

移動を意識しないで 通信を継続するモバイルIP

c o l u m n

モバイルIP

モバイルIP技術は、移動ノードが通信を継続しながら異なるネットワーク間を単一のIPアドレスを用いてローミング(移動)することを可能にする。次世代の移動体通信のコア技術として期待されている。インターネット上での移動は、オブジェクトの地理的移動に伴うローミングのときや、地理的な位置が同じのときでも、インターネットの接続先を変えるだけでインターネットのトポロジーの上では移動として扱うことになる。これらインターネット上での移動を完全にアプリケーションや利用者に透過にす

ることができるのである。モバイルIPはすでに一部の携帯電話システムの基幹ネットワークでは運用されているため、インターネットを使った携帯IP電話サービスなどの移動型サービスの登場も遠くないだろう。モバイルIPv6は1994年9月に、当時IBMのチャールズ・パーキンス(Charles Perkins、現ノキア)とカーネギーメロンの大学のデビッド・B・ジョンソン(David B. Johnson、現ライス大学)らによって、はじめてインターネット標準化団体であるIETFに提案された。10年もの長い間、議

論を重ねた結果、2004年6月、ついにRFC3775 Mobility Support in IPv6が仕様として発行された。また、モバイルIPを拡張し、ネットワーク全体を移動させるNetwork Mobitly(NEMO)プロトコルの標準化も行われた。自動車やパーソナルエリアネットワークのような、複数のデバイスがネットワークを形成し、一緒になって移動する場合に利用されることが期待されている。NEMOプロトコルは、2005年1月にRFC3963として標準仕様が発行された。

無線は基地局から離れると通信ができなくなる。ある基地局が遠くなるということは、別の基地局が近づいてくるといことなので、つなぎ直せばよいのである。これは無線の世界でいえば、ローミングの技術である。このローミングにより、デバイスは無線を使って複数のネットワークを移動することができるようになる。802.11bから携帯電話網など、異なる無線技術への切り替えを行いながら移動することもできる。このように、インターネットにおいてあるオブジェクトがネットワーク間を自由に移動する場合、利用者の視点から見ると移動に伴う通信パスの変更が完全に通信に対して等価であることが重要となる。このような通信基盤が成立するかどうかは、非常に大きな問題となる。なぜなら、現在のインターネットでは、接続するオブジェクトにはネットワークにマッピングされたID(IPアドレス)が付与され、そのIDにパケットを配送するメカニズムがあるからだ。ネットワークを移動しながら通信を継続

するためには、当然その移動先のネットワークの配送メカニズムへ切り替える仕組みが必要となる。これがモバイルIPという技術の本質である。

基地局がいない モバイルアドホック ネットワーク

モバイルIPにより自由にインターネットに接続できる環境が作られるとして、もう1つモバイルインターネットを支える重要な機能を紹介したい。それは、人間が、近くにいる人や物と直接コミュニケーションをするところから発想できる技術である。

いつも私がしている大きな質問をしよう。たとえばアメリカに日本の携帯電話を持ち出して、ホテルで隣の部屋にいる友人と話したいとしよう。このとき、この携帯電話の通話は、大抵がアメリカから日本を経由して行われる。どうして隣にいる人と、直接話をしてはいけないのだろう

か。

この質問には、いろいろな問題が隠れている。無線の電波はどうしても基地局から飛ばすので、いくら近い人と話するときでも必ず基地局を経由しなければならない。しかし、技術的には近くにある物同士が直接通信をすることは、いくらでも可能である。これはインターネットの世界では何度も話されていたことで、ほとんどの問題は、ビジネスモデルとレギュレーションに帰着するのである。

近くのもの同士が直接通信することをインターネットに結びつけて考えたのが、モバイルアドホックネットワークという技術である。モバイルアドホックネットワークを用いることで、モビリティの世界は非常に強力な武器を持つことになる。つまり、インフラに頼らずに直接通信を行うことにより、コミュニケーションの形態がさらに進化するのである。相手の近くに行くだけで通信ができ、集まるだけでネットワークが構築され、情報の共有と交換ができるようになるのである。モバ

column

アドホックネットワーク

アドホックネットワークは、名前の由来通りインフラの設備がない場所でネットワークを自律的に構築することができる。すべての移動体計算機はルーター機能を要し、経路制御を行うことによりマルチホップ通信を実現する。各移動体ノードが近隣の移動体ノード群と自律的に経路情報を交換し、必要であれば中間ルーターとしてパケットの経路制御を行う。移動するたびに経路情報が更新されるため、同一アドホックネットワークにいる限り通信は継続できる。

アドホックネットワークの歴史を簡単に紐解くと、1970年初等にDARPAにおけるALOHAプロジェクトやPRNET(Packet Radio Network)の活動から始まっている。これらのプロジェクトでは、無線におけるブロードキャスト特性を活かしてシングルやマルチホップ通信の可能性を検証していた。1980年に入るとIETFにおいてMANET分科会が設置され、アドホックネットワークに向けた経路制御プロトコルの仕様策定が始まる。これらのアドホック

ネットワーク経路制御プロトコルは2つの種類に分けられる。Reactive型プロトコルは、通信開始時に経路をオンデマンドに探索し、通信を行う。一方で、Proactive型は既存の経路制御プロトコルと同じく、常に計算機間で経路を計算する。現在この2種類に絞った、標準化案の再策定が行われている。また、アドホックネットワークにおける要素技術であるアドレス設定やインターネット接続技術に関しても議論が開始されている。

イルアドホックネットワーク技術は、災害時における緊急ネットワーク、自動車の車車間通信や路車間通信、キャンパスネットワークなどの応用が進み、その発展は、非常にリアリティを持ってきている(図6)。

4G はモバイルインターネット

最後になるが、これまで述べてきたように、人間を主体としたまったく新しい自由なコミュニケーションの通信基盤がモバイルインターネットなのである。これまでのインターネットの社会的影響以上のインパクトがあり、これからは社会の通信基盤としての役割を果たしていくことになる。そして、この通信基盤上で多くの社会生活がより高度に創造的に営まれていく世界が実現する(図7)。現在、このワイヤーを意識しないコミュニケーションをサポートする「技術」と「社会的な準備」の両方がすでに整ったということができる。

果たしてこの中でどんな新しいことができるかという、言及することは控える。なぜなら本当の情報社会の中には無限の可能性があるのである。特に人間の新しい行動を支えるインターネットの未来には、果てしない可能性がある。これこそがモバイルインターネットのイメージである。

もし、「携帯電話の次にどう世界が来るのか」という質問があったとする。その答えが本当に必要だとすれば、インターネットベースのモバイルコミュニケーションの環境であるモバイルインターネットと答えるべきなのだと思う。本当の意味での Next Generation のモバイルコミュニケーション環境というのは、これまで述べてきた過程で生まれるモバイルインターネットの世界だと思うのである。

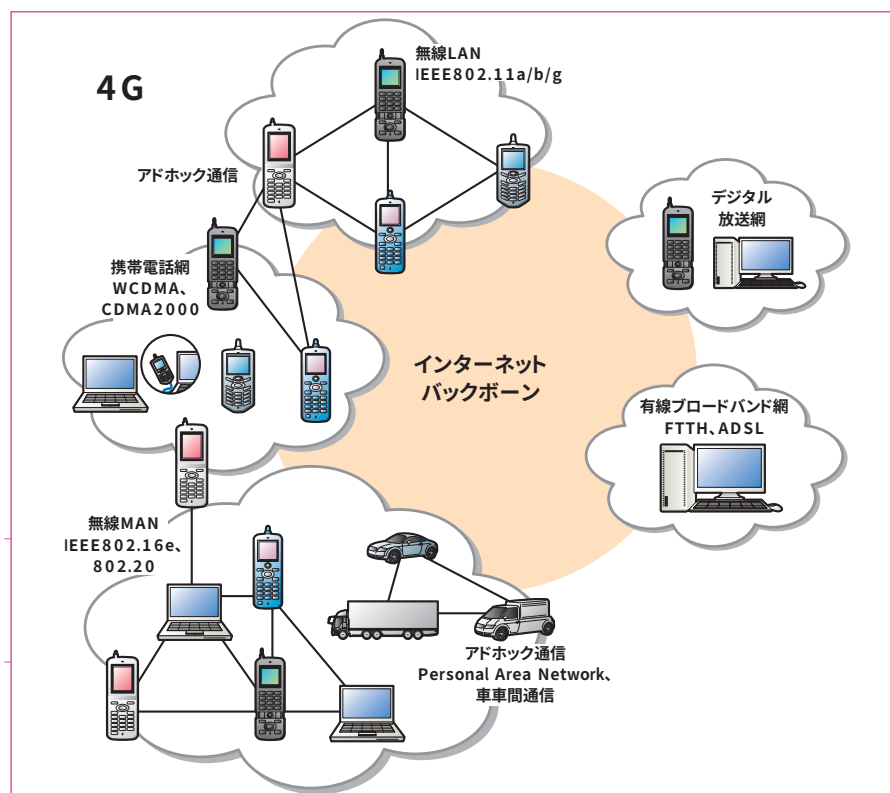


図6 さまざまな無線アクセスを実現するモバイルインターネット

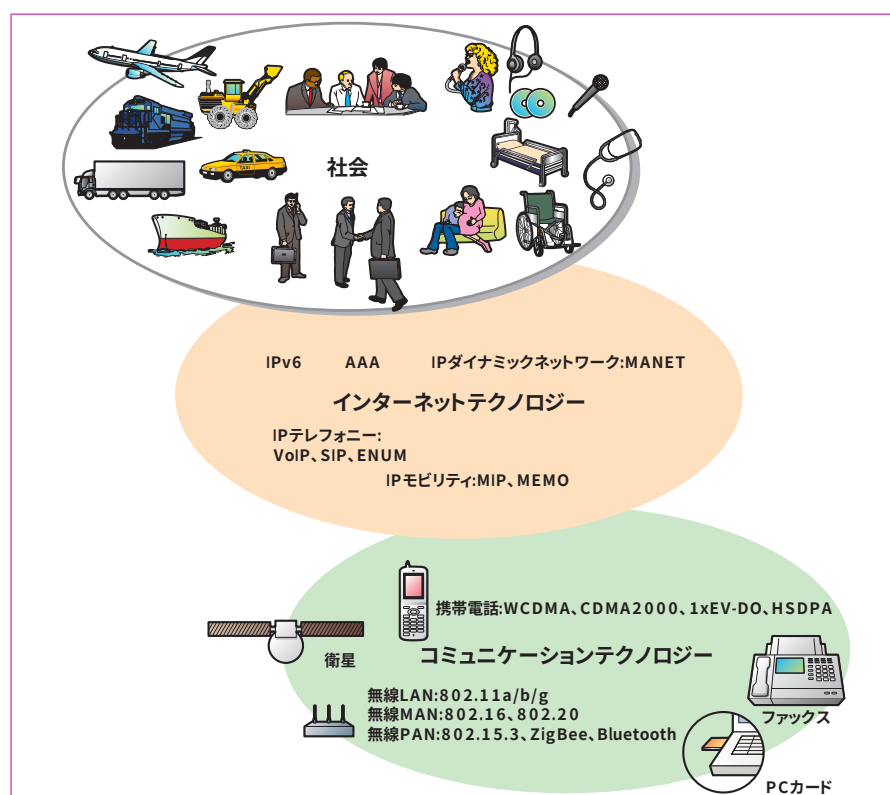


図7 4Gはモバイルインターネット

[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的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