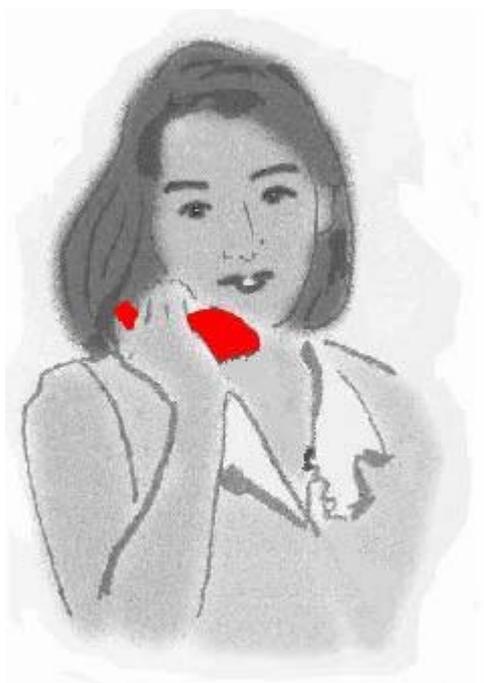


携帯電話のしくみ

通信の基礎から最新技術まで



2008年8月
株式会社 A2A研究所



1. 概要

(1)いつでも、どこでも、誰とでも

通信の理想像が実現？

通信の理想を表す言葉であるが、最近は、「どのような端末機器でも」を意味する any device を加えることがある。

この言葉の世界は、僅か20年ほどの時間で現実になってきた。それを可能にしたのは携帯電話とインターネットとすることができるだろう。

あらゆる情報がデジタル化され、お互いに無線を使うことで、人との間のみならず、車や各種の装置との交信も可能になろうとしている。

かつて映画007で、腕時計形の携帯電話で通話していたジェームス・ボンドもきっと驚くに違いない。更に進化を続ける携帯電話。これからはどんな世界を見せてくれるのだろうか。

Anywhere

Anytime

Anyone

Any Device



これからは、人だけでなく、車や機械、ペットなども交信の対象に。



1. 概要

(2)最近の携帯電話

もはや単なる電話ではない

「写メール」のヒット以後、カメラ搭載は当たり前になったが、その後、音楽やビデオ、ワンセグTV放送、GPSによるナビ、「おサイフケータイ」など多機能化の流れが止まらない。ハード面では、

- ・画面： 液晶や有機EL。サイズは3.5インチと大きなものも。
- ・メインCPU： 32ビットでDual Coreのものも。
- ・カメラ： 200万画素が標準的。フラッシュライトやオートフォーカス、光学ズーム機能も搭載の方向。
- ・メモリ： フラッシュメモリ等に加え、外部メモリーとしてminiSD, microSD, メモリースティックDuoなどで数GBを搭載。
- ・バッテリー： 容量が増加傾向にあり、リチウムイオンバッテリーが標準に。

カメラ

ワンセグ放送

音楽/ビデオ再生

GPSナビ

おサイフケータイ



高解像度画面

メインCPU

アプリプロセッサ/DSP

外部メモリー

赤外線デバイス

もはや単なる電話でなく、「ケータイ」というガジェット(目新しい道具)に。



1. 概要

(3) 携帯端末の機能ブロック

携帯端末は無線局

携帯電話は送信機と受信機をケースに詰め込んだ超小型トランシーバーであり、電波管理の対象となる立派な無線局である。

その送信機の出力は最大300mW～1Wであり、電池容量が限られているため、電力効率が高いGaAs等のトランジスタアンプが用いられている。

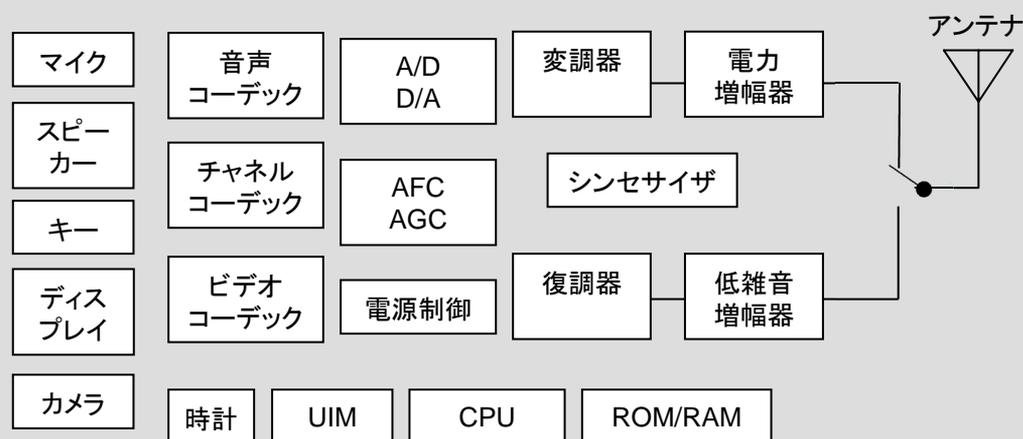
一方、受信機入口での受信信号電力は極めて低く、送受の周波数が比較的接近しているので、受信回路への送信出力の洩れ込みをデュプレクサ等によって抑えている。

また、最近の携帯電話では、800MHz, 2.1GHzなどのマルチバンド対応とするために、各バンドごとの送受信回路を有している。

変復調器を経て、コーデックは音声や映像信号の符号復号を行う。

このほか、ヒューマンインターフェイス用の各種部品、端末全体の制御や記憶機能を果たすコンピューター、更には、ワンセグTV、FMラジオ、無線LAN、GPSなどの回路が組み込まれている。

携帯端末の機能ブロック図



携帯電話の内部には送受信機、コンピューターやヒューマンインターフェイスなどの部品が詰め込まれている。



1. 概要

(4) 現在は第3世代

約10年ごとに世代交代

わが国で携帯電話の元祖、ショルダーホン(100型)が登場したのは1985年。持ち歩くには少々肩が凝るサイズと重さ(3kg)だったが、その後、デジタル化などにより急速に小型化が進む。

Window95の登場でインターネット普及が始まる90年代後半には、携帯電話版インターネットであるiモードが爆発的にヒットし、本格的な普及期に移る。

今世紀に入ると、高速データ通信や「着うた」のようなインターネットと連携したサービスが容易となる第3世代が主流になった。節目の2000年には、わが国の携帯・PHS契約数は固定電話を越えて通信メディアの主演となり、2007年にはついに1億台を突破する。総人口に近づいたため飽和が囁かれるが、携帯電話会社は「1人で2台目」、「ペットや車にも1台」を目論んでいる。

第1世代	第2世代	第3世代	➡
1980年代 (萌芽・黎明期)	1990年代 (成長・普及期)	2000年代 (拡大・発展期)	
音声	音声 低速データ メッセージ	音声 高速データ インターネット 型サービス	
		固定電話を抜く 1億台突破 iモード 写メール 着うた	

2000年を境に通信メディアの主演へ。第3世代は日本が牽引。



1. 概要

(5) 国際標準

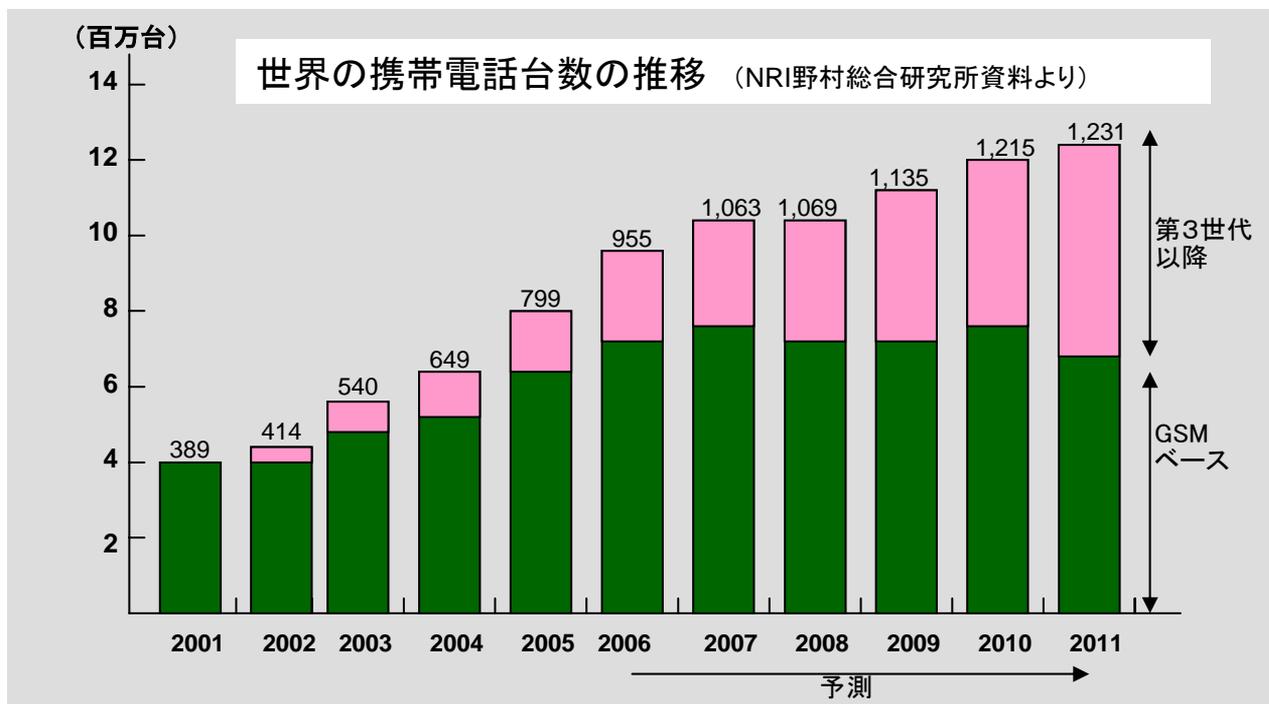
IMT2000

国際電気通信連合 (ITU) が、西暦2000年頃の導入を目指して勧告した、第3世代携帯電話システムの規格をいう。世界統一規格を目指したが複数方式に分かれることになった。現在、広く利用されているのは、W-CDMAとCDMA2000の2方式であり、次の特徴を有する。

- 同じ周波数帯域幅に多くのユーザを収容できる。
- 同一無線回路を用いて、異なるユーザを多重したり、同一ユーザが異なる符号を用いて複数チャネルを使用できる。
- 近接セル間で同一周波数を使用できるので、管理が簡単。

なお、IMT-2000はInternational Mobile Telecommunications 2000の略であり、2000には、次の3つの意味がこめられている。

- ・西暦2000年頃の導入
- ・主に、2000MHz(2GHz)帯を使用
- ・最大2000k(2M)bpsの伝送可能



世界では10億台を突破し増加中だが、第3世代の普及はこれから



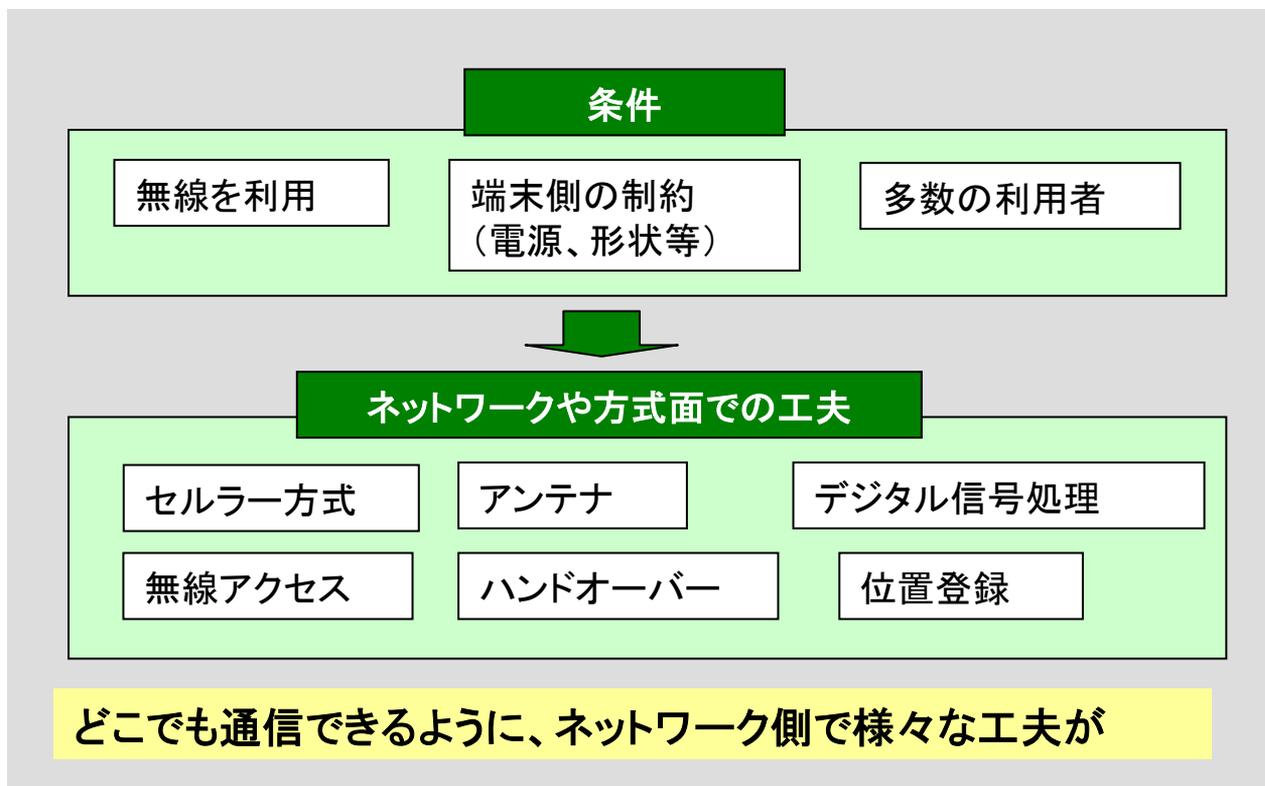
1. 概要

(6) 端末が移動することへの対策

ネットワークや方式面を工夫

携帯電話の最大の特徴は、「移動する」ことにある。固定電話のように線につなげておくことができないから、無線を使うことになる。そこで、余り意識されないが、携帯電話はれっきとした無線局であり、不要な電波発射により他のシステムへの妨害を与えないように運用するなど、電波管理の対象になっている。

電源もケーブルでつないでおくことができないので電池が必要であり、持ち歩きに便利な小型軽量にする必要がある。このような厳しい制約条件の下でも、「いつでもどこでも」通信が可能になるように、ネットワークの側で様々な対策がとられている。





1. 概要

(7) ネットワークの構成

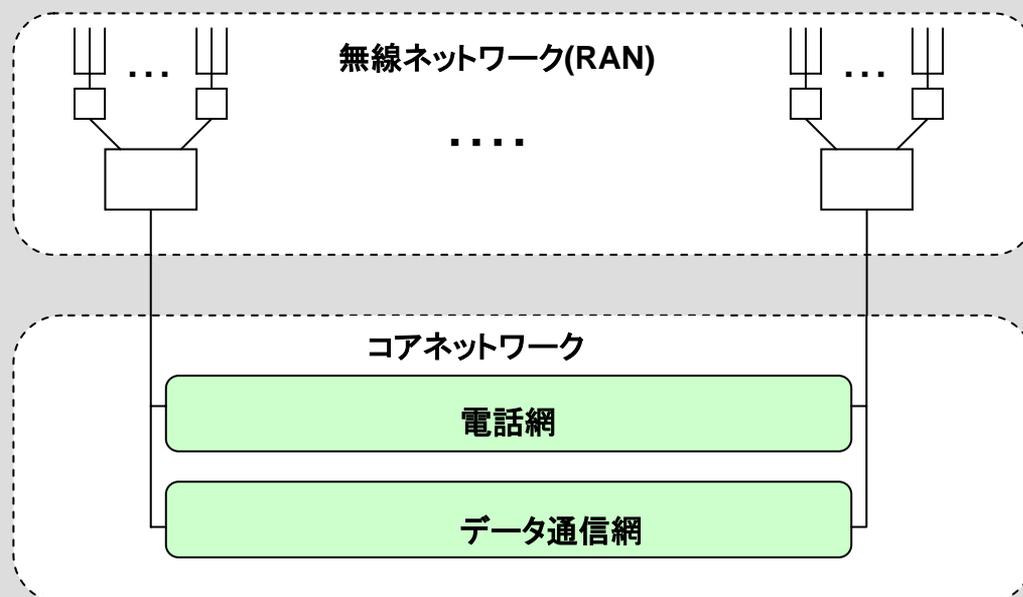
RANとコアネットワーク

現在の携帯電話用のネットワークは無線系のネットワークと、固定系のネットワークの2つから構成されている。前者は無線ネットワーク(RAN)、後者はコアネットワークと呼ばれる。

RANは無線基地局と、基地局をコントロールする無線ネットワーク制御装置とから構成されている。

一方、コアネットワークは、電話用のネットワークと、電子メールやWEB閲覧などのデータ通信ネットワークに分かれている。

電話に比べてデータ通信の需要が急増しているなどのため、近い将来には、コアネットワークはデータ通信網に統合され、RANを含めてオールIP(Internet Protocol)型のネットワークに移行する計画が進んでいる。しかし、電話網で現在提供されているサービスの品質や機能を維持、継続することが求められることなど、移行に伴う課題も少なくない。



近い将来、オールIP型のデータ通信網に統合される予定



1. 概要

(8) 携帯電話とインターネット

ネットワーク特性上での差異

インターネットの世界からみると、携帯電話は伝送メディアの一つに過ぎないが、両者が前提にしているネットの特性面では大きな差異がある。

その差異を誇張して言うと、携帯電話網はクローズドでインテリジェントであり(賢い)、一方、インターネット(IP網)はオープンでスチューピッド(愚か)と言えるかもしれない。

それは、前者が有線メディアを用いたコンピュータ間通信から発展したのに対し、後者は無線を使う宿命の下で生まれたという生い立ちに由来するとも言える。

現在、両者の網が接続連携することで、携帯電話から電子メールやWEBアクセスができるが、これらが円滑に行えるように携帯電話網の側で様々な対策がなされている。

	インターネット	携帯電話
伝送メディア	有線中心で発展 (高品質で安定しているため、ブロードバンドが容易)	無線が必須 (制限があり、品質は変動)
端末	高度化、多様化 (電源・大きさに制限少ないなど)	携帯無線機としての制約(電源、小型軽量、混信防止など)
網の特性	Open, Transparent, Stupid	Closed, Intelligent

必ずしもオープン化が良いとは限らない。



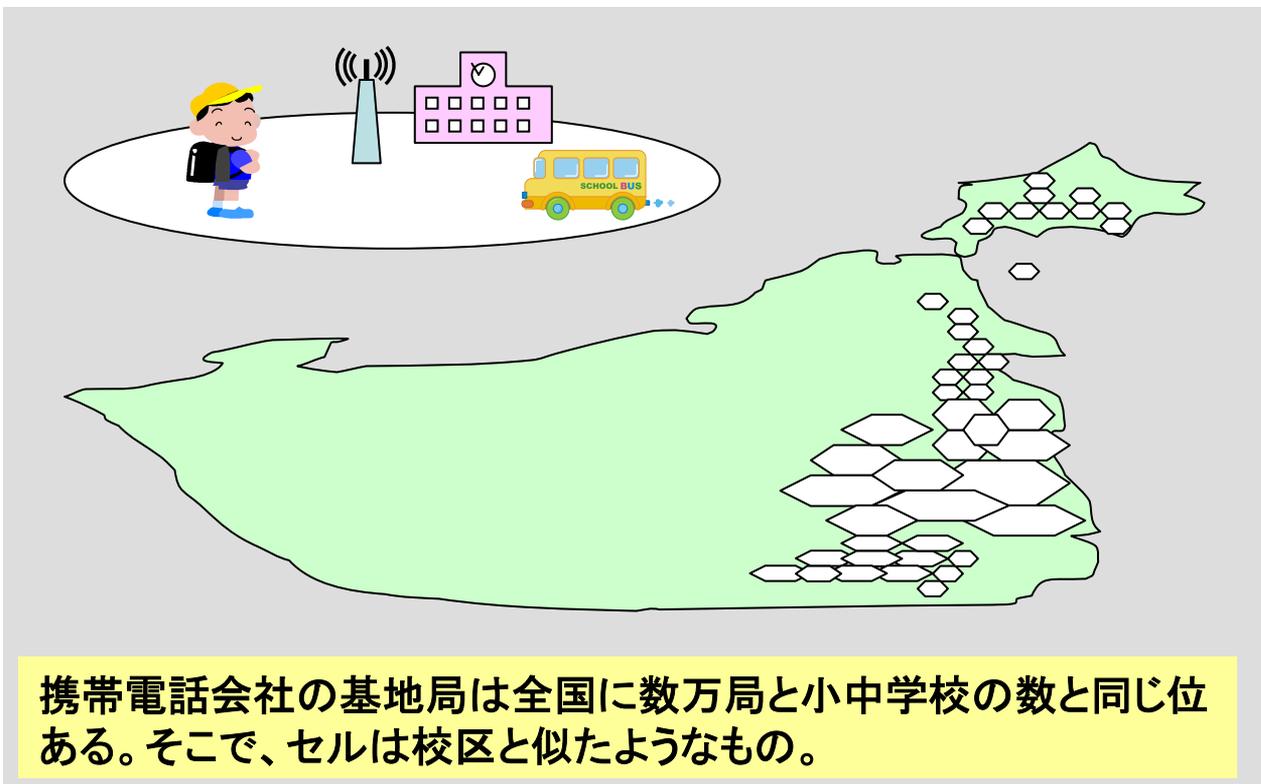
1. 概要

(9)セル方式

無線ネットワークの特徴

携帯電話の無線システムの最大の特徴はセル方式である。セルとは一つの基地局がカバーするエリアのことを言う。生物学ではセル(Cell)あるいはセルラー(Cellular)とは、細胞や蜂の巣のこと。携帯電話では、携帯電話の電波が届く距離は限られているから、サービスエリア全域にわたって、極めて多数の基地局を配置することで、蜂の巣状のネットワークを作っている。

わが国では、携帯電話会社3社のそれぞれが数万局の基地局を全国に設置している。セルの半径は平均すると数km程度であるが、利用者の密度、地形や建物等の環境により、都会では小さく、田舎では大きい。都会では、送信レベルを下げてセル半径を小さくし、多数の基地局を配置することで、多くの利用者を収容できるようにしている。





1. 概要

(10) インターネット

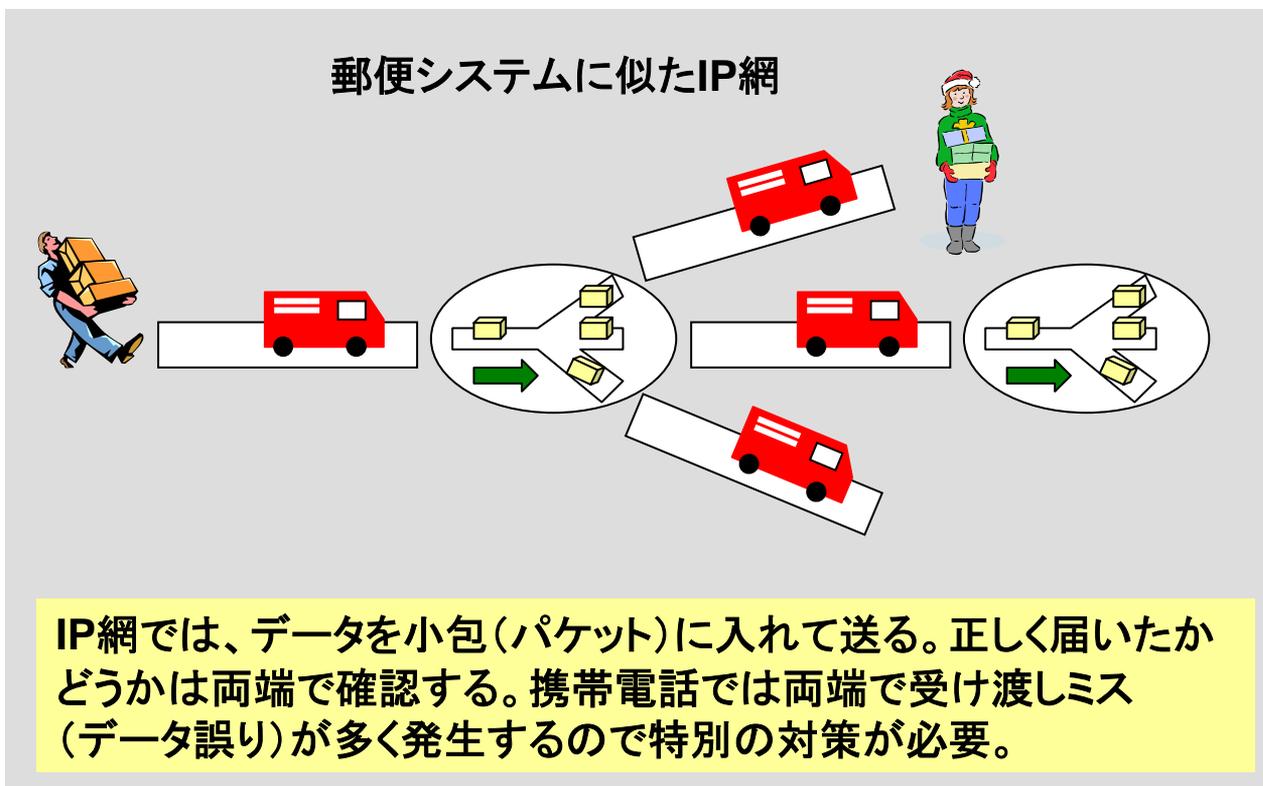
パケットにして送る

IP (Internet Protocol) ネットワークとも言われるインターネットの仕組みは郵便小包の配送方法に似ている。小包(パケット)の集配センターにあたる中継装置[ルーター]は、各パケットの宛先を見て、宛先に近い次のルーターに仕分けする。

全てのパケットが正常に届いたかどうかの確認や、不達の際の再送要求などの処理は端末やホストコンピュータの側が行う。

このようにネットワーク側の処理を単純にすることで、何でも通せる「高速道路」にできる。光ファイバーなどの高速道路は車線も広いので、途中の事故(伝送路での誤り)は殆ど生じない。

これに対して、携帯電話の無線区間はデータ誤りが頻発する。また、車線数も限られているので渋滞が生じやすい。そこで、ネットワーク側で、特別な交通整理を行う必要がある。





1. 概要

(11)これからの携帯電話－1

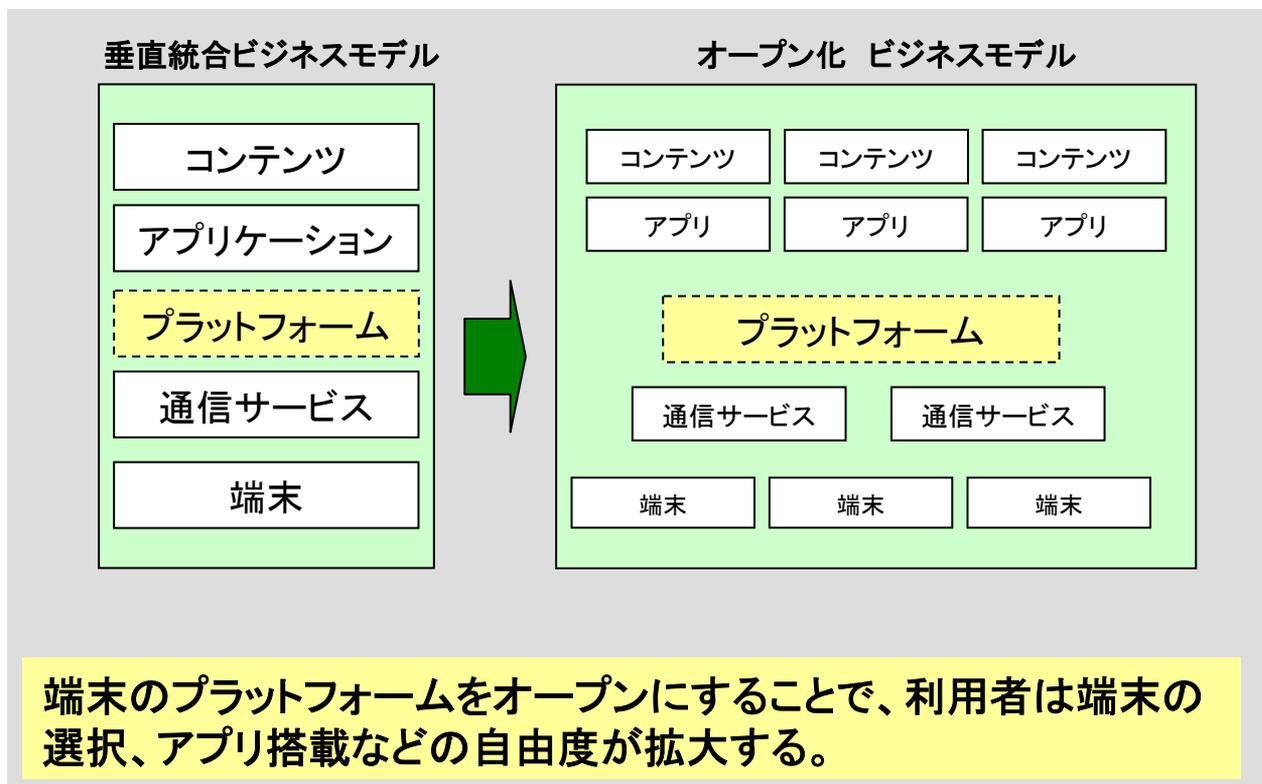
オープンプラットフォーム

現在、携帯電話会社は、端末の機能やデザインを詳しく規定するとともに、利用者がアクセスできるサービスや機器接続に一定の制限を設けている。(スカイプ電話やPC間のファイル転送等を制限)

限られた無線資源を皆で共用しており、ネットワーク建設に多大な投資を要したので、「ただ乗り」はもってのほかなのである。

しかし、最近、アップルiPhone, グーグルが主導する端末プラットフォームAndroidの登場などで事情は大きく変わってきた。近い将来、より広い周波数帯域が利用可能になることや、次世代無線方式が1つに統一される見込みであることも背景にある。

これからの携帯電話では、①端末やアプリケーションソフトの開発はメーカ主導に、②利用者は、端末、携帯電話会社、アプリケーションソフトの選択や接続が、より自由になるだろう。





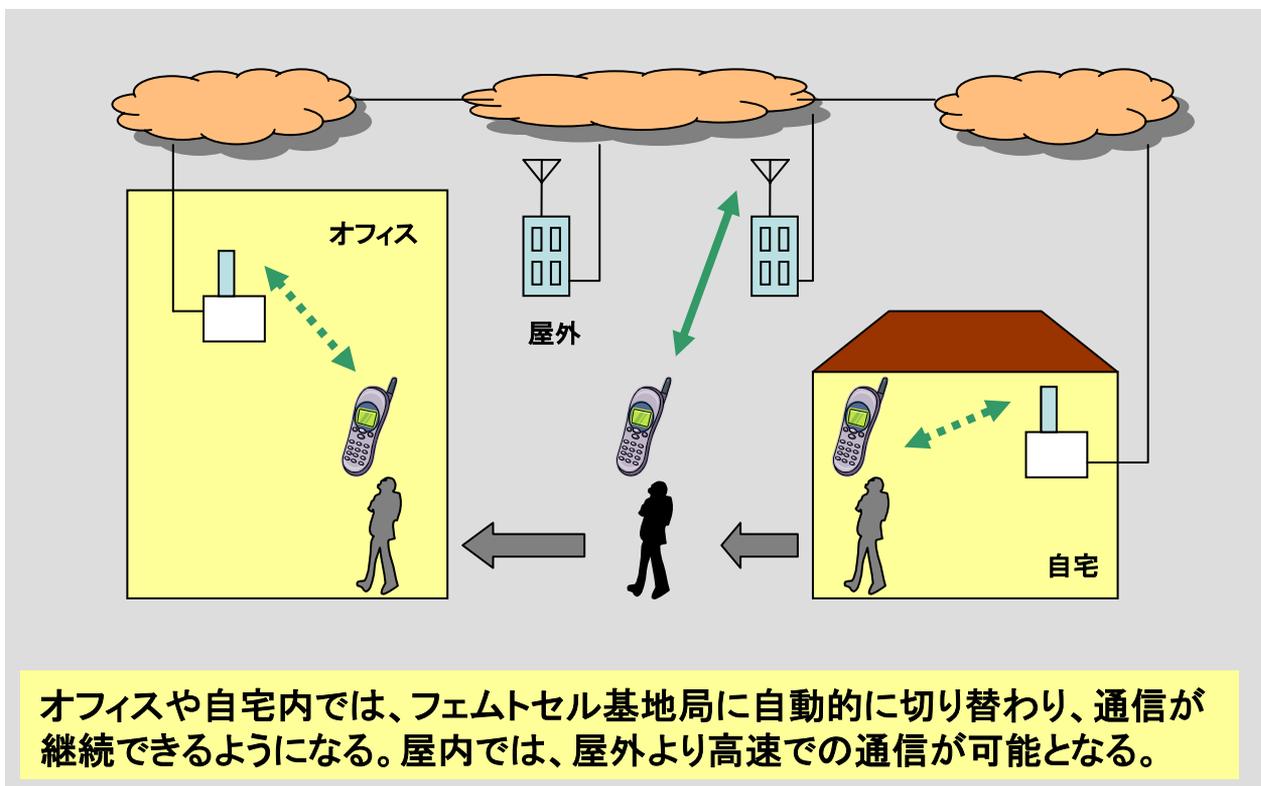
1. 概要

(12)これからの携帯電話－2

ネットワークの融合- FMC

今後の大きな流れには、FMC(Fixed Mobile Convergence)と呼ぶ固定とモバイルの融合がある。これは、携帯電話でのサービスと、固定通信でのサービスをシームレスに(つなぎ目を意識することなく)利用したり、一つにまとめるという幅広い概念である。そこで、例えば、両方の請求書を一にするのもFMCの「はしり」という人もいる。

最もわかりやすいのは、移動にともなって、携帯電話のネットワークから固定系のネットワークに自動的に切り替えを行う機能だろう。すでに無線LANと携帯電話の両者の機能を搭載した端末もいくつかあるが、近い将来には、建物内では、フェムトセルと呼ぶ超小型基地局から固定ネットワーク経由で、同じ端末を用いて通信が行われるようになるだろう。





2. アンテナと電波

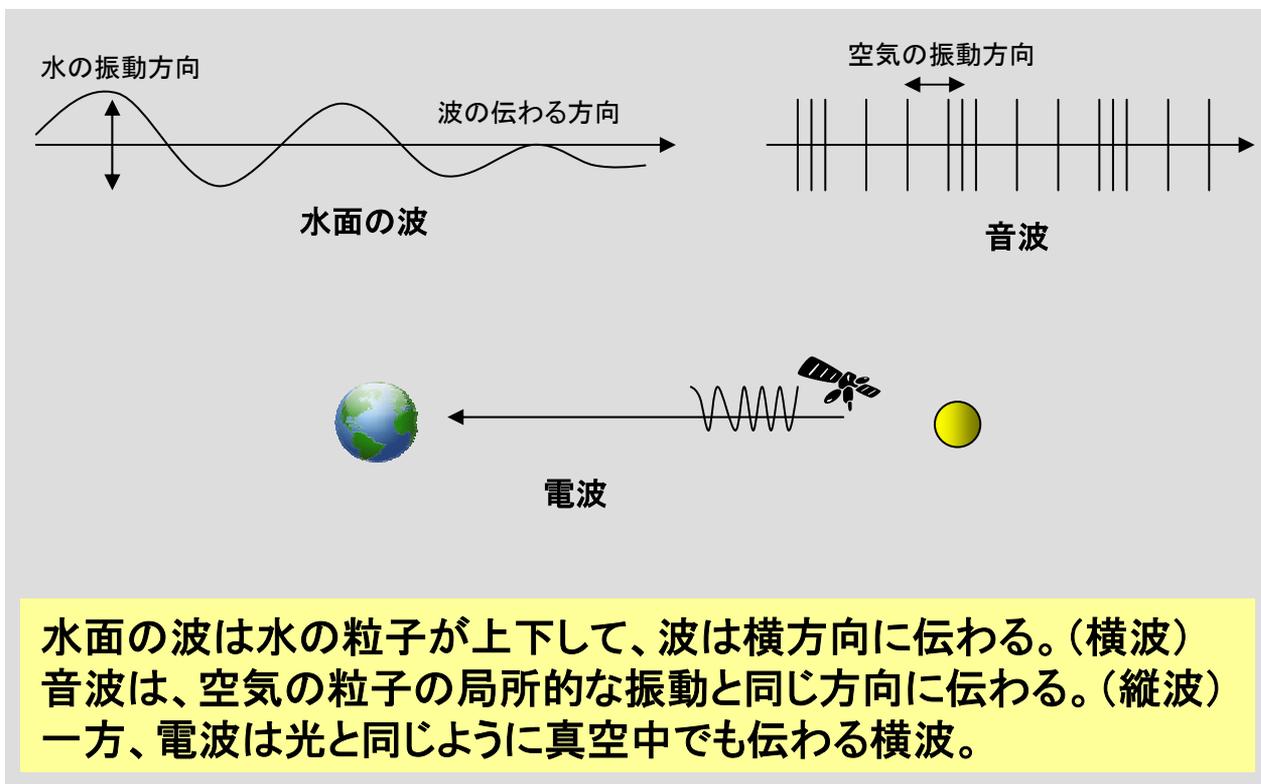
(1) 電波

「波」と電波

電波は、電磁波のうち、光より周波数が低いものをいう。文字どおり、電気で起こる「波」である。

波には、水面の波、空気を振動させて伝わる音、地面を振動させる地震波、更には道路での車の渋滞の波もある。このように、「波」とは、一般に、水、空気、車といった媒質を通じて伝わっていくものだが、ここで重要なのは、時間とともに移動するのは媒質そのものでなく、媒質の「ある状態」ということにある。

ただし、電波という波は、何も(媒質が)ない真空中でも伝わるという点で、他の波と大きな差異がある。もう一つの大きな特徴は、電波の速度である。電波の親戚である光と同様に、真空中では1秒間に30万キロ(地球を7回り半)も進む。これらの性質を利用して、月面や火星との間の通信にも電波が使われるわけである。





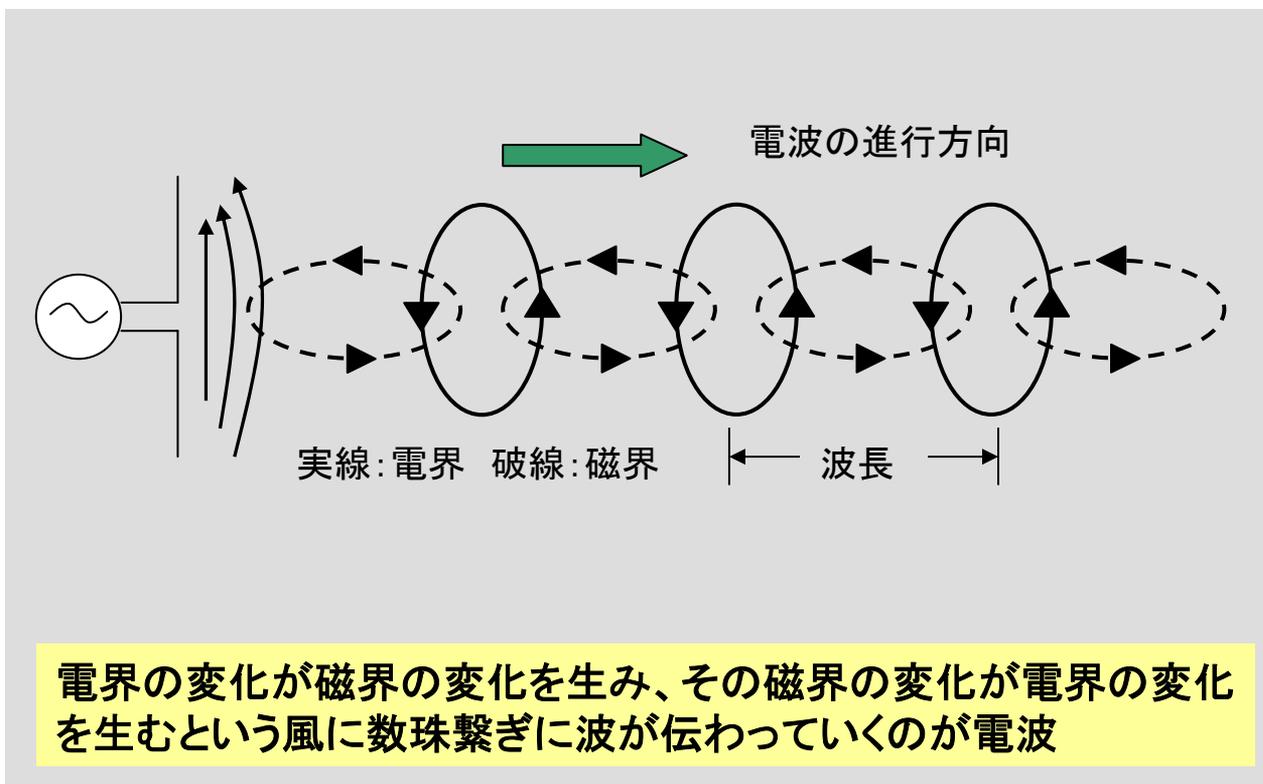
2. アンテナと電波

(2) 電波の伝わり方

伝わるのは「ある状態」

電波によって伝わる「ある状態」とは、電界と磁界という空間の電気的状態である。電波は、電界と磁界の相互作用、つまり、局所的な電界の変化が磁界の変化を生み出し、その次には、電界の変化になるというように、2種類のリングで繋がっていくように空間を伝わっていく。この時、電界や磁界のリングの大きさが波長に相当する。

電波の伝わる速度は、真空中では光速と同じだが、空気や水など媒質中を通る時には、その媒質の持つ電気的特性(誘電率、透磁率)により、真空中より遅れる。電気的特性が異なる物質に入ると速度が異なるので、その境界で屈折が生じる。





2. アンテナと電波

(3) 電波の特性

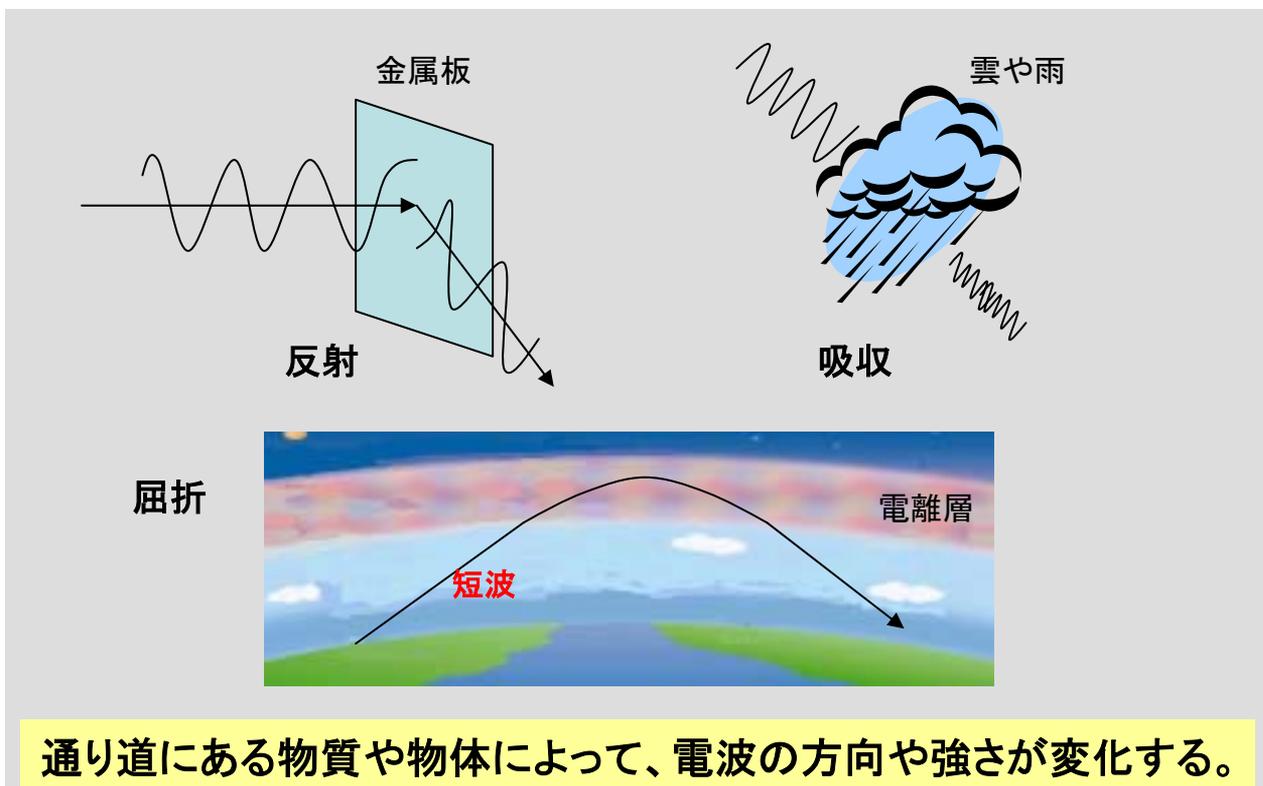
強さや方向が変化

電波は、真空中では空間をまっすぐ進むが、気体や液体の中や、途中に物体があると、反射、屈折、吸収、散乱などが起こり、電波の強さや方向が変化する。

例えば、

- ・金属板に当たると、鏡のように反射する。
- ・上空にある電離層の中を通ると屈折する。これは、電子や電気を帯びた粒子の密度が地上高によって異なるため、電波の速度が異なるためである。
- ・雨や雪の粒子により吸収される。
- ・周波数が低くなると波の性質が顕著になり、回りこみや障害物を透過して建物内部などにも届く。

通信や放送ではこのような電波の性質をうまく利用している。





2. アンテナと電波

(4) 電波の分類

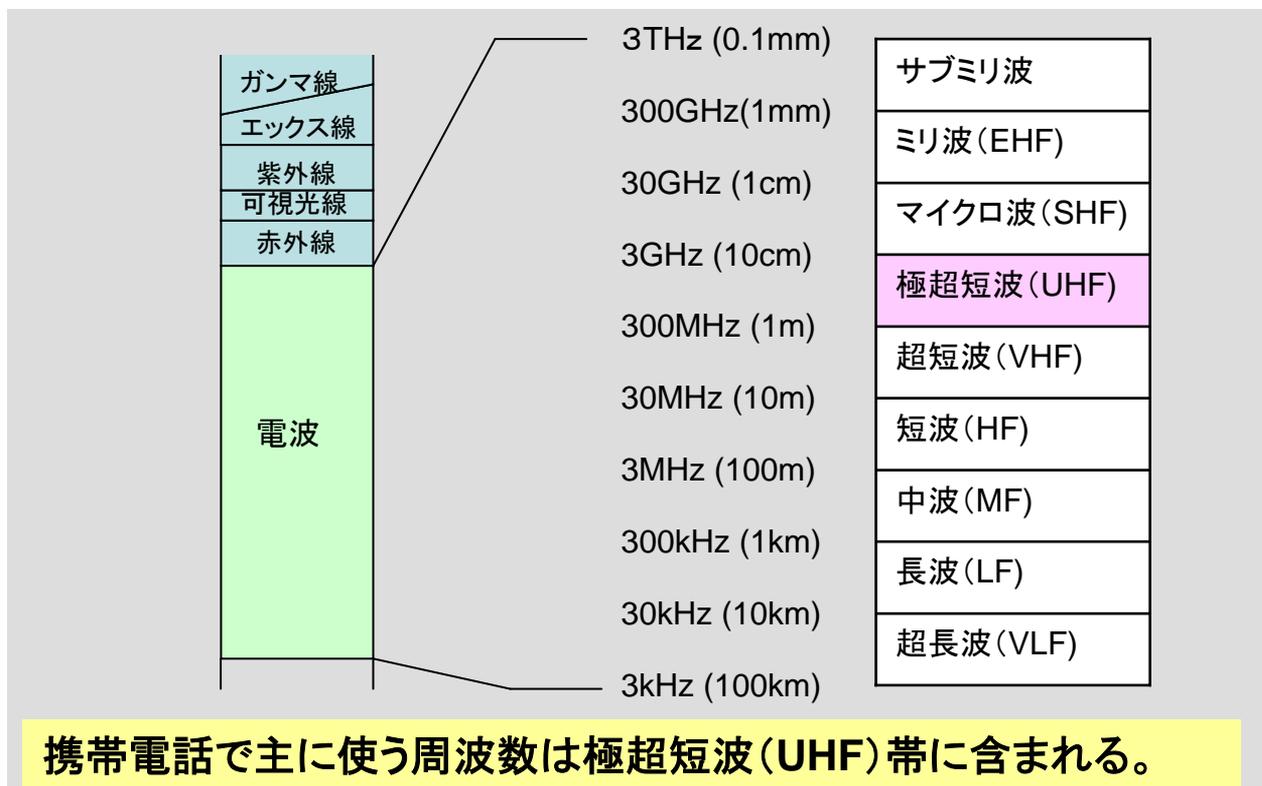
周波数と波長

電波や光を含む電磁波は、その周波数によって下図に示すような様々な呼称がある。特に電波に分類される周波数では、10倍ごとに細分化された呼称が用いられている。

このうち、携帯電話に使用されている周波数の範囲(周波数帯、またはバンド)は、極超短波(UHF)帯に含まれる。この周波数帯には次の特徴がある。

- ①高い周波数に比べて遠くまで届く。
- ②見通し外でも電波が回りこんで届く。
- ③より低い周波数に比べて、広い周波数帯が確保できる。
(多くのチャンネルを収容できる)

そこで、UHF帯は携帯電話にとって「黄金の周波数帯」といえる。





2. アンテナと電波

(5) 無線周波数の割り当て

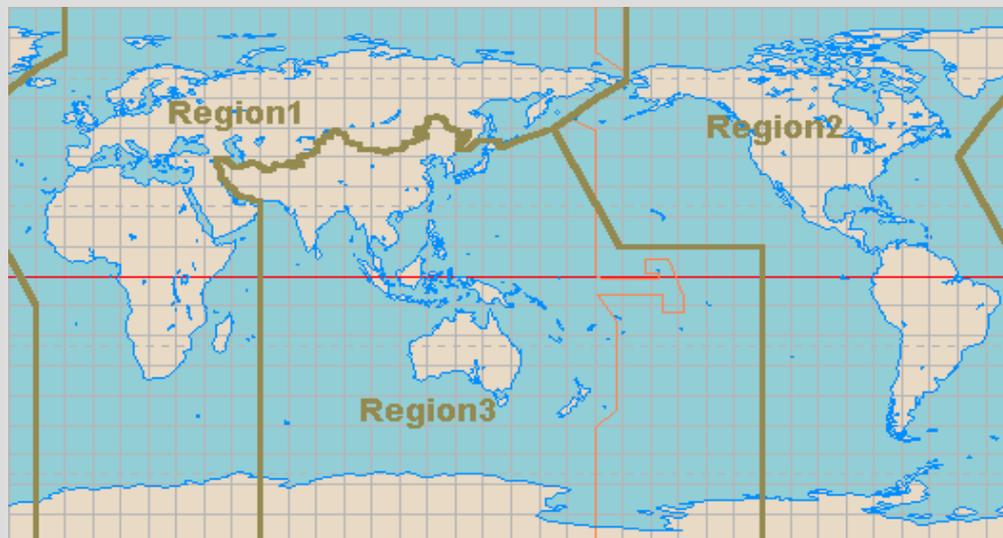
電波の世界は3つの地域に

電波は国の機関(わが国では、総務省)が、①周波数帯域を細分化し、目的や用途を定める(割り当てる)とともに、②無線局の送信電力などの「電波の質」を定め、③正しく運用されているか監視している。

また、電波は、国境を自由に越えて伝わるので、相互に混信が生じないように、国連の専門機関の一つであるITU(国際電気通信連合)が周波数の割り当て方針を定め、参加各国はこれに従うことにしている。

旅行者が国外に簡単に持ち出すことのできる携帯電話の場合には、規格統一が望ましいが、とりわけ使用する周波数帯を合わせることが重要である。

現在、国際的な周波数割り当ては、下図に示す3つの地域によって異なっている。日本は、この中で第3地域に属している。



〔第1地域〕
ヨーロッパ、ロシア
中東、アフリカ

〔第3地域〕
アジア
オセアニア

〔第2地域〕
北アメリカ
南アメリカ

世界的にみると周波数割り当て方針は3つの地域で異なっている



2. アンテナと電波

(6) 携帯電話用の周波数帯域

近い将来、より広い帯域が利用可能に

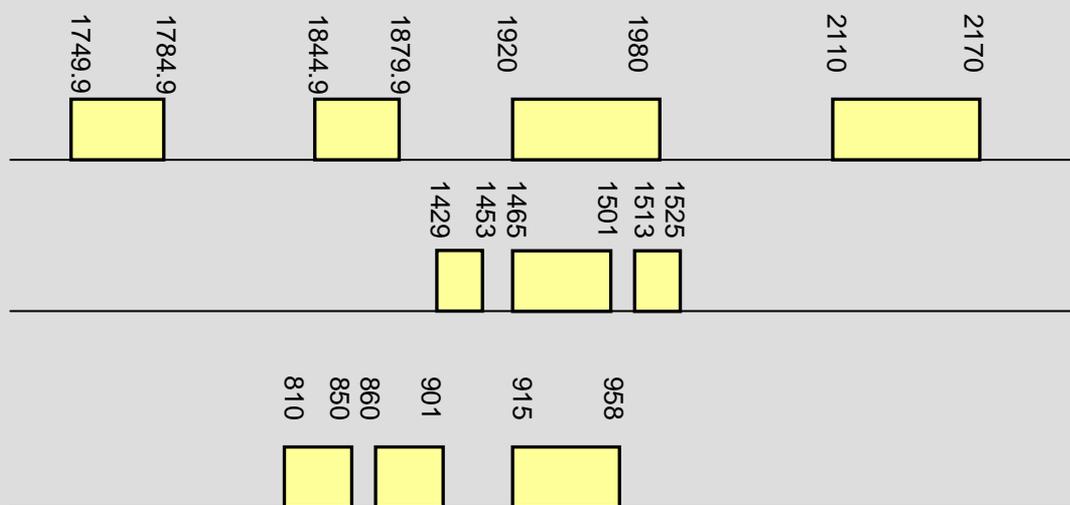
現在、わが国で携帯電話用の周波数帯には、800MHz帯、1.5GHz帯、1.7GHz帯、1.9GHz帯 (PHS)、2GHz帯などがある。第1世代 (アナログ方式) には800MHz帯が使用されたが、その後、広い帯域が必要になったため、より高い周波数帯が順次利用されるようになった。

現在、800MHz帯は、第2世代と一部の第3世代に、1.5GHz帯は第2世代用に、1.7GHz帯と2GHz帯は第3世代用に利用されている。

現在、携帯電話用周波数帯を更に増加させるため、細切れ状態の800MHz帯にて大規模な周波数再編が実施中であるほか、次のような新周波数帯が近い将来に利用可能となる見込みである。

- ・2.5GHz帯: WiMAXや次世代PHS方式
- ・700MHz帯: 地上TV放送のデジタル化完了後の空き地を900MHz帯とペアで割り当て
- ・3.4GHz帯など

携帯電話用の周波数帯域 (日本国内の場合)



総務省電波割り当て状況 (H20)より

今後、新周波数帯を含め、広い帯域が利用可能になる見込み。



2. アンテナと電波

(7) アンテナ

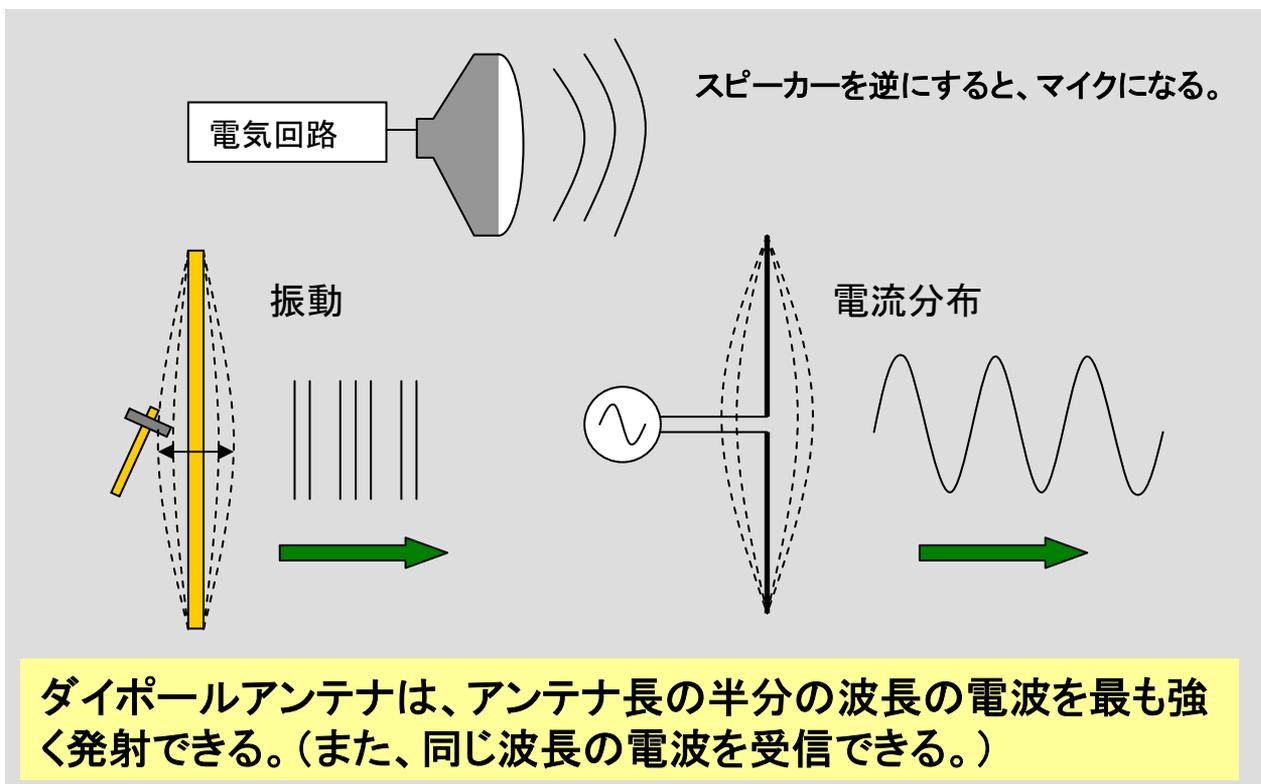
電波をキャッチするとともに、電波を発射

音(波)では、金属棒を叩くと固有の振動数の音が出る。また、その周波数を持つ音波が来ると共鳴する。

空間を伝わる波を電気信号に変える働きを持つアンテナは、音波の場合、スピーカーやマイクに対応する。スピーカーは、電気回路に流れる電流を音(波)に変換して、一定方向に集中させる。マイクはその逆の働きをする。

金属棒に交流電流を流すと、周囲に時間変化する電磁界が生じ、電波となる。この時、主として金属棒の長さで決まる周波数の電波が最も効率よく電波のエネルギーに変換される。

電流を流すケーブルの先に左右対称に導線をつけた単純なアンテナが半波長ダイポールアンテナである。





2. アンテナと電波

(8) 利得と指向性

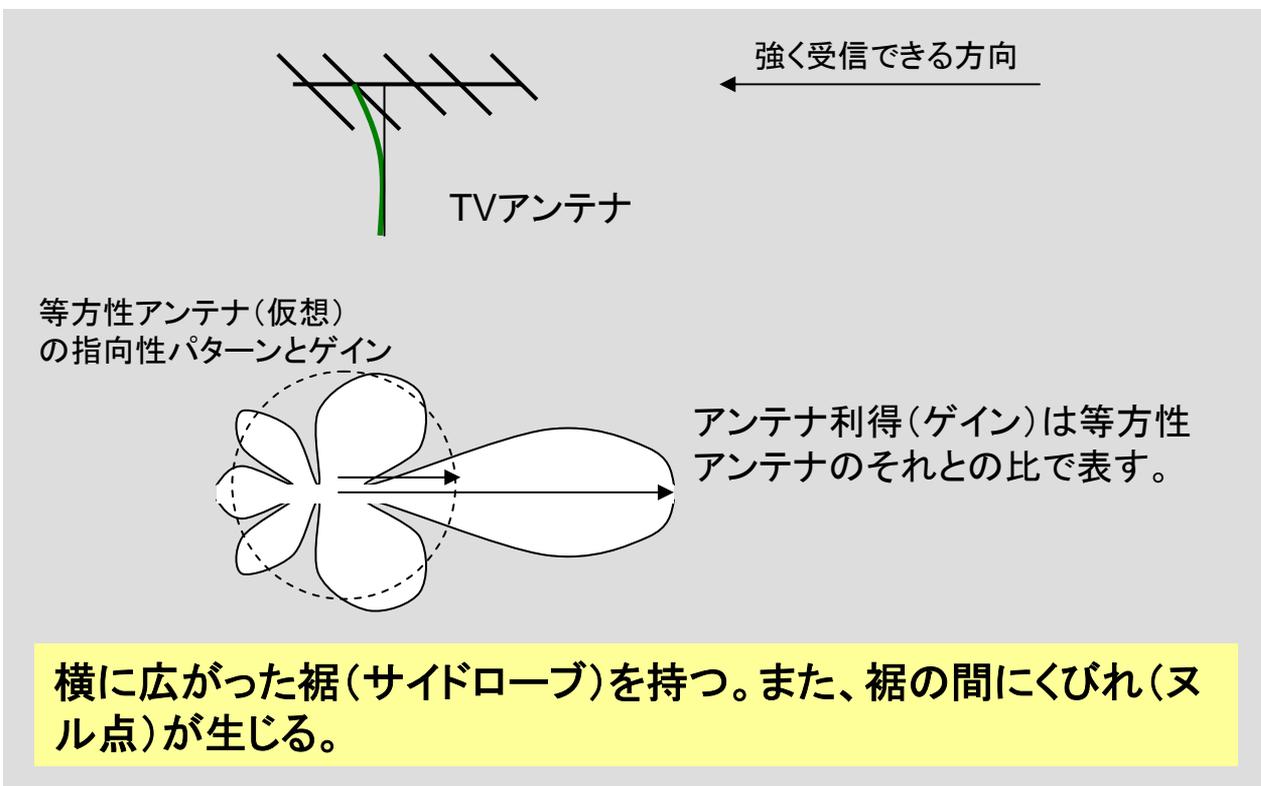
電波をビーム状にする

アンテナの形状により、どの方向に電波が飛びやすいか、あるいは受信しやすいか方向別の特性がある。これを指向性という。

例えば、多数の金属棒を平行に並べた形状をもつアンテナ(八木宇田アンテナ)では、アレイを並べた方向に電波を最も強く送信、あるいは受信できる。

全ての方向に同じ強さの電波が放射されるとした(仮想的な)等方性アンテナを用いた場合の強度に比べて、そのアンテナが最も強く放射される方向の電波強度がどれだけ強いかを示す数値を利得(ゲイン)という。

携帯端末では、どちらの方向に基地局があるかわからないので、どの方向にも同じ強さの電波を発したり、受けたりできる無指向性アンテナが使われる。





2. アンテナと電波

(9) 偏波特性

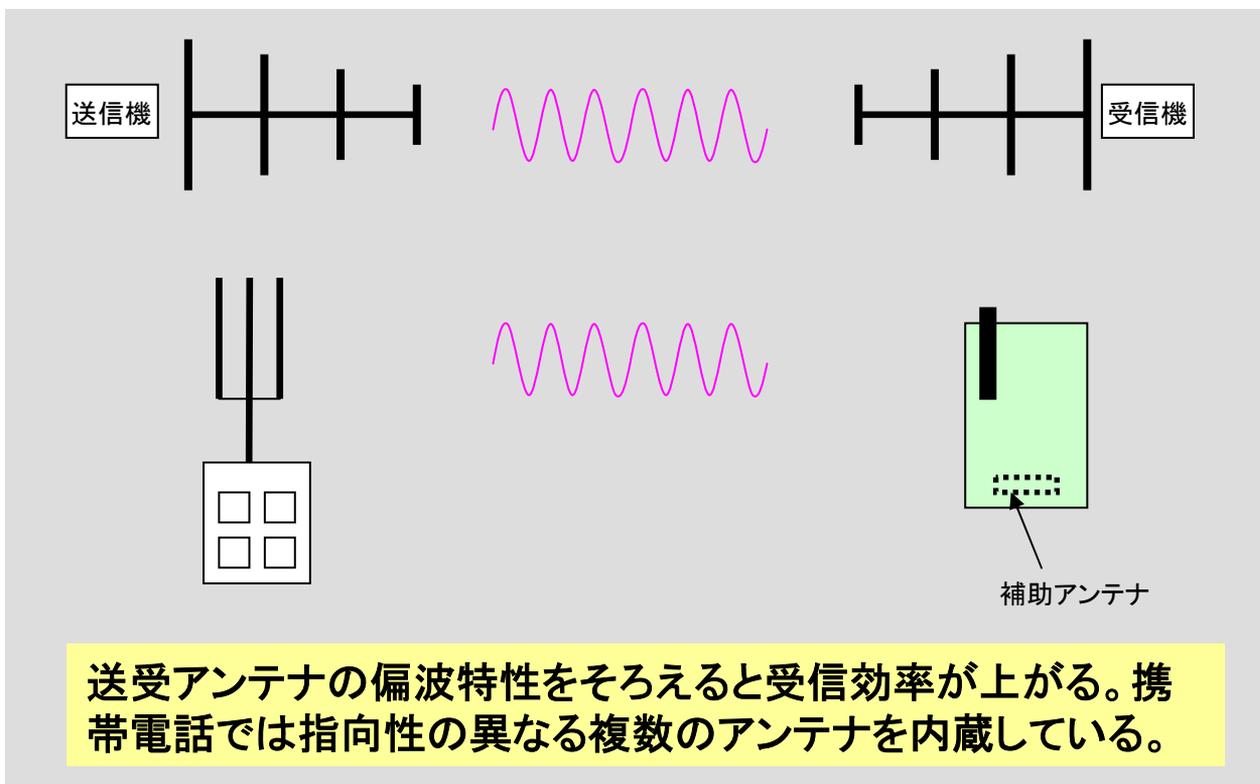
アンテナと偏波

電波の進行方向に対して、電磁界が特定方向に振動する電波を偏波という。光の場合の偏光にあたる。

電磁界の振動方向が一定である場合、直線偏波といい、電界成分の入射面に対する角度により、水平偏波と垂直偏波の2種に分けられる。(偏波面が回転する場合、円偏波という)

ダイポールアンテナを水平あるいは垂直にした場合に水平偏波、垂直偏波となり、送受アンテナの向きをそろえると最も受信効率が良くなる。

携帯電話の場合、基地局では設置場所の制限などから垂直型アンテナを使っている。そこで、端末はモノポールアンテナを立てて通信すると効率がいい。しかし、通話中には必ずしも垂直にはならないので、端末には通常、角度の違う2つ以上のアンテナを内蔵し、電波を合成することで送受信特性を高めている。





2. アンテナと電波

(10) アンテナのカバーエリア

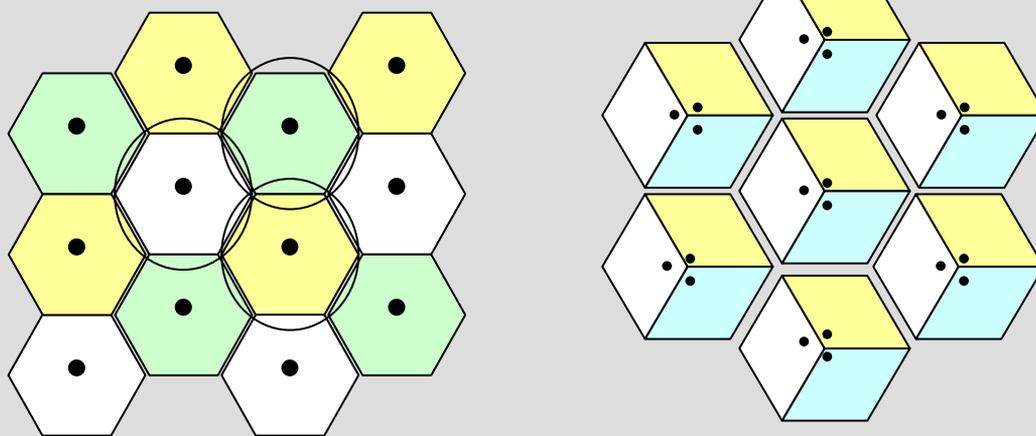
セルラーコンセプト

一つの基地局がカバーするエリアをセルという。一つの基地局が同時に通信できる端末は限られているが、セルを隙間なく配置することで、サービスエリア全体では極めて多数の端末に対してサービスできる。電波が弱まることを逆手にとっているとも言える。

同形のセルをもつ基地局を等間隔に設置して、平面を隙間なくカバーするには、セルの形状を六角形にすると、セル境界部分での電波の重なりが小さくてすむ。

都市部では、多数の基地局の設置場所確保が難しいので、互いに異なる方向に向けた複数のアンテナを1箇所にとめて設置する。この場合、1つのアンテナがカバーするエリアをセクターという。3本のアンテナにより、 120° ずつカバーする方式や、4本により 90° ずつカバーする方式が広く用いられている。

セルとセクター



隣接セルでは別の周波数を使うことにより、相互の干渉を避ける。セルを小さくすると、システム全体の同時利用者数を増加でき、端末の送信電力が少なくできるので電池が長持ちする。



2. アンテナと電波

(11) 基地局アンテナ

様々な場所に設置

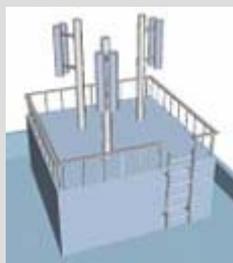
基地局アンテナには、建物など利用できる設置場所の制限や、カバーするエリアの広さや方向などにより、様々な形状がある。

都市部では、通常、高い建物の屋上に設置され、3方向あるいは4方向のセクターに向けられたタイプが多い。そのアンテナの内部には、半波長の長さを持つ多くの素子が垂直に並んでおり、合成することでビームをやや下向きに傾けている。

都市部では、駅の構内、地下道、デパートなど、屋外の基地局アンテナを直接見通すことができない場所でも携帯電話が多く利用されるため、小型の基地局アンテナが設置されている。

一方、地方や住宅地においては、専用のタワーを建て、その上にアンテナを設置している。複数の携帯電話会社が同じタワーを共用したものもある。

様々な基地局アンテナ



建物屋上

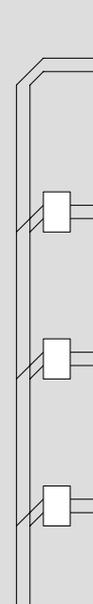


地下街天井



独立鉄塔

絵は日立ケーブルホームページより



垂直方向に並んだ多数のアンテナ素子を合成している



2. アンテナと電波

(12) 携帯端末のアンテナ

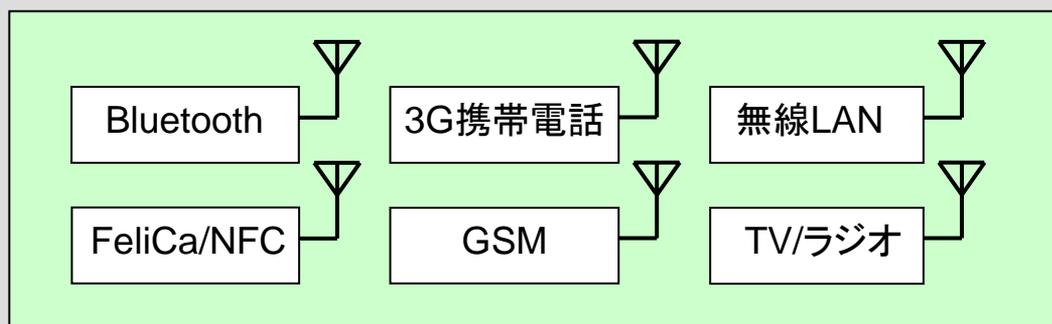
筐体内はアンテナの「林」

現在の高機能携帯端末の内部には、異なる周波数を利用する無線方式別に多くのアンテナが収容されている。

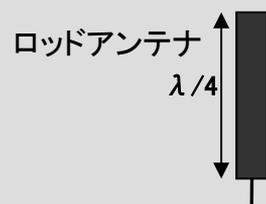
アンテナ素子を小型化するため、ループ型や折り曲げ型などもある。しかし、ワンセグTVなど低い周波数帯に対応するものは、波長の4分の1の長さを持つロッドアンテナが主流であるため、従来技術では小型化に自ずから限界がある。

次世代携帯電話方式では、MIMOと呼ばれるアンテナ方式への対応のため、端末内部に複数素子が搭載される見込みであるなど、更に多くのアンテナ素子の収容が必要となる。

そこで、携帯端末用のアンテナには、新しい素材や設計による飛躍的な技術革新が求められている。



ワンセグTV (470MHz~)では、4分の1波長は最大16cm



方式により周波数帯が異なるため、多数のアンテナを内蔵する。



2. アンテナと電波

(13) 電波の減衰

自由空間での伝播損失

アンテナから出た電波は、遠くではどの程度弱まるのだろうか。
まず、自由空間、すなわち、周囲に何も妨害するものがない空間を伝わる場合、送信電力(P_t)、送信、受信アンテナの利得(G_t, G_r)、受信機入力での受信電力(P_r)には次の関係がある。

$$P_r = (P_t \times G_t \times G_r) / L_p \text{ (フリスの伝達公式)}$$

ここで、 L_p は伝播損失であり、送受間の距離(d)と波長(λ)により

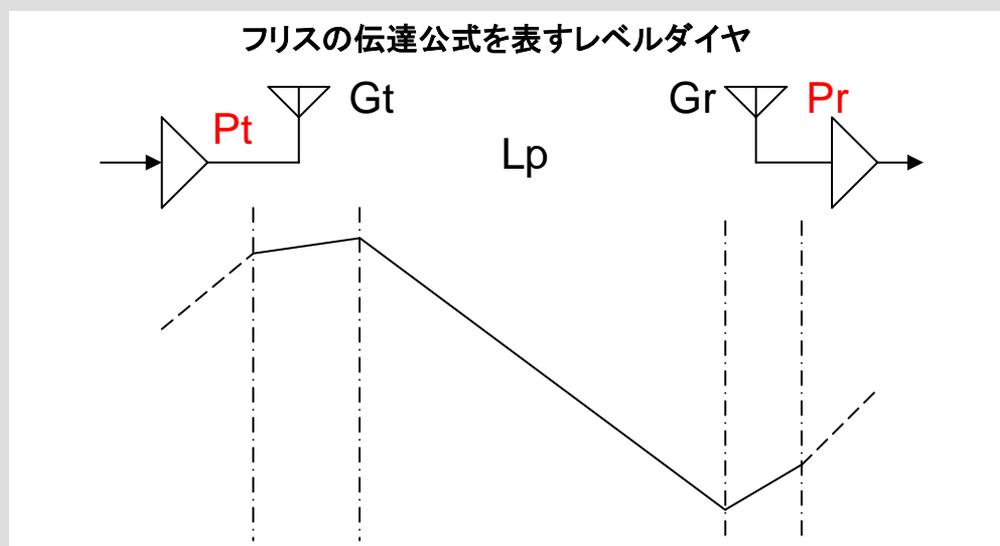
$$L_p = (4\pi d / \lambda)^2$$

となる。各項を対数(デシベル)で表し、波長 λ のかわりに周波数 f (MHz)、端末と基地局の距離 d をkmで表すと次になる。

$$P_r = P_t + G_t - L_p + G_r$$

$$L_p = 32.4 + 20 \log f + 20 \log d$$

上式のように、周波数が高くなると伝播損失は大きくなる。



送信250mw, アンテナ利得(送信0dB, 受信10dB), 周波数2GHz, 局間距離を1kmとすると、受信電力は-94dBm と小さくなる。なお、都市部では経験則によると、これ以上に減衰(距離の2乗でなく3.5乗に反比例)する。



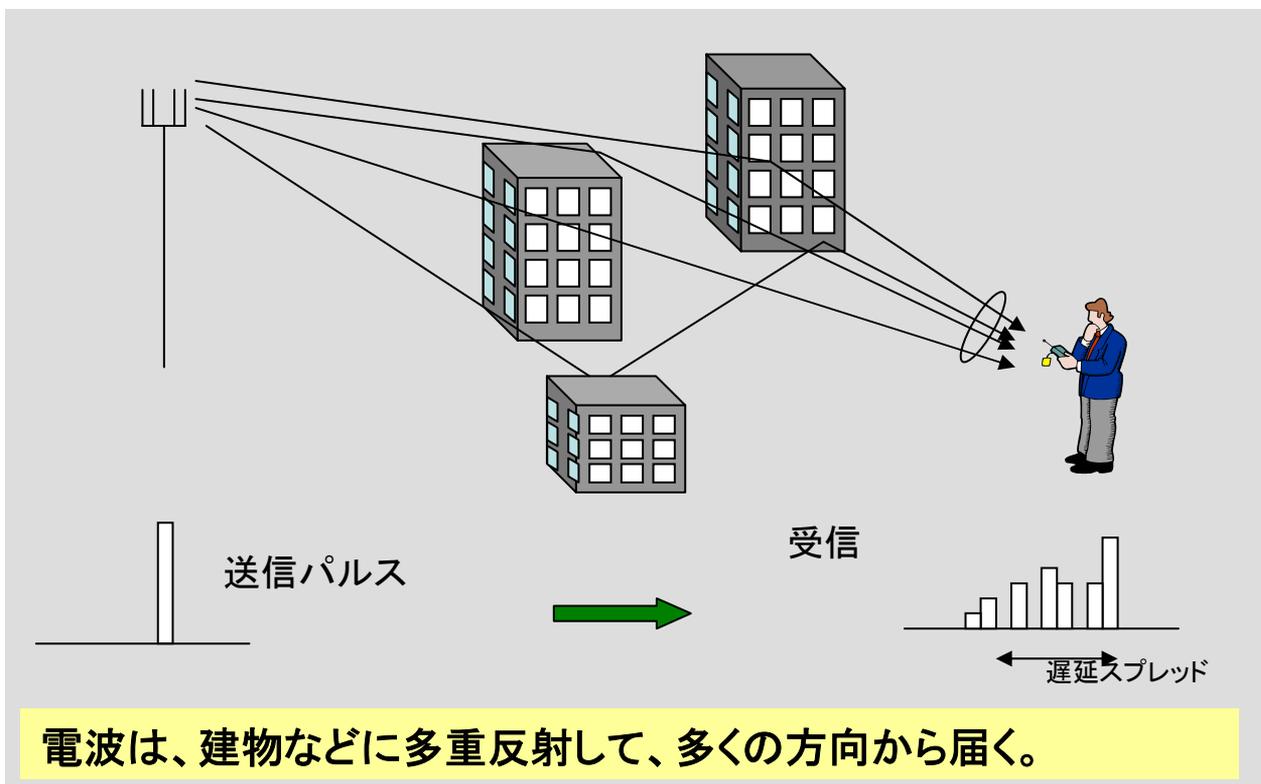
2. アンテナと電波

(14) 移動通信での電波伝搬

マルチパス

建物や樹木が多い都市部では、基地局と携帯端末の間には電波の伝わる経路〔パス〕が多数ある。建物の間を何度も反射を繰り返して到達する場合もある。このように多くの伝播経路があることをマルチパスと言う。

両者間を直線で結ぶ経路を通る直接波が最も早く受信アンテナに届くのに対し、反射波や屈折波は直接波より遅れて到達する。そこで短い時間幅のパルスを送信しても、マルチパスの効果により、受信信号は広がりを持つようになる。これを遅延スプレッドと言い、都心部では、1マイクロ秒程度、伝播距離に換算すると300mの時間差に対応する広がりとなる。





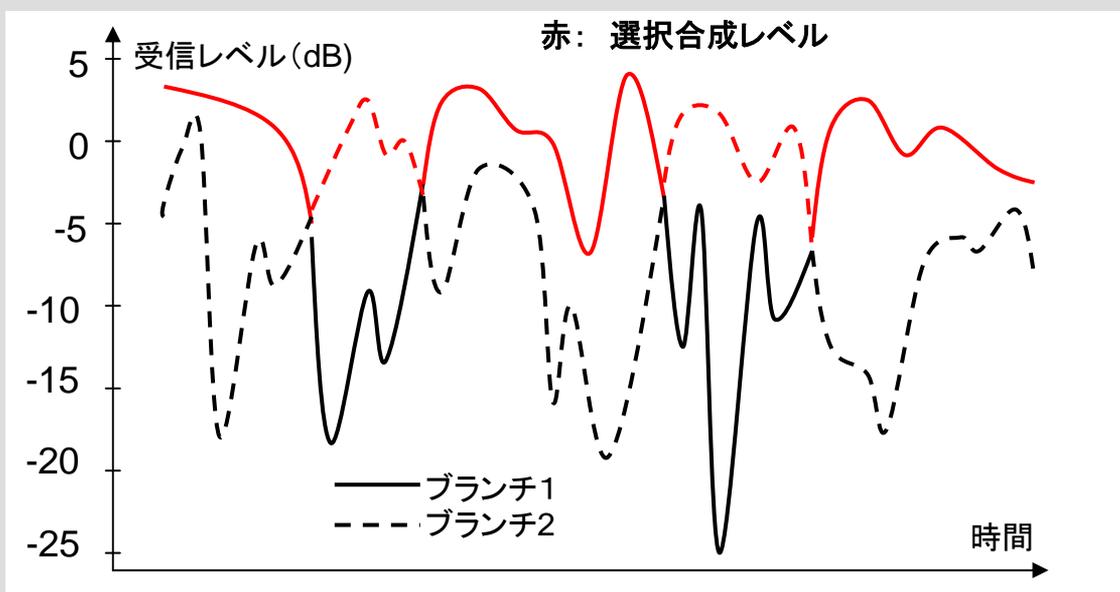
2. アンテナと電波

(15) フェージング対策

ダイバシティ

携帯電話では多数の経路を経た電波が重なって受信側に到達し、その電波の波長は数センチから数十センチであるので、端末の移動などにより、受信レベルは絶えず細かく変動するフェージング(マルチパスフェージング)が生じる。それぞれの電波が相互に打ち消すような形で合成されると、受信レベルは瞬間的に20dB(百分の1)や30dB(千分の1に)まで低下することもある。

そこで、フェージング対策として、2本のアンテナ素子を用い、その出力を合成するダイバシティが行われている。2つの素子を一定間隔以上の距離だけ離すと、それぞれの受信信号は無相関になることを利用している。送信側(受信側)のアンテナに2つの素子をもつ方式を送信ダイバシティ(受信ダイバシティ)と呼んでいる。



2つのアンテナ素子を一定距離以上離すと、両素子での受信レベルは同じように変化しないので、合成すると強くできる。



2. アンテナと電波

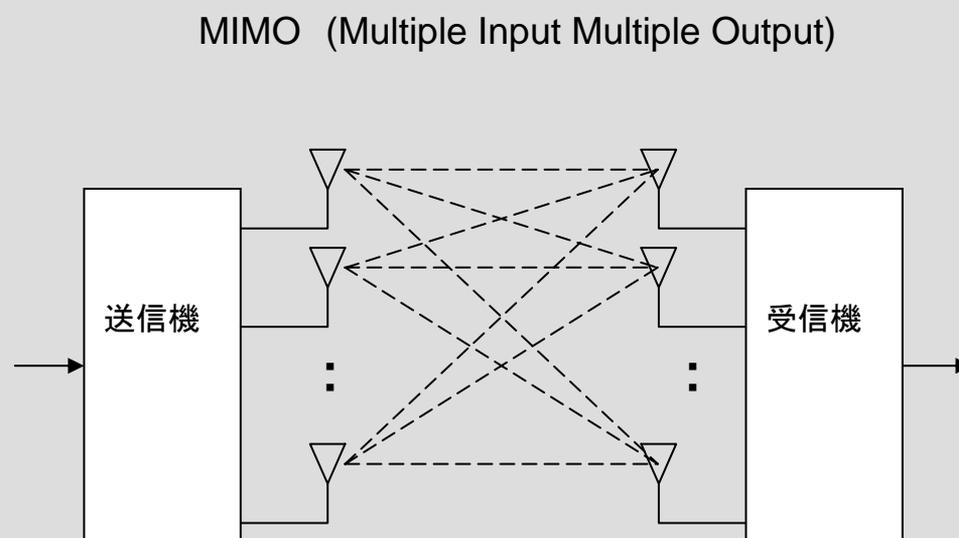
(16) アンテナの新技术

MIMO

MIMOは送信側と受信側に、それぞれ複数のアンテナ素子と送受信回路をもつことで、複数の独立した伝送路を作ることにより、高速化する(空間多重)技術である。

受信側では、各経路別の歪みを演算処理して合成することで元の信号をとりだす。高速演算処理が必要なため、従来は実現困難であったが、現在では回路の集積化で実現可能になった。

MIMOでは、同時伝送できる最大ストリーム数は、送受信アンテナの数のうち少ない方に等しい。例えば、MIMOを利用しない場合の通信速度を50Mbpsとすると、送信が3素子、受信2素子のMIMO利用では最大100Mbpsとなる。ただし、MIMOは干渉や雑音に弱いので、電波状態が悪い場合には、アンテナダイバーシティやビームフォーミングの方が効果が高くなる。そこで、これらの技術と組み合わせて使うのがいい。



管路を並列あるいは対角線上に並べて、水を送るようなもの。



2. アンテナと電波

(参考) デシベルとは

掛け算を足し算で考える

自然現象は掛け算で与えられることが多い。しかし、掛け算は計算が面倒であり、数値が大きくなってしまいうので、通信などの分野では、対数を使ったデシベルでの足し算に直して考えることが多い。

ある基準値Aに対するBのデシベル値 L_B は次で与えられる。

$$L_B = 10 \log_{10} \frac{B}{A}$$

ここで、 $\log(N \times M) = \log(N) + \log(M)$

なお、絶対値である dBW(デービーワット)は1W
dBm(デービーエム)は1mW のこと

アンプの例

入力 → → → → 出力

x 50 x 100 x 20 (=100000)

17dB +20dB +13dB (= 50dB)

倍率(比)	dB
1	0
2	3.0
3	4.8
5	7.0
10	10
20	13.0
50	17.0
100	20
500	27.0
1000	30
10000	40

ヘンミ計算尺株式会社
ホームページより

計算尺は、対数を用い掛け算を足し算に直して計算するもの



3. デジタル通信と信号処理

(1) デジタル通信の長所

すべての情報を0と1にして送るデジタル通信

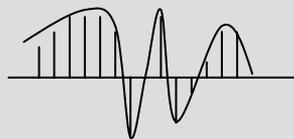
第1世代携帯電話では、電話音声信号の連続的な波形を、そのままの形で送るアナログ通信だったが、第2世代からは、音声信号を含む全ての情報を0と1のビット列に変換して伝送するデジタル通信方式である。デジタル通信が優れているのは、

1. 受信側では、0か1のいずれかが送られたかを判定すればいいので、ノイズ(雑音)の影響を受けにくい。
2. 文字や画像などのあらゆる情報を送ることができる。
3. コンピュータや半導体技術を使って、ハードやソフトによる複雑な演算、高速処理、大容量記憶が可能となる。

デジタル通信では通信に先立って、本来アナログ信号である音声や画像を0と1のビット列に変換したり、漢字などの文字も2進数のコードで表す情報源符号化が行われる。

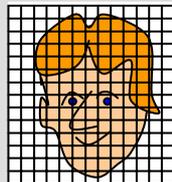
情報源符号化

音声



一定間隔時点での信号レベルを2進数値で表す。

画像



たて横のマス目(画素)ごとの色や明るさを2進数値で表す。

文字

「A」 → 「100001」 2進数の文字コードで表す。

文字も音声も画像も全てデジタル化して0と1のビット列にして送る



3. デジタル通信と信号処理

(2) 情報源符号化

サンプリング(標本化)

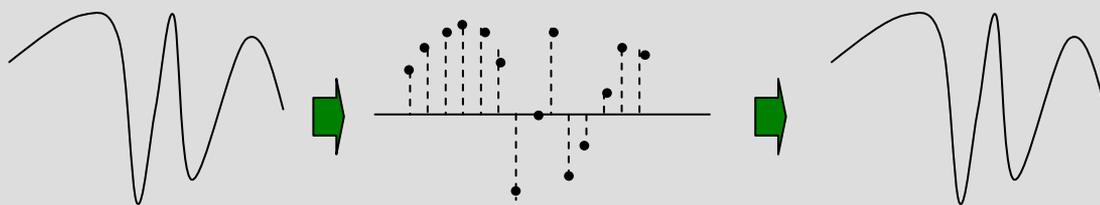
デジタル通信の受信側は、0/1のビット列から音声や画像という元のアナログ信号に戻すことになる。この復元が正確に行われるように、送信側はサンプリング定理に基づく処理を行う。

サンプリング定理とは、信号の最高周波数の2倍以上の時間刻みで読み取った信号レベルの離散情報があれば、受信側はそれをもとに、原信号を完全に復元できるというもの。

電話音声では最高周波数は3.4KHzであるので、8KHz、すなわち、125マイクロ秒ごとの信号レベルを数値化すると受信側で復元できる。数値化のビット数は、雑音レベルやダイナミックレンジとの関係で決められ、固定電話の場合、8ビットにしている。

ところで、人間の耳は20KHz程度までの高い音を聞き分けることができるため、音楽CDでは、この2倍以上の周波数にあたる44.1KHzでサンプリングしてデジタル記録している。

サンプリング定理



一定間隔の時点での信号レベルを2進数値で表す。

信号の最高周波数の2倍以上の周波数でサンプリングすれば、元の信号を復元できる。



3. デジタル通信と信号処理

(3) 音声符号化

携帯電話は固定電話と符号化方式が異なる

固定電話では、音声レベルを8KHzの周期で各8ビットにデジタル化するので、そのビットレートは、64Kbps (8bit x 8KHz)になる。

一方、無線チャネルの伝送容量が限られている携帯電話では、人間の声の特徴や耳の特性を利用し、高度なデジタル処理を行うことで、大幅にビットレートを落とすことのできる符号化を行っている。

PHSでは、波形符号化の一種であるADPCM方式を用い、サンプリング時点での音声レベル変化を符号化している。一般に波形符号化方式の音質は高いが、大幅な低レート化は困難である。

LPCは音素ごとのコードを送り、受信側で音素を復元・合成する方法であり、自動アナウンスや読み上げソフト等での技術に近い。

現在の多くの携帯電話では、音波形のエンベロープと音素コードの両方を用いるハイブリット方式を用い、通信環境や発声状況に応じて、そのビットレートを変化させている。

方式	分類	ビットレート(Kbps)	主な用途
PCM	波形符号化	64	固定電話
ADPCM		32	PHS
LPC	分析合成 符号化	2.4-4.8	
VSELP	ハイブリット 符号化	11.2	PDC
EVR (SMV)		8 (1~8)	CDMA One (CDMA2000)
AMR		12.2 (4.75 ~ 12.2)	GSM,W-CDMA

人間の声に最適化しているため、それ以外の音(周囲音や音楽など)は歪みが大きく品質が悪い。



3. デジタル通信と信号処理

(4) チャネル多重化

FDMとTDM

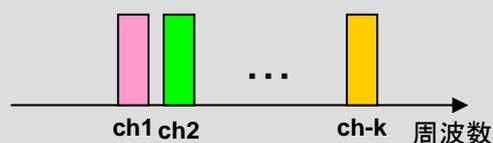
一本の伝送路を分割して使用することで、複数の通信路(チャンネル)を作ることを多重化という。この多重化の方法には大きく分けてFDM(周波数分割多重)とTDM(時分割多重)の2種類がある。

FDMは、TVやラジオの放送の電波、ケーブルTVでのTV放送のように、周波数別にチャンネルを設けるものである。一方、TDMは同一の有線伝送路あるいは同一周波数の無線伝送路を、時間で区切って共有するものであり、デジタル通信と相性がよい。

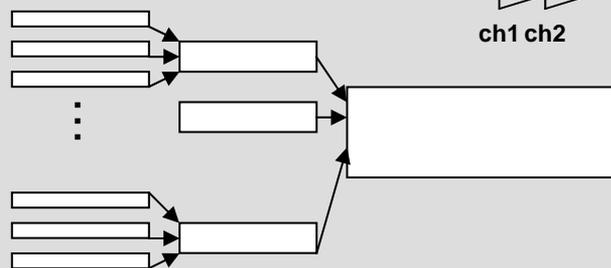
多数の細い道路が何段にも合流して幹線道路になるように、コアネットワークの基幹伝送路では、TDMやFDM方式を用いて、極めて多数のチャンネルが設定される。

なお、光ケーブルでは、異なった波長(周波数の逆数)の光によりチャンネルを多重化するWDM(波長多重)が利用されている。

FDM (Frequency Division Multiplex)



TDM (Time Division Multiplex)



FDMやTDM方式により、細い伝送路を段階的に束ねていくことで、太い伝送路が作られる。



3. デジタル通信と信号処理

(5) 同期

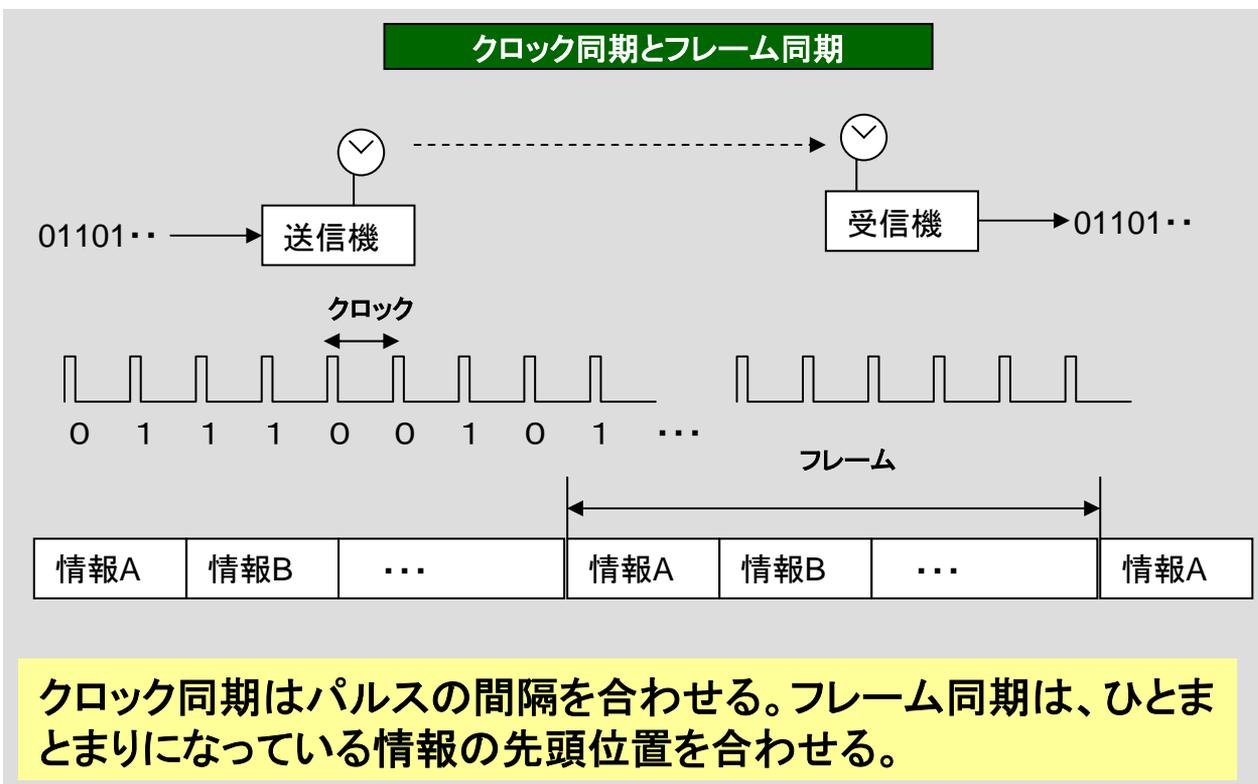
クロックとフレーム

デジタル通信の場合、送信側と受信側は、0と1のパルス列をやりとりするタイミングを正確に合わせる必要がある。これを同期という。この同期には、大きく分けてクロック同期とフレーム同期の2種類がある。

クロック同期は、個々のパルスの最小間隔を合わせるもの。受信側は、パルスが送信されるクロック(時計)と同じ時間周期で、受信波上での0/1の判定を行うことで、信号を取り出す。

フレーム同期は、パルス列の先頭位置を合わせることをいう。フレームとは、ビット数と順序により各情報の意味が定義されたデジタル情報の組のことである。受信側は、フレーム同期をとることで、0/1のビット列から、もとの情報を組み立てることができる。

受信側での同期が容易になるように、特別なチャネルを用意したり、フレーム先頭に同期確立用のビットを付加することが多い。





3. デジタル通信と信号処理

(6) チャネルの双方向化

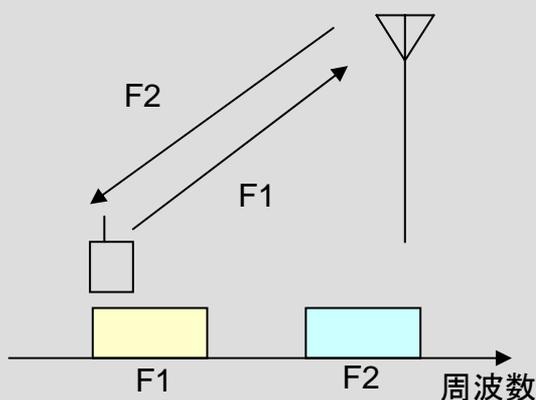
FDDとTDD

無線通信で、通信相手と同時に送受信できるように双方向のチャンネルを設ける方式としてFDD(周波数分割複信)とTDD(時分割複信)がある。

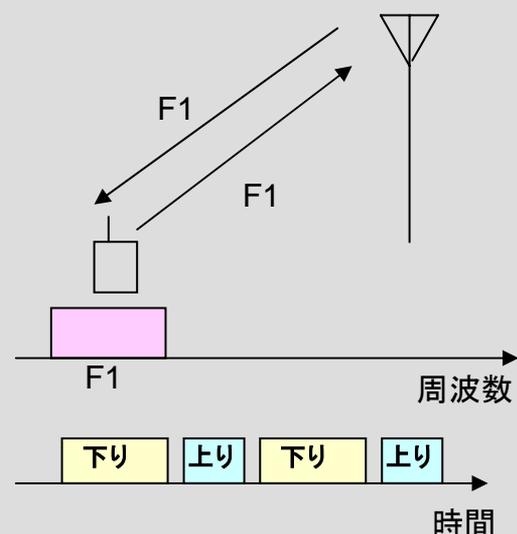
FDDは、上りと下りに別々の周波数帯を使用する方式である。周波数が十分離れていれば互いの電波が干渉なく使え、簡単に実現できるので、現在、多くの方式で用いられている。その際、上りと下りには同じ帯域幅が割り当てられるが、データ通信などでは上下方向の通信需要が異なるため、電波の利用効率が悪くなる。

TDDは、同じ周波数帯を時分割で交互に切り替えることで、上下回線を共用する方式であり、PHSやWiMAXが用いている。TDDでは、上下方向の通信需要に合わせて時間間隔を設定することで電波利用効率を上げることができるが、全局が送受切替えタイミングを合わせるなど、FDDより高度な設計・管理を必要とする。

FDD (Frequency Division Duplex)



TDD (Time Division Duplex)



TDDでは、一定の短い時間間隔で、ウォークトーカーのように、同じ周波数の電波を送受切り替えて使用する。



3. デジタル通信と信号処理

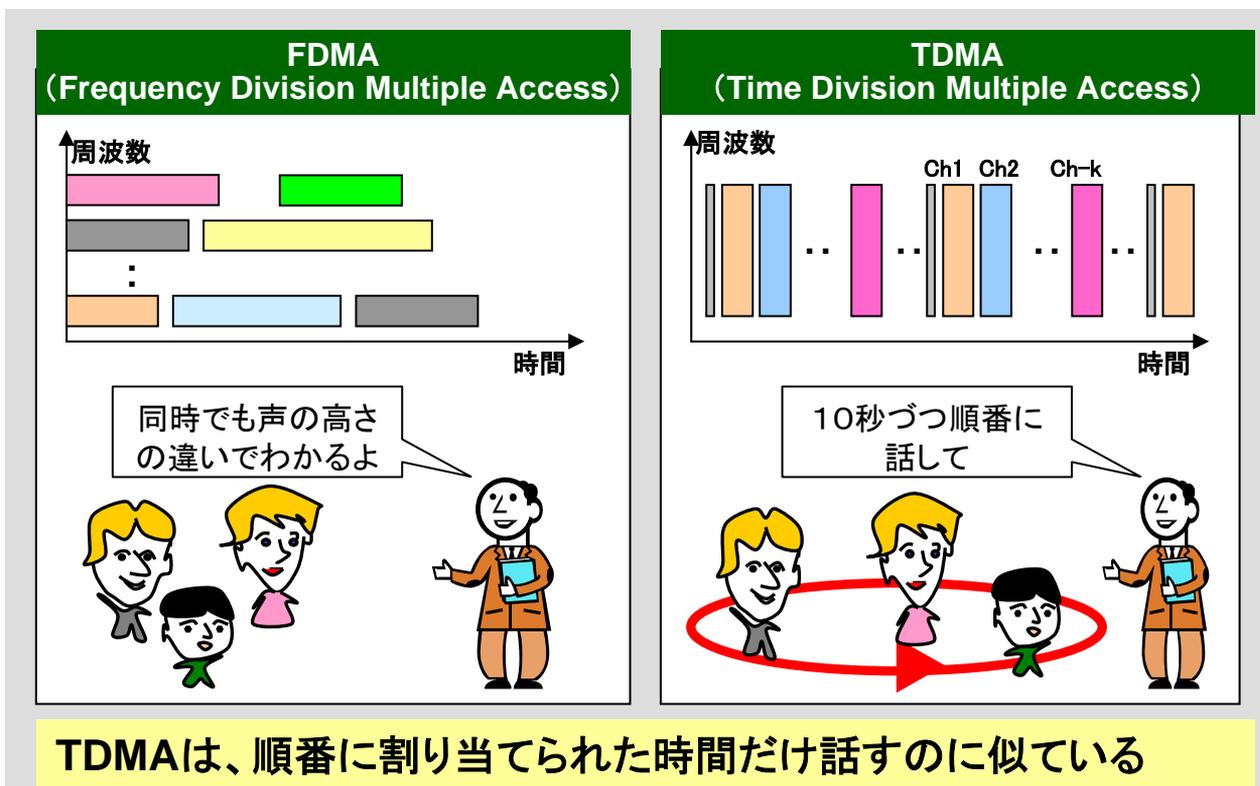
(7) 多元接続方式(1/2)

FDMAとTDMA

多元接続(マルチプルアクセス)とは、同時に複数の相手との通信を可能にすること。

第1世代のアナログ方式では、多元接続方式としてFDMAが使用された。FDMAでは、通信ごとに基地局が異なる周波数帯域を割り当てる。基地局側でチャンネル毎に多数の変復調器が必要であること、(デジタル化も可能だが、)多様なチャンネルの柔軟な収容が困難であり、周波数利用効率が悪いのが欠点だった。

これに対して、第2世代では個々の通信に短い時間(タイムスロット)の単位で順番に繰り返し割り当てるTDMAが使用されている。TDMAでは、基地局の変復調器を1つにできること、音声・データの両方を多重できるのでデジタル通信と相性がいいことから、現在、世界ではGSMの多元接続方式として、最も広く利用されている。





3. デジタル通信と信号処理

(8) 多元接続方式(2/2)

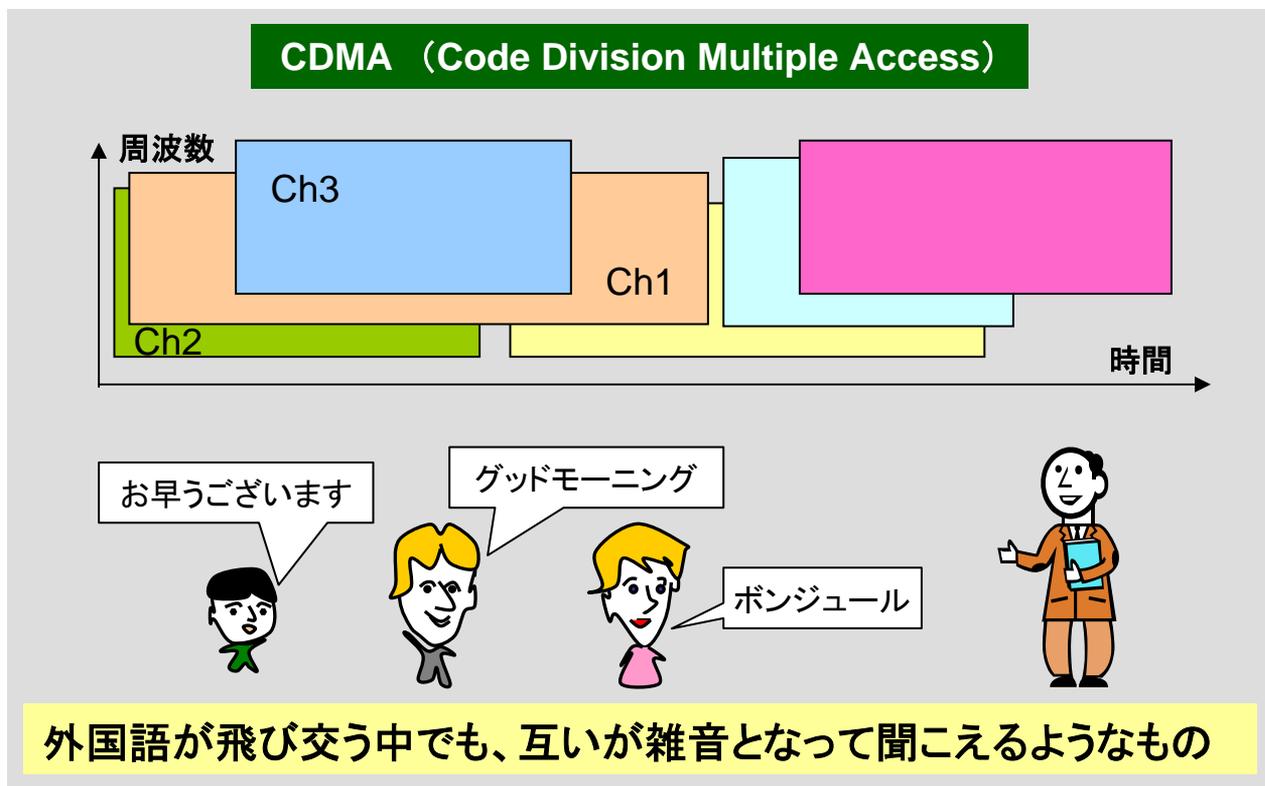
CDMA

第3世代では、W-CDMAとCDMA2000の多元接続方式としてCDMAが利用されている。

CDMAの変調方式はスペクトラム拡散方式と呼ばれ、軍事用暗号通信から民生用に発展した技術である。回路が複雑なため実用化が難しかったが、近年、デジタル信号処理技術の進歩により実現可能になった。

CDMA方式では、個々の通信に異なるコード(拡散コード)を割り当て、これを送信情報に掛け合わせて広い帯域にスペクトラムを拡散させて送信する。多数のユーザは同時に時間と周波数を共有するが、各々の拡散コードが異なるため、相互は雑音のように扱われる。

CDMAには、①周波数利用効率の改善、②近接セル間で同一周波数の利用が可能 ③レイク受信やソフトハンドオーバーが可能などの長所がある。





3. デジタル通信と信号処理

(9) 変調

情報を電気信号に乗せる

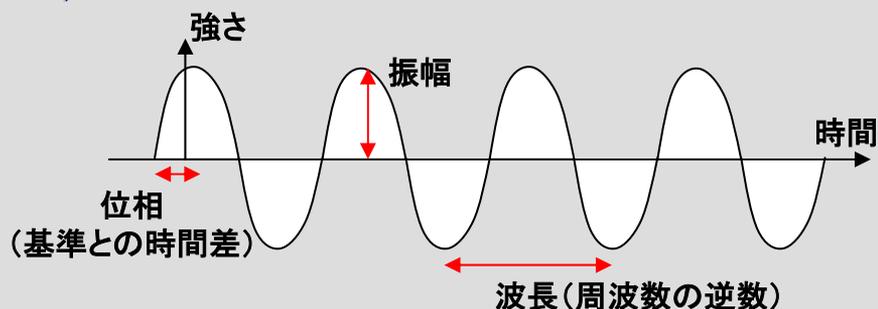
通信分野では、変調とは、情報の伝送や記録のために、媒体(メディア)の電気的特性の一部を、情報に対応させて変化させることを言う。たとえば、「のろし」や手旗信号も、遠くに情報を伝えるという意味では、広義の通信であり、煙のありなし、手旗の方向を情報に対応させて「変調」しているといえる。

アナログの電気通信では、正弦(サイン)波の3つの成分(振幅、周波数、位相)のいずれかを、情報に対応させ連続的に変化させるので、それぞれを振幅変調(AM)、周波数変調(FM)、位相変調(PM)という。

デジタル通信では、振幅、周波数、位相を、0か1かの2値に対応させて変化させるので、電鍵を叩くことに由来するキーイングという言葉を用いて、それぞれASK, FSK, PSKと呼んでいる。



ASK: Amplitude Shift Keying (振幅偏移変調)
FSK: Frequency Shift Keying (周波数偏移変調)
PSK: Phase Shift Keying (位相偏移変調)



送信したい情報に合わせて電流や電波の振幅、周波数、位相のいずれかを変化させる。



3. デジタル通信と信号処理

(10) 変調波の時間波形

PSK

変調される高周波のことを情報を乗せて運ぶ波という意味で、搬送波(キャリア)と呼ぶ。

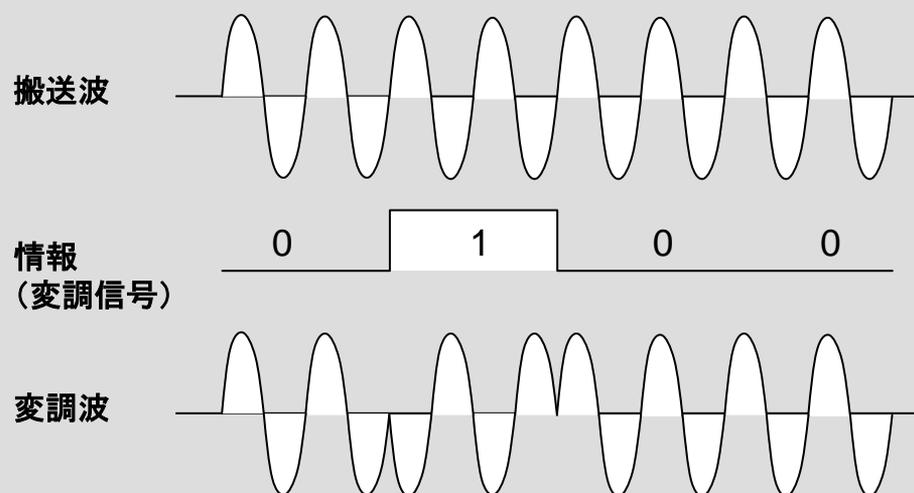
デジタル変調方式のうち、最も基本的で広く使われているのがBPSK(2相PSK)であり、情報の0と1に、搬送波の位相を0度変化(変化なし)、あるいは180度だけ変化させる。ここで位相とは、基準となる搬送波に対する時間軸上のずれのことである。

電気回路上では搬送波(の電流や電圧)は次のように表される。

$$A(t) = A \sin(\omega_c t + \Phi)$$

ここで、Aは振幅、 ω_c は角周波数($2\pi \times f_c$)、 Φ は位相を示し、BPSKでは、0または π (180°)のいずれかの値をとる。

BPSK(Binary Shift Keying) の時間波形



BPSKは、0/1の信号に対応させて、搬送波の位相を 0° (変化なし)、または 180° 変化(波形を反転)させる。



3. デジタル通信と信号処理

(11) 変調波の2次元ベクトル表記

コンステレーション

ω_c の角周波数をもつ正弦波は、互いに90度位相のずれを持つsinとcosの2つの成分に分離できる。(三角関数の加法定理)

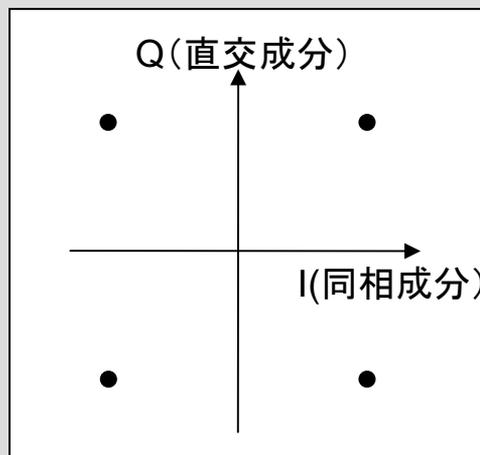
$$A(t) = A \sin(\omega_c t + \Phi) = A \cos \Phi \sin \omega_c t + A \sin \Phi \cos \omega_c t$$

ここで、 $\sin \omega_c t$, $\cos \omega_c t$ の係数部分が情報によって変化する部分となる。そこで、より一般的に、

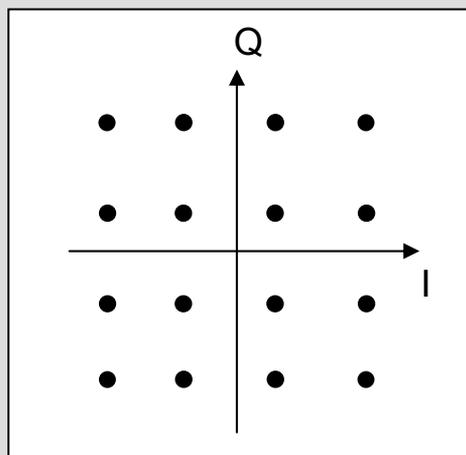
$$A(t) = I(t) \cos \omega_c t + Q(t) \sin \omega_c t$$

と表し、 $I(t)$, $Q(t)$ の組を2次元空間上に表すと、変調信号の時間的な遷移を示すことができる。これを星状配置(コンステレーション)という。 $(I(t), Q(t))$ として、 $(1, 1)$, $(1, -1)$, $(-1, -1)$, $(-1, 1)$ の4点のコンステレーションをもつものがQPSKである。

コンステレーション



QPSK



16QAM

I, Qに、-3, -1, 1, 3のような多値を対応させる場合、QAMという。コンステレーションはシグナルアナライザ画面で観測できる。



3. デジタル通信と信号処理

(12) 変調とスペクトラム(1/3)

音声のスペクトラム

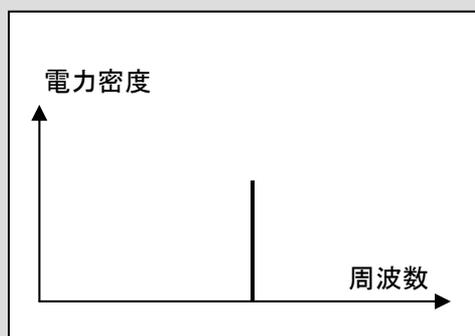
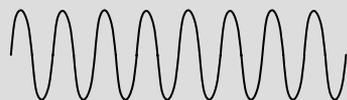
ある周波数の正弦波(サインウェーブ)を、スペクトルアナライザの画面上で見ると、一本の線になる。(線スペクトル)

ここで、横軸は周波数、縦軸は波の強さ(振幅)に対応している。

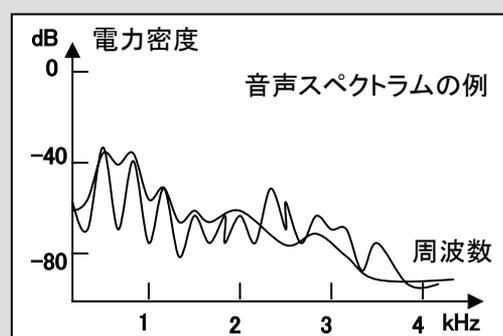
一方、音や光のような自然界での一般の波は、周波数が異なる多数の正弦波が合成されたものであり、周波数軸上では、広がりをもった連続的な分布をする。これをスペクトラムという。

例えば、声では低音から高音、可視光は赤から紫までの色が連続的に交じり合っている。

声の場合、人間の耳は鳥の鳴き声など約20kHzまでの音を聞き分けられることができるが、人間の声は3kHz以下の周波数成分が強い。そこで、電話では、300Hz-3400Hzのスペクトラムのみを送っているが、会話には十分な音質となっている。



正弦波は1本の線スペクトルになる。



声のスペクトラムは4kHz以下が支配的

測定器(シグナルアナライザ)上で観測できる。



3. デジタル通信と信号処理

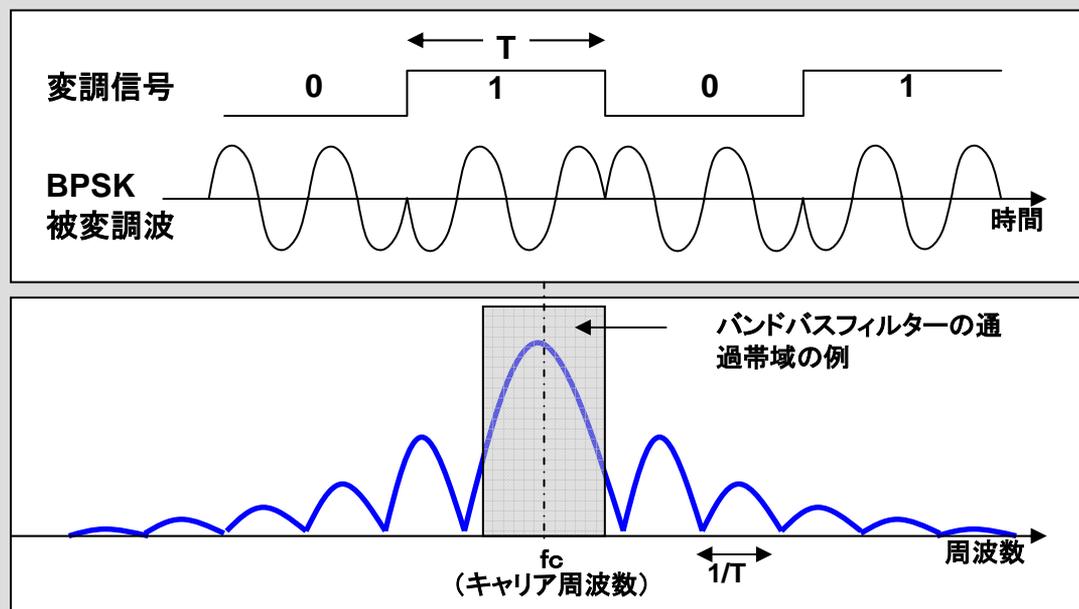
(13) 変調とスペクトラム(2/3)

パルス列のスペクトラム

パルス列で位相変調された波のスペクトラムは、下図のような形になり、次のような特徴がある。

- ① 中心周波数の部分が最も高い。
- ② 中心周波数の両側に対称に無限に広がっている。
- ③ 強さがゼロになる周波数が周期的に現れ、その周波数間隔は、変調周波数(パルス幅の逆数)に相当する。

パルス列のスペクトラムは無限に広がっているため、そのまま送信すると、隣接した周波数を使う他の無線局に妨害を与えてしまう。そこで、バンドパスフィルターを通して両側の成分をカット(帯域制限)してから送信する。帯域制限することで時間軸上でみた信号波形は多少変化するものの、信号電力はキャリアの中心周波数周辺に集中しているため、受信側での受信特性に与える影響は小さく抑えられる。



パルス列のスペクトラムは、パルス幅の逆数の周波数間隔ごとに振幅ゼロ点をもつ。



3. デジタル通信と信号処理

(14) 変調とスペクトラム(3/3)

スペクトラム拡散

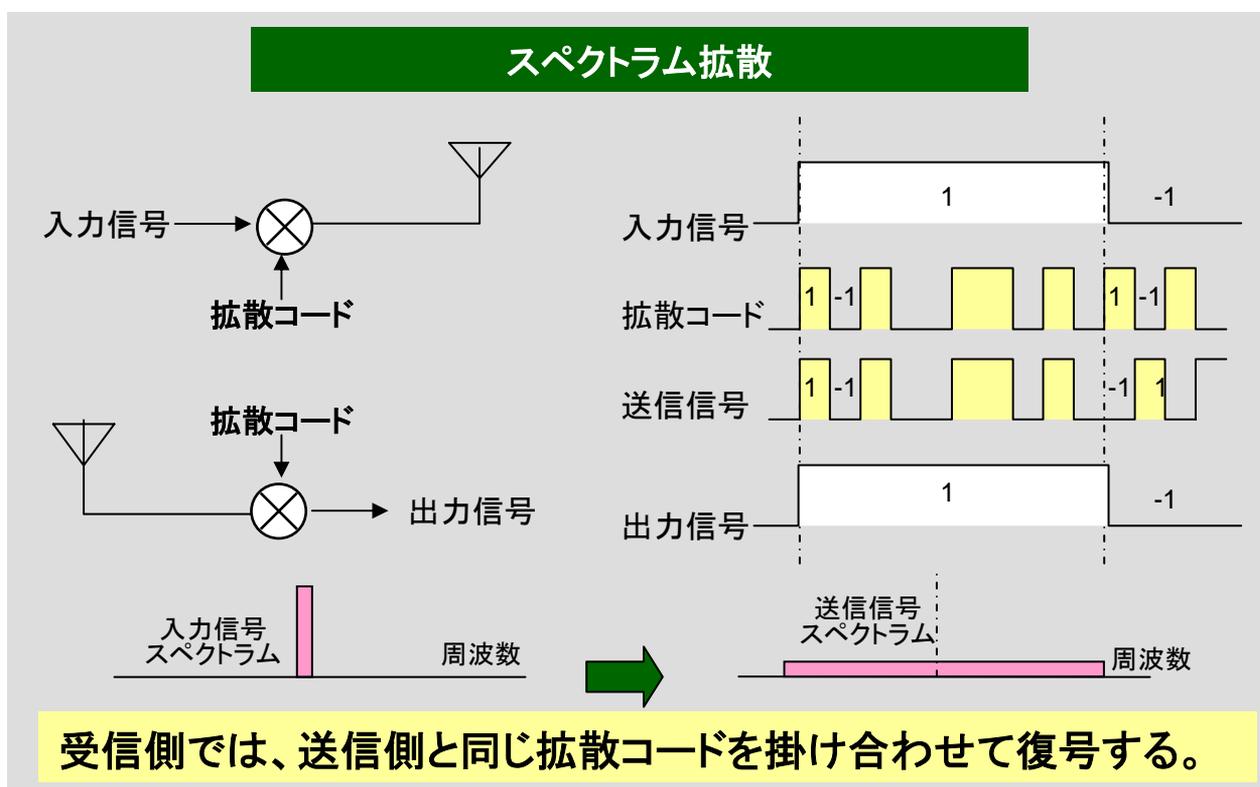
第3世代の携帯電話では、CDMAと呼ばれる多元接続方式が使われている。

CDMAでは、送信符号に送信符号のパルス周期に比べて非常に短いパルス周期をもつ拡散コードを掛け合わせて送信する。

一方、受信側は、同じ拡散コードを掛け合わせる逆拡散を行うことで元の信号が復元される。それは、 1×1 , $(-1) \times (-1)$ はいずれも1になるからである。

拡散コードは、異なる通信チャネル毎に別のコードが割り当てられ、互いの拡散コード間の相関は非常に少ないため、別の拡散コードで拡散された信号が重畳しても互いは雑音のように働く。

このように、微小電力を広い周波数帯域に拡散するので、CDMAの変調方式はスペクトラム拡散方式とも呼ばれる。





3. デジタル通信と信号処理

(15) 符号誤り

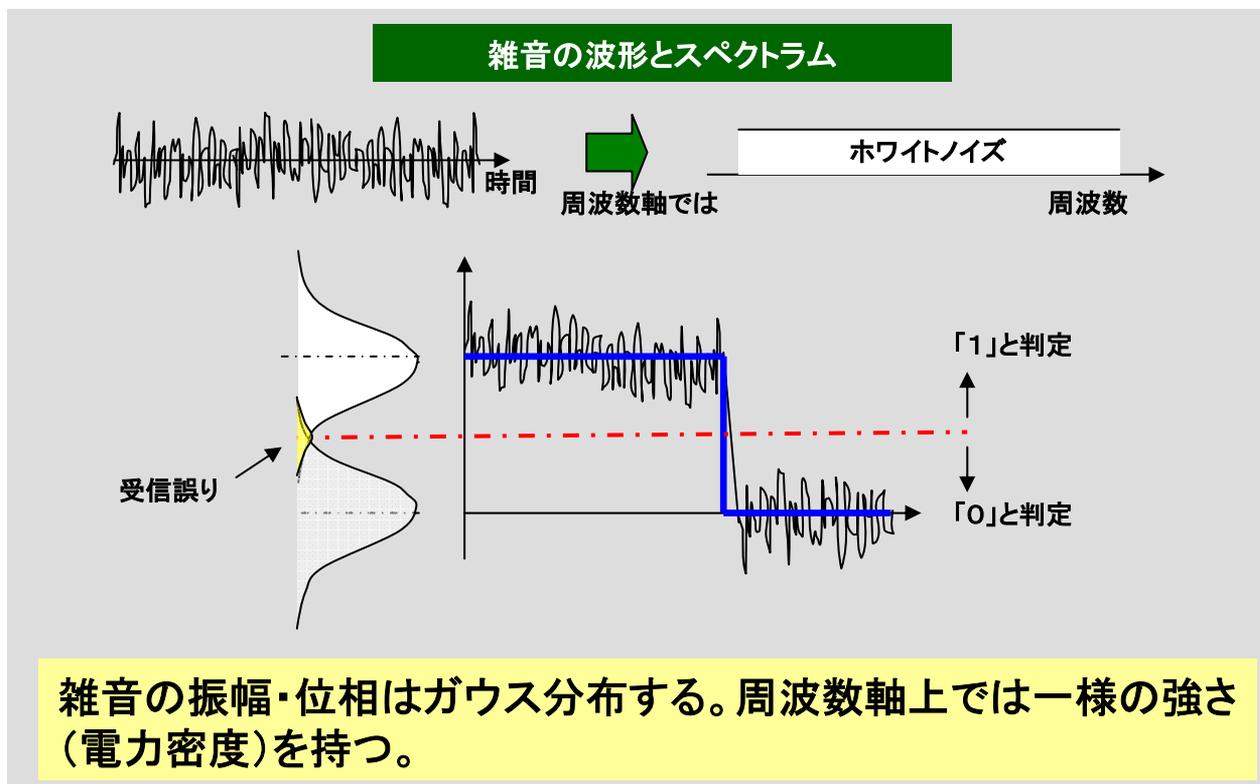
なぜ誤りが起こるか？

受信機でなぜ誤りが起こるのだろうか。

それは、送信機や受信機内部で信号波形が歪んだり、マルチパス伝播の結果、隣同士の符号が重なり合うことでも発生するが、一般には、様々な雑音(ノイズ)が混入するからである。

自然界では地上の物体や外部の天体が極めて微弱な電波を出している。また、受信機自身も熱を持つので、熱雑音と呼ばれる雑音が発生する。

受信機入力では、それらの雑音が信号の位相や振幅に重畳する。色々な光が交じり合うと白色になることに例えて、このような雑音は白色雑音(ホワイトノイズ)と呼ばれる。白色雑音の瞬時の振幅や位相は、ガウス分布で表される確率分布となるので、復調器は、この確率で誤った判定を下すことで符号誤りが発生する。





3. デジタル通信と信号処理

(16) 符号誤り特性

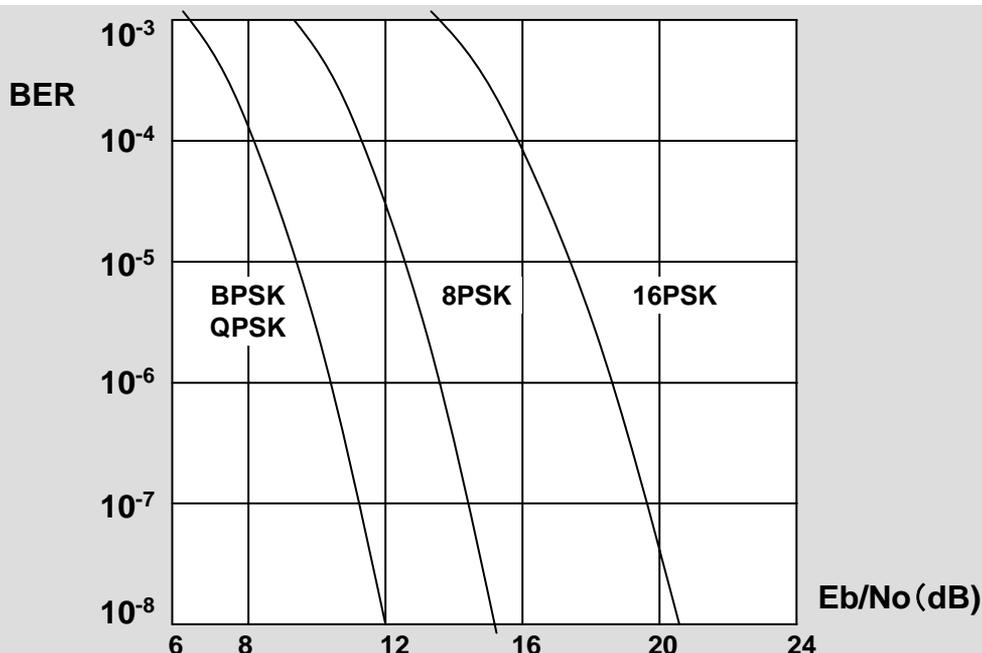
BER特性

全ビット数に対する符号誤りビットの割合をBER (bit error rate: ビット誤り率) といい、通常、10の指数を用いて表す。例えば、伝送路のBERが 10^{-6} とは、 10^6 ビット、すなわち100万個のうち1個の割合でビット誤りがあることをいう。

各種デジタル変調方式のBERは、変調された信号の電力と、雑音電力の比で決定され、信号電力を増加するとBERは減少する。

BER特性(下図)では、普通、横軸を1ビットあたりの信号電力と1 Hzあたりの雑音電力の比(E_b/N_0)に対して表す。

BPSKとQPSKは、最も優れたBER特性を有するので、携帯電話の上り回線のように、送信電力が限られる場合などに適している。一方、多値変調はBER特性は劣るが、信号電力の増加によりBERが改善できるので、下り回線に向けた方式といえる。



QPSKは正弦波と余弦波という互いに独立した2つの搬送波にBPSK変調を行うとみなせるので、BPSKと同じBER特性をもつ。



3. デジタル通信と信号処理

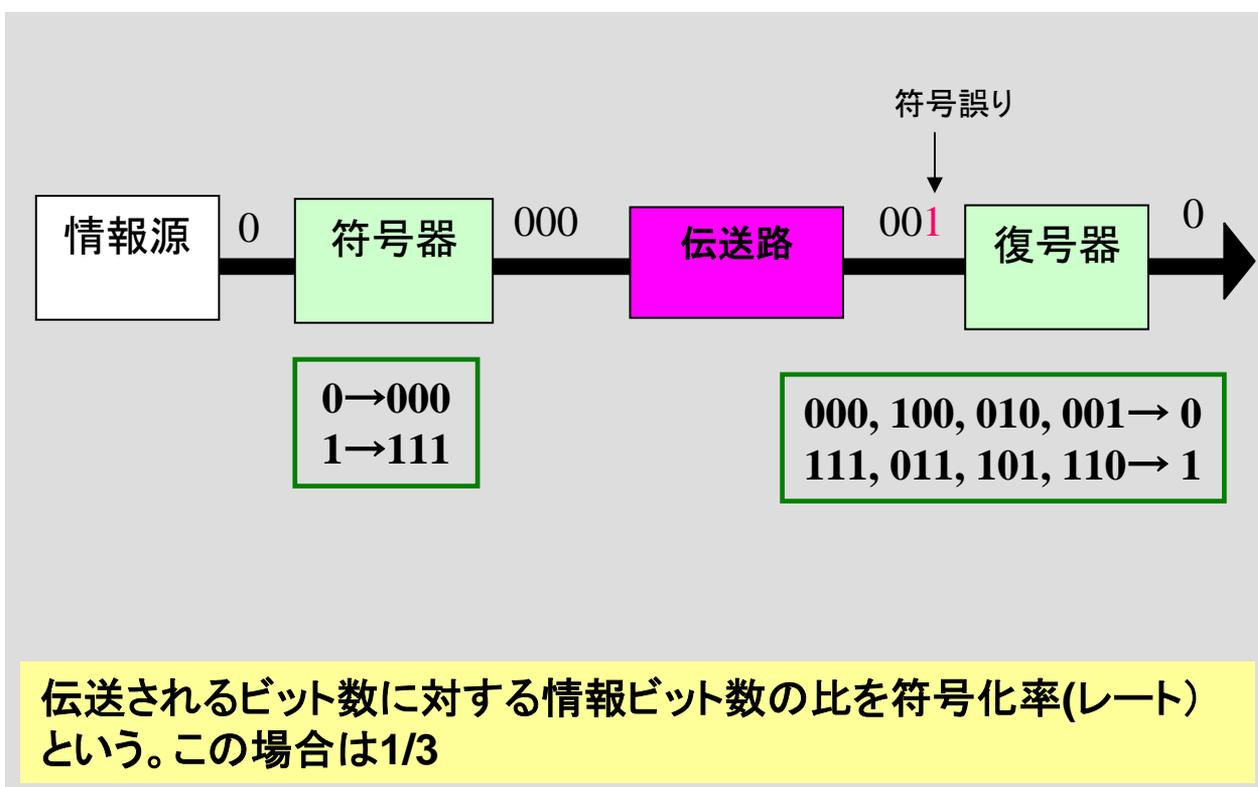
(17) 誤り制御(1/4)

誤りの検出と訂正

デジタル通信では、通信中の符号誤りをゼロ、又は極力少なくする必要がある。しかし、実際の伝送路では符号誤りが起こるので、これを検出・訂正する処理として、FECやARQなどが行われる。

FEC(Forward Error Correction)は、予め決められた規則で、受信側が誤りを検出や訂正できるように、余分のビットを付け加えて伝送する方式である。この方式は、後述するARQと異なり、逆方向のチャネルがなくても、一方向だけで動作する。

FECの最も単純な例は、元の情報ビットを3度繰り返し伝送する方法である。受信側は、3ビットの多数決により、0/1を決定する。下の場合、“111”の先頭2ビットが誤った場合も同じ“001”となるが、“000”が“001”に誤る確率の方が大きいので、「0」が送信されたものと判断する方が誤り率を改善できる。





3. デジタル通信と信号処理

(18) 誤り制御(2/4)

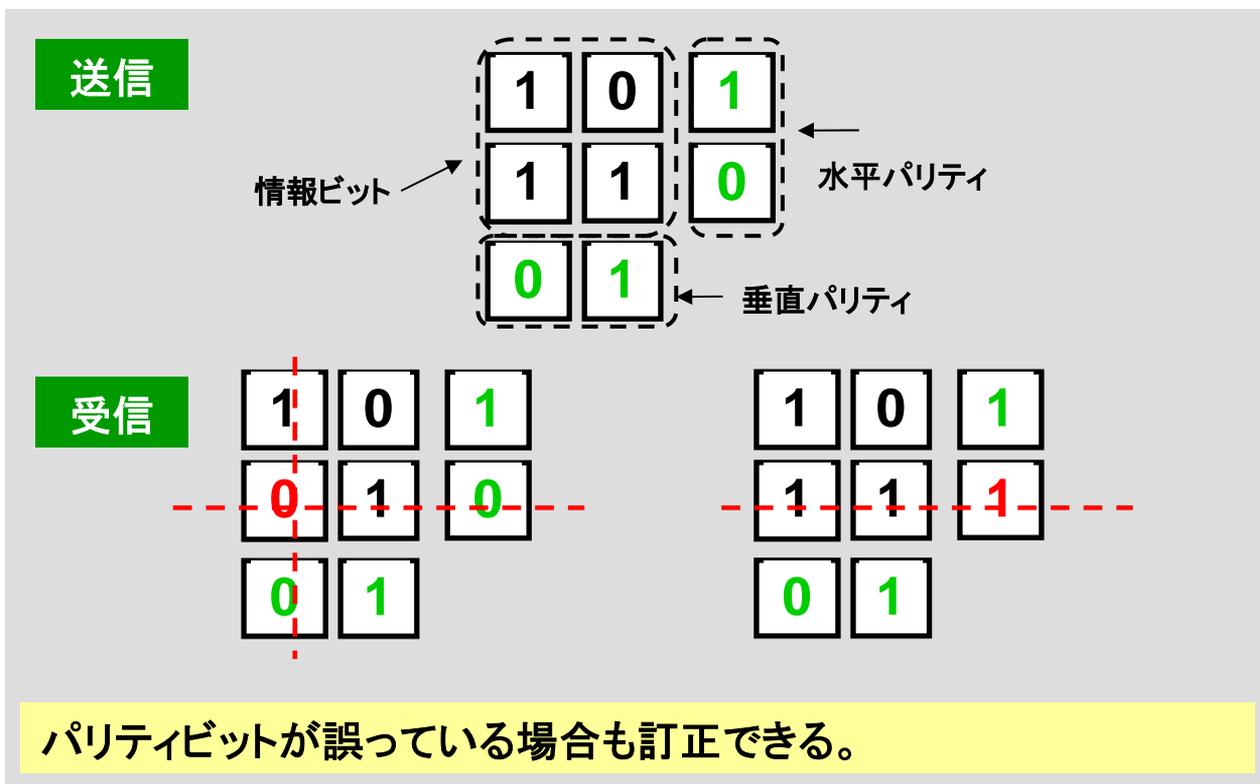
パリティ

記憶装置への記録の際などに用いられているパリティも誤り検出・訂正符号の一種である。

一組の情報ビット中の「1」の個数の奇偶によって、1または0とする検査ビット(パリティビット)1ビットを付加して送信する。受信側でも同じように、情報ビット中の「1」の個数を検査し、検査ビットの結果と比較し、合っていれば「誤りなし」、合っていないければ、「誤りあり」とする。この方法では1ビット誤りが検出できる。

更に、情報ビットを下図のように2次元に並べ、各行と各列のパリティを付加すると、1ビットの誤りであれば、受信側では誤りの位置がわかるので訂正することができる。

一般に、誤り検出や訂正用に余分の検査ビットを多く加えれば、より多くのビット誤りの検出や訂正が可能になる。





3. デジタル通信と信号処理

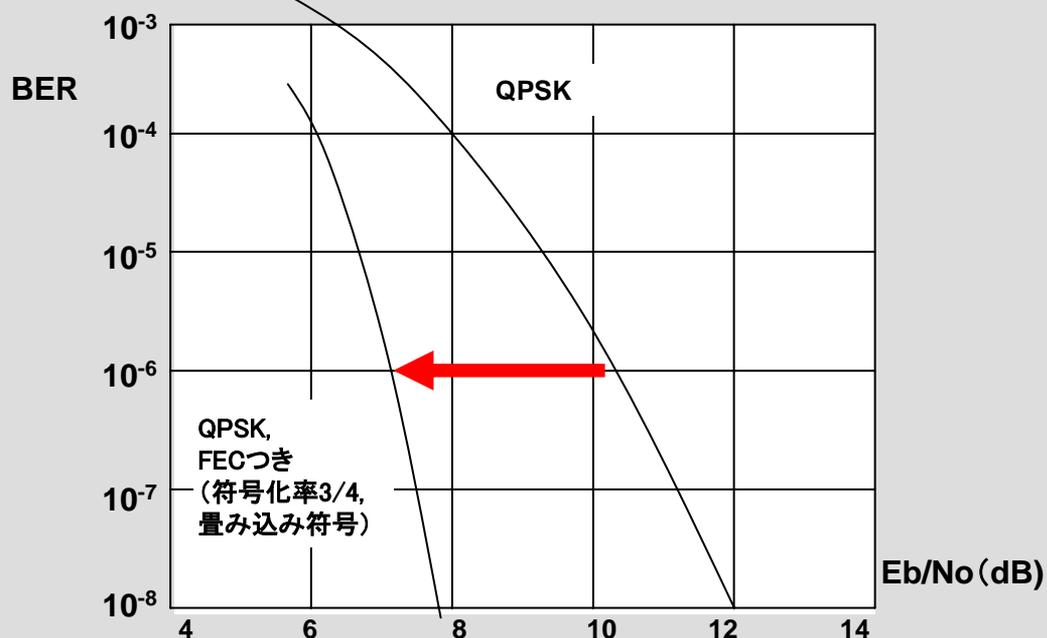
(19) 誤り制御(3/4)

FECによる改善効果

FECによる改善効果をBER特性例でみると下図になる。

これは、畳み込み符号という符号を用い、情報ビット3ビットに誤り訂正用ビットを1ビットの割合で付加した例であり、FECを使用しない場合に比べ、 10^{-6} のBER付近では約4dBの改善効果、つまり、送信電力を4dB下げられることを示している。同じ情報量を送る場合、誤り訂正用ビットの付加により、3割ほど余分な周波数帯域が必要になるが、送信電力を約半分にできるという大きな効果がある。

通常、FECは、最悪でもBERが 10^{-4} 程度の伝送路で使われる。これは100ビットを1パケットにする場合、100個のパケットあたり1ビットの誤りが起こる頻度に相当する。1パケット内に2ビット以上の誤りを含むパケットの数は、1ビット誤りを持つものに比べて格段に少ない。パリティの例でみたように、1ビット誤りは簡単に訂正できるので、FECの適用により劇的にBERが改善できるわけである。



FECを用いることにより、低い送信電力で同じBERを達成できる。



3. デジタル通信と信号処理

(20) 誤り制御(4/4)

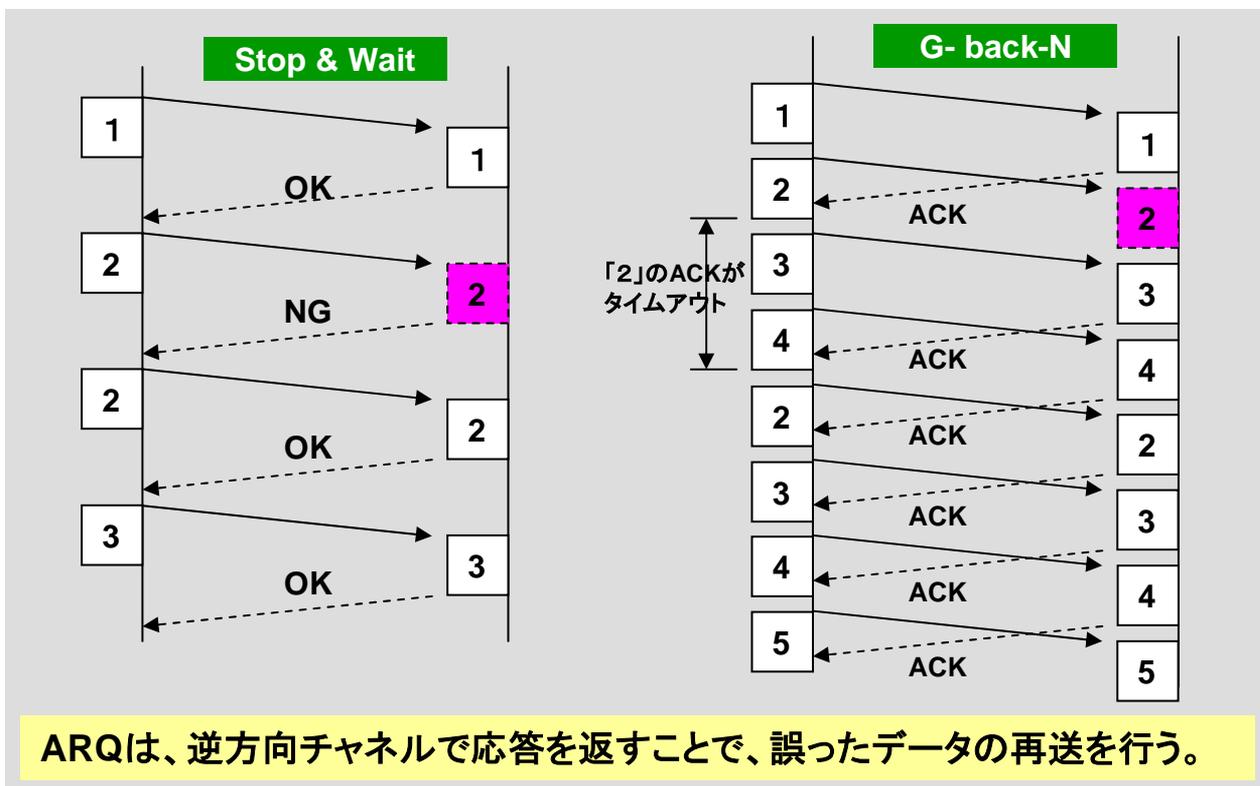
ARQ

FECと異なる誤り制御方法にはARQ(Automatic Repeat reQuest)がある。これは、伝送誤り検出に関する受信側からの応答にもとづいて、送信側がパケットを再送する方法である。

ARQには、応答の返し方や送信パケットを一定時間記憶するか否かなどによって、いくつかの実現方法がある。

その最も単純な方法は、相手から正常受信の応答を得た後に次のパケットを送るStop&Wait方式である。この方法では、過去のパケットを記憶しなくてよいが、受信側からの応答を得るまで、次のパケットを送信できないため転送速度が遅くなる。

Go-back-N方式は、一定時間待っても応答がない場合に、そのパケットに戻って、以降のパケットを全て再送する方式であり、インターネット(TCP/IP)のTCPプロトコルの中で使われている。



ARQは、逆方向チャンネルで応答を返すことで、誤ったデータの再送を行う。



4. 第3世代携帯電話での技術

(21) 第3世代方式

W-CDMAとCDMA2000方式

第3世代方式にあたるIMT-2000方式のうち、現在、広く普及しているのは、W-CDMAとCDMA2000方式である。

これらは、いずれも、多元接続方式にCDMAを用いているが、無線方式のうえでは主に次のような相違がある。

- ・帯域幅: CDMA2000(1x)は1.25MHz、W-CDMAは5MHz
- ・基地局間同期: CDMA2000では、全基地局がGPS衛星を利用して同期しているのに対して、W-CDMAは非同期である。このため、後者は基地局設置場所の自由度が高いが、端末側での基地局信号の捕捉手順がやや複雑になっている。

なお、IMT-2000方式には現在、次の6方式が認定されている。

- ・DS-CDMA (W-CDMA)
- ・SC-TDMA
- ・OFDMA (WiMAX)
- ・MC-CDMA (CDMA2000)
- ・MC-TDMA
- ・TD-CDMA

W-CDMAとCDMA2000方式の比較

	W-CDMA	CDMA2000 1x
多元接続方式	CDMA	CDMA
帯域幅	5MHz	1.25MHz
チップレート	3.84Mcps	1.2288Mcps
フレーム長	10 ms	20 ms
音声速度	4.75k~12.2kbps	1k~8kbps
データ速度	~384kbps	~144kbps
ハンドオーバー	ソフトハンドオーバー	ソフトハンドオーバー
基地局間同期	非同期	同期



4. 第3世代携帯電話での技術

(22) 拡散コード(1/2)

2種類の拡散コードを使用

W-CDMAのスペクトラム拡散方式では、2種類の拡散コードの組み合わせが使用されている。

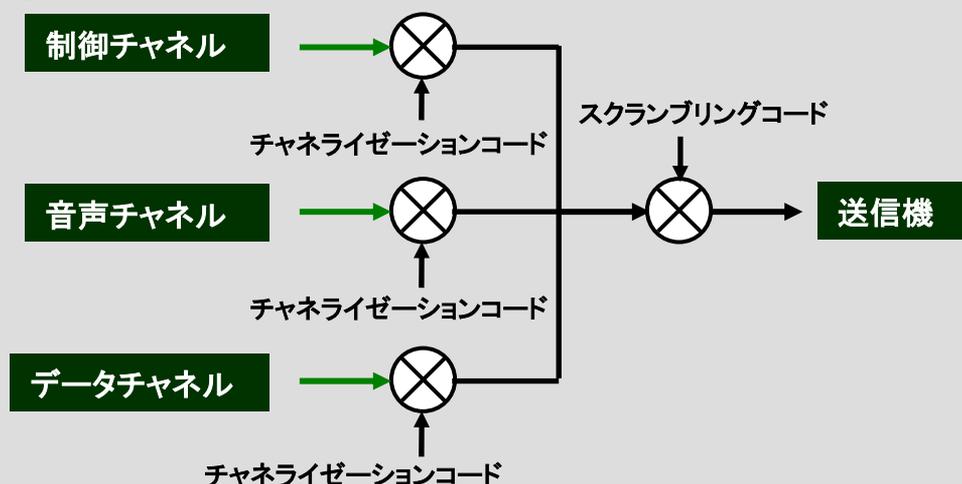
2種類のうち一つはチャンネル単位に拡散変調を行うためのコード(チャネライゼーションコード)であり、もう一つは、広い帯域にスペクトラムを拡散するためのコード(スクランブリングコード)である。

携帯電話では通話だけでなくデータ伝送や、各種制御などのために伝送速度の異なる複数チャンネルが同時に使われる。そこで、個々のチャンネルの速度に反比例するチップ速度をもつチャネライゼーションコードを掛け合わせることで、全てのチャンネルのチップ速度を合わせる。

その後、本来のスペクトラム拡散目的である高いチップレートをもったスクランブリングコードを掛け合わせることで、信号を広い帯域に拡散させている。

W-CDMA方式での2つの拡散コード(1/2)

上り回線の例



各チャンネルの速度に反比例するチップ速度のコードを掛け合わせ、速度をそろえた後に、スクランブリングコードで拡散する。



4. 第3世代携帯電話での技術

(23) 拡散コード(2/2)

2種類の拡散コードの使い方

CDMA2000でもチャンネル拡散と全体拡散の2種類のコードを用いているが、その使い方がW-CDMAと多少、異なっている。

上り回線では、各端末からの電波が空間上で合成されて基地局で同時に受信される。そこで、上り回線の拡散コードは、各端末の別が基地局で識別できるようなコードの組み合わせとなっている。

一方、下り回線については、W-CDMAでは基地局(セルおよびセクター)毎に異なるコードを使うことで、隣接セル/セクタとの間の干渉を避けるようにしている。

これに対して、CDMA-2000では、全ての基地局で同一のコードを使用しており、GPS衛星を使って、コードの送信タイミングを正確にずらすことで、隣接セル間での干渉を避けている。ここで使用しているショートPNコードは、ビットをずらすと、自身のコードとの相関(自己相関)が極めて小さくなるからである。一方、ロングPNコードは、端末の別を識別するとともにデータ暗号化の役割を果たしている。

拡散コードの使い方

W-CDMA方式	下り回線	上り回線
チャンネル拡散用コード (チャネライゼーションコード)	OVSF符号 基地局間共通	OVSF符号 端末間共通
全体拡散用コード (スクランブリングコード)	GOLD系列 基地局別	GOLD系列 端末別

CDMA2000方式	下り回線	上り回線
チャンネル拡散用コード	Walsh符号(基地局間共通) +ロングPN符号(端末別)	ロングPN符号 端末別
全体拡散用コード	ショートPN符号 基地局間共通	ショートPN符号 端末間共通

W-CDMAの全体拡散用コードは基地局ごとに異なるのに対して、CDMA2000では、同一コードを決まった時間ずらして使用。



4. 第3世代携帯電話での技術

(24)局間同期

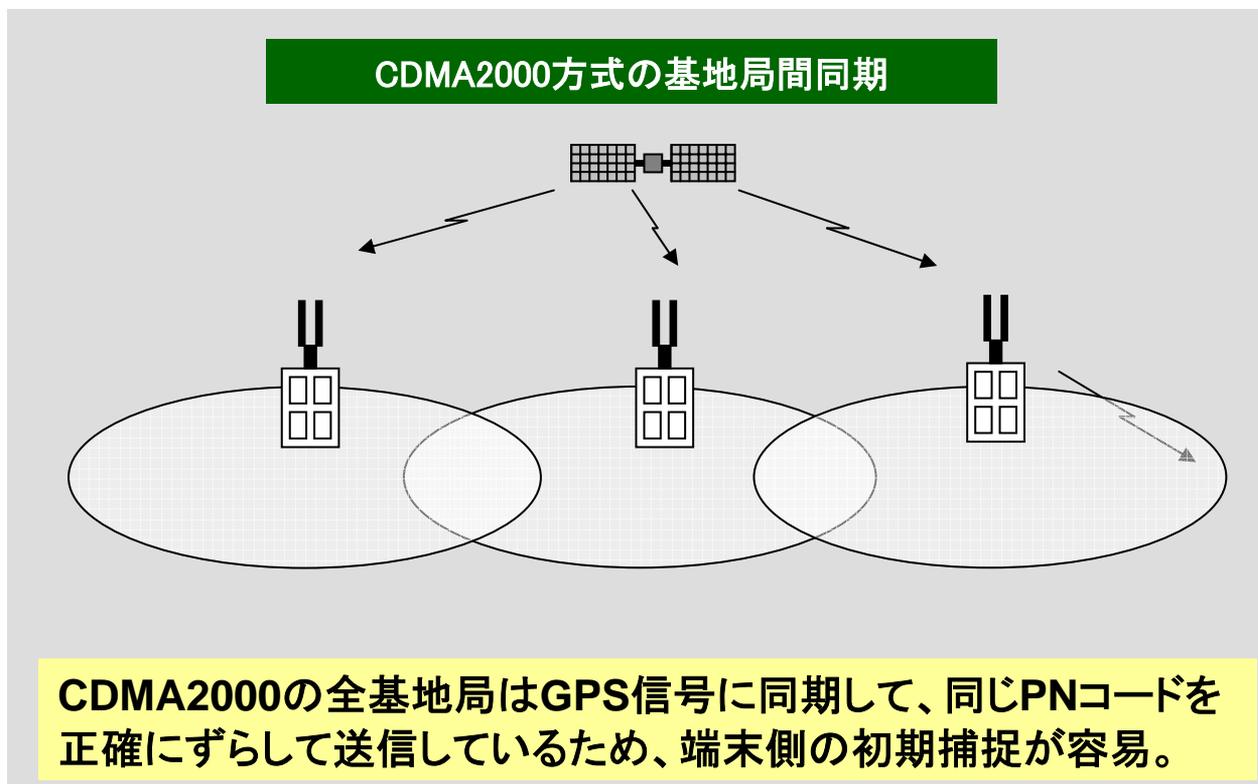
CDMA2000方式では全基地局が同期

CDMA2000システムでは、全ての基地局がGPS衛星からの電波を受信することにより、基地局間で送信信号のタイミングを合わせる局間同期をとっている。

CDMA2000システムでは、下り回線の拡散コード(ロングコード)に同一のPNコードを使用しているが、局間同期をとることで、拡散コードの先頭位置を正確にずらして送信している。

このようにすることで、携帯端末側では、基地局からの電波を捉えるセルサーチが簡単になり、しかも、同じコードを一定時間だけずらすと隣接セルの基地局の拡散コードとなるため、ハンドオーバー処理が簡単になる。

他方、GPS衛星からの電波受信が必要であるので、基地局設置に一定の制限が生じる。





4. 第3世代携帯電話での技術

(25)ソフトハンドオーバー

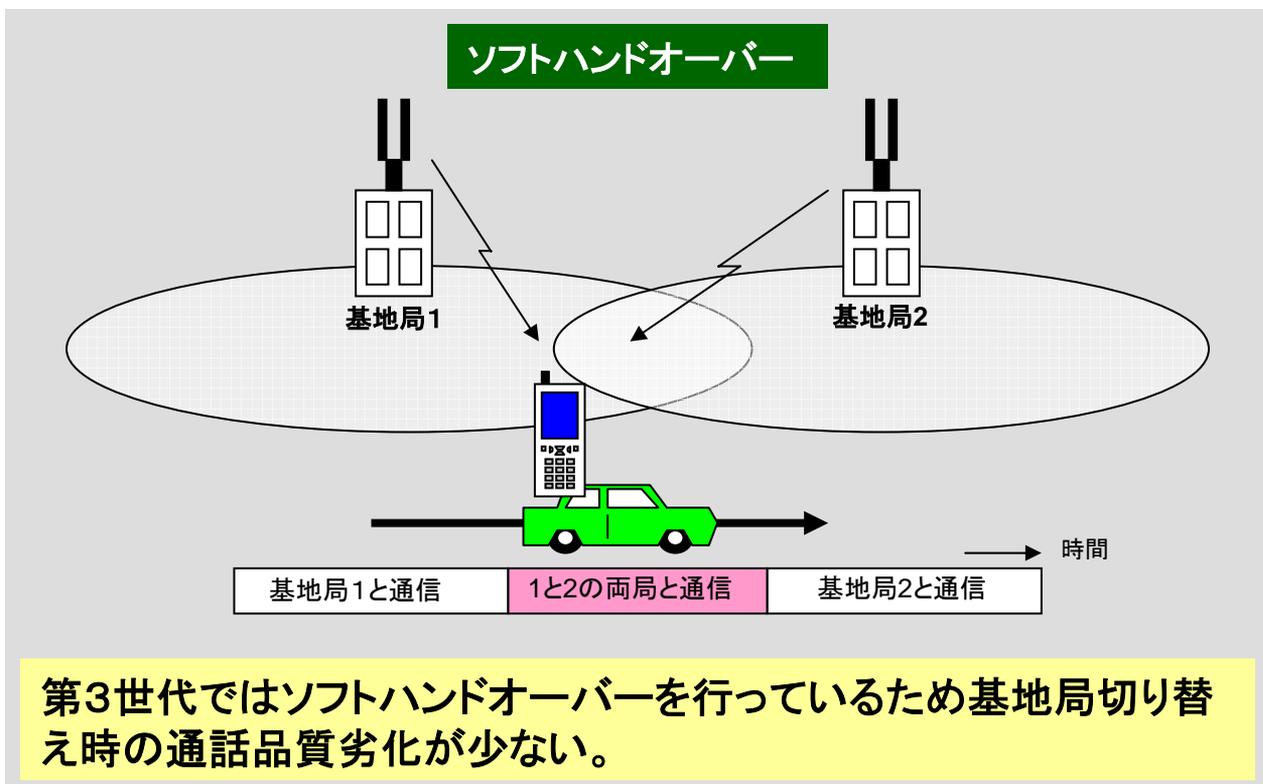
複数の基地局からの電波を比較し、切り替え

ハンドオーバーとは、携帯端末が通信している相手の基地局を最も受信状態が良い基地局に切り替えることをいう。(ハンドオフとも言う)

携帯端末は、現在、通信中あるいはその制御下にある基地局からの電波だけでなく、常時短い時間間隔で、隣接する複数の基地局からの電波の強さをチェックしている。そこで、セル境界付近などで、現在より通信状態が良好になる基地局を見つけた場合には、基地局に対してハンドオーバーを要求する。

第2世代では、基地局側(基地局制御装置)はこの要求にもとづいて、現在のチャンネルを切断後、瞬時に次の基地局との間でチャンネルを接続する方法をとっていた。

一方、第3世代携帯電話では、切り替えの前後で、両方の基地局と同時に通信する期間を設けることで、よりスムーズに切り替えるソフトハンドオーバーを行っている。





4. 第3世代携帯電話での技術

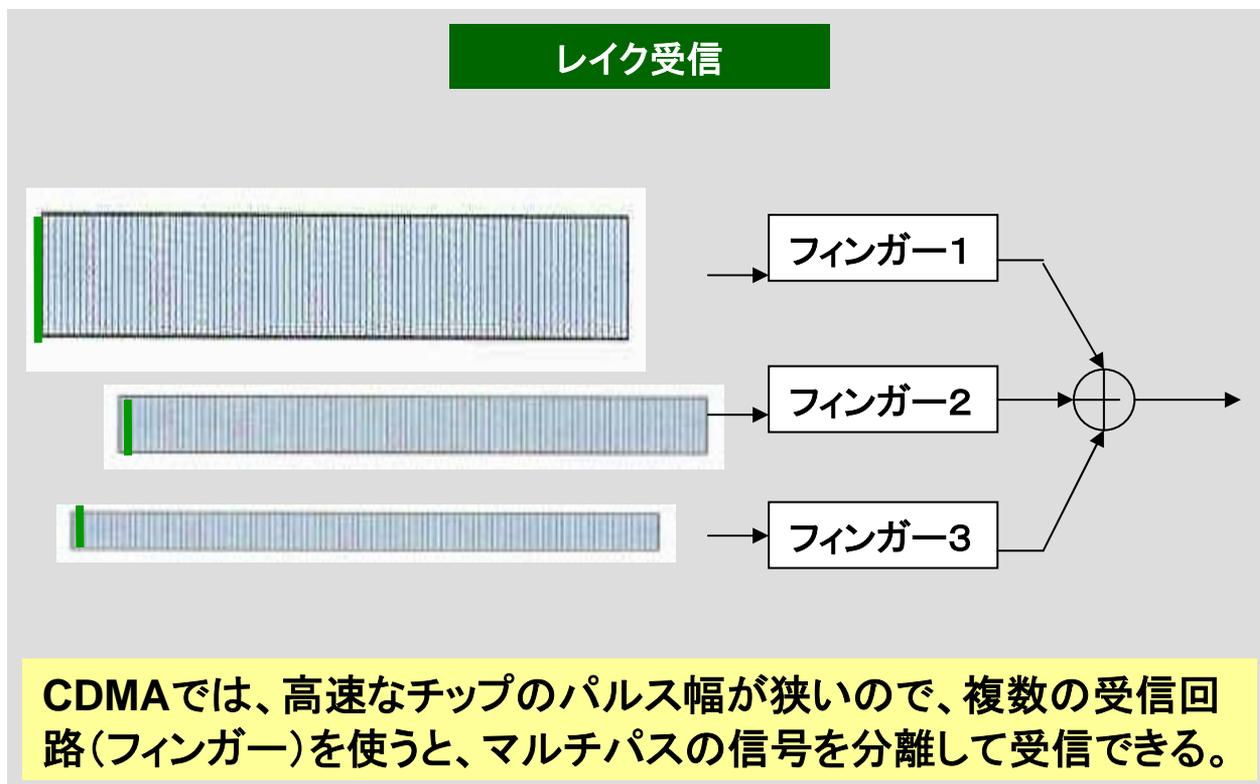
(26)レイク受信

電波を熊手のようにかき集める

携帯電話ではマルチパスフェージングの対策が必要であるが、第3世代携帯電話では、CDMA方式の電波の特性を利用した受信性能の改善を行っている。

W-CDMAやCDMA2000ではパルスの時間間隔が十分に短いので、直接波に対して遅れて届く反射波や屈折波を、直接波と区別して受信できる。そこで、これらを遅延時間だけずらして合成することで信号を強くできる。これは、熊手(rake)のように散らばった信号をかき集めるのに似ていることからレイク受信といい、各電波の受信回路をフィンガーと呼んでいる。フィンガー回路を多くすると処理のために電池を消耗するのでその数は3つ程度である。

ソフトハンドオーバーは、このレイク受信回路を用いて隣接基地局からの電波を同時受信するにより可能になっている。





4. 第3世代携帯電話での技術

(27) TPC (送信電力制御)

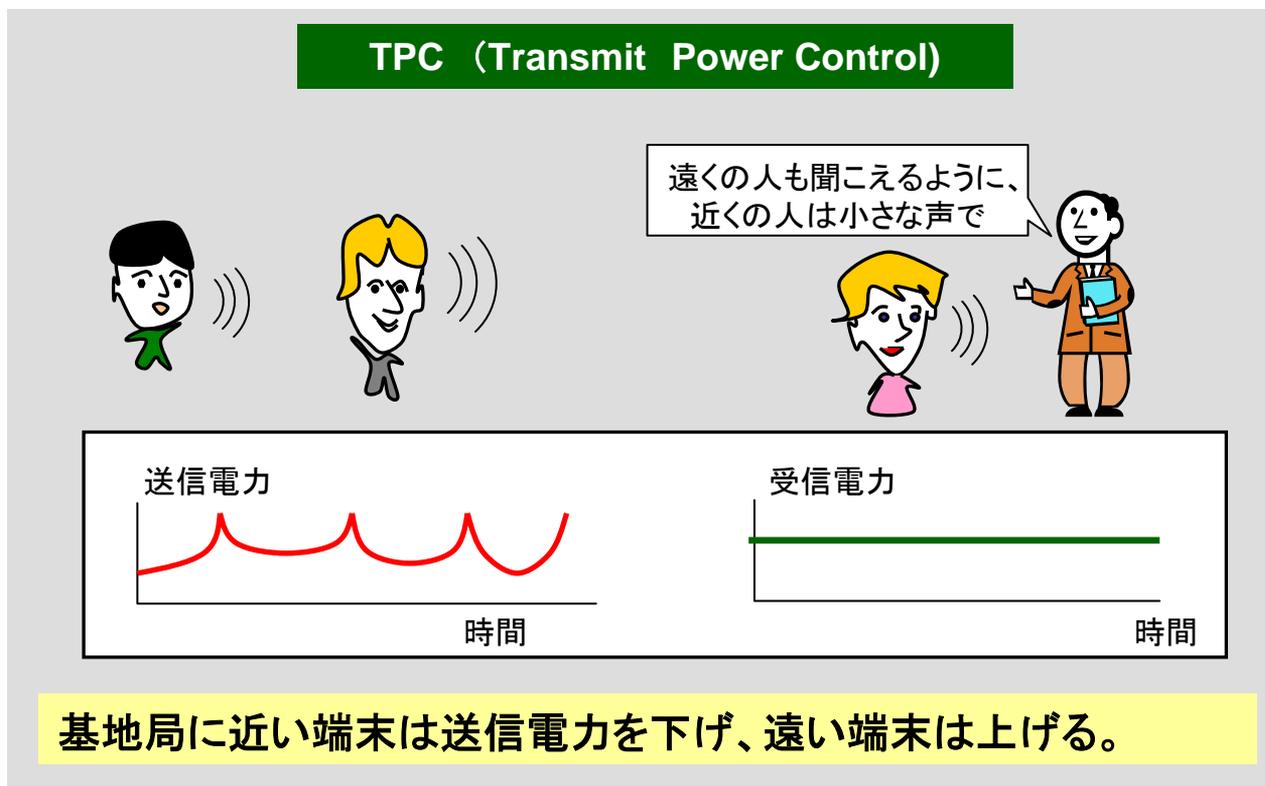
基地局での受信レベルをそろえる

送信電力が大きいと、それだけ情報転送速度を増加できるため、自分自身の通信の品質を高めることができる。しかし、増加させ過ぎると、他の利用者への干渉雑音が大きくなるのが問題となる。

CDMAでは、通信中のチャネル同士は、互いに微弱な雑音となるので、多数の同時通信が可能なのであるが、その雑音量を一定値以下に抑える必要がある。

ことに、基地局の近くにいる端末からの電波は基地局に強く届くが、セル境界付近の端末からの電波は弱い。このため、遠い端末からの信号を復調する際、近い端末からの干渉雑音を強く受けることになる。そこで、基地局では、各端末からの受信レベルが同じになるように、小刻みに指令を出して上げ下げを指示する。

このTPC(送信電力制御)をW-CDMAでは1秒間に1500回、CDMA2000では800回という極めて頻繁な周期で行っている。





4. 第3世代携帯電話での技術

(28) 高速データ専用方式(1/3)

HSPAとEV-DO

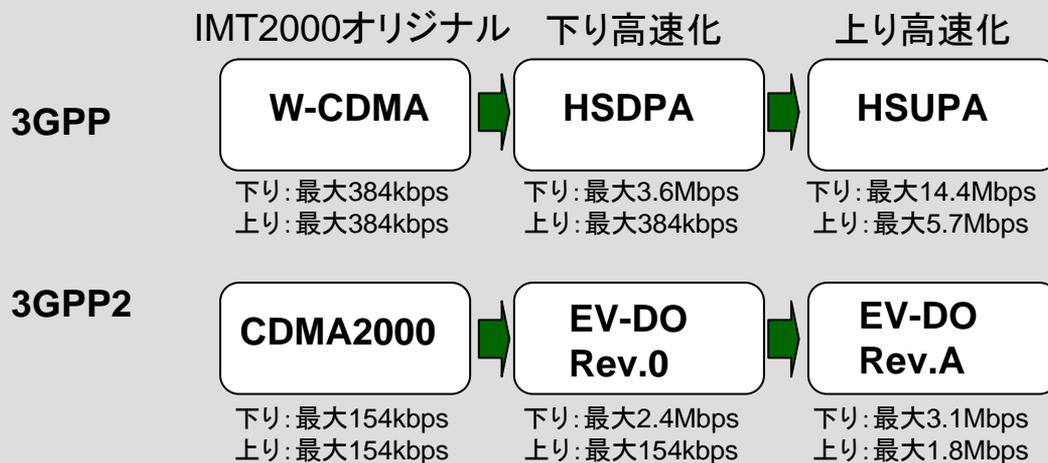
第3世代携帯電話では、大容量ファイルの伝送、音楽や画像・映像のダウンロードなどの需要に対応するため、IMT2000初期方式を変形した高速データ伝送専用の無線チャンネル規格を定めている。

このうちW-CDMA系では、HSPAと呼ばれ、下り回線高速化を図るHSDPAと、上り回線の高速化も行うHSUPAがある。

CDMA2000系ではEV-DOと呼ばれ、下り回線高速化を図るRev.0と、上り回線の高速化も行うRev.Aがある。

これらは、初期方式と同じ5MHzあるいは1.25MHzの帯域幅を用いるが、下り回線にはCDMAでなくTDMAを用いている。高速化のために、通信状況に応じて変調方式を細かく変化させる適応変調方式や、ハイブリッドARQと呼ぶ誤り制御方式が用いられている。また、基地局では、送受信パケットの順番を決めるスケジューリングやVoIP等のリアルタイム通信ができるようにQoS制御を行っている。

W-CDMAとCDMA2000方式の進化



下り回線に続き、上り回線の高速化を図ったデータ専用チャンネルが導入されている。



4. 第3世代携帯電話での技術

(29) 高速データ専用方式(2/3)

適応変調方式

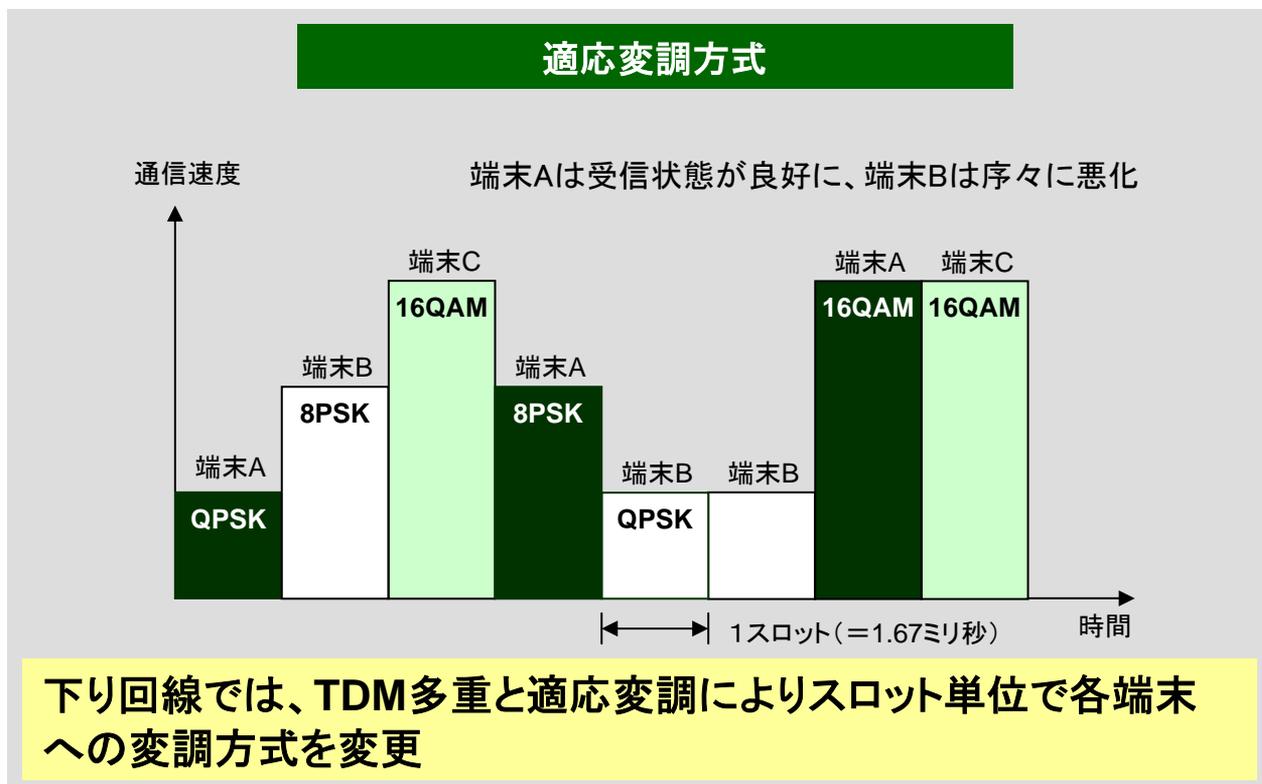
EV-DOでは下り回線では送信電力制御を行わず、常に最大電力でTDM(A)方式で送信する。各端末の通信状態に応じて、変調方式を切り替えることで、1ビット(BPSK)、2ビット(QPSK)、3ビット(8PSK)、4ビット(16QAM)と、一度に(1シンボルで)伝送するビット数を変化させる。変調方式の変更は1.67m秒のフレーム単位で細かく行うことができる。また、受信品質の高い端末へ優先してデータ送信するスケジューリングを行うことで全体のスループットを改善する。

EV-DOでは変調方式などのパラメータを端末側で決定するのに対して、HSDPAでは基地局が決定する。

EV-DO Rev.Aでは、上り回線にも適応変調方式を用いている。

EV-DO: Evolution Data Only

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access





4. 第3世代携帯電話での技術

(30) 高速データ専用方式(3/3)

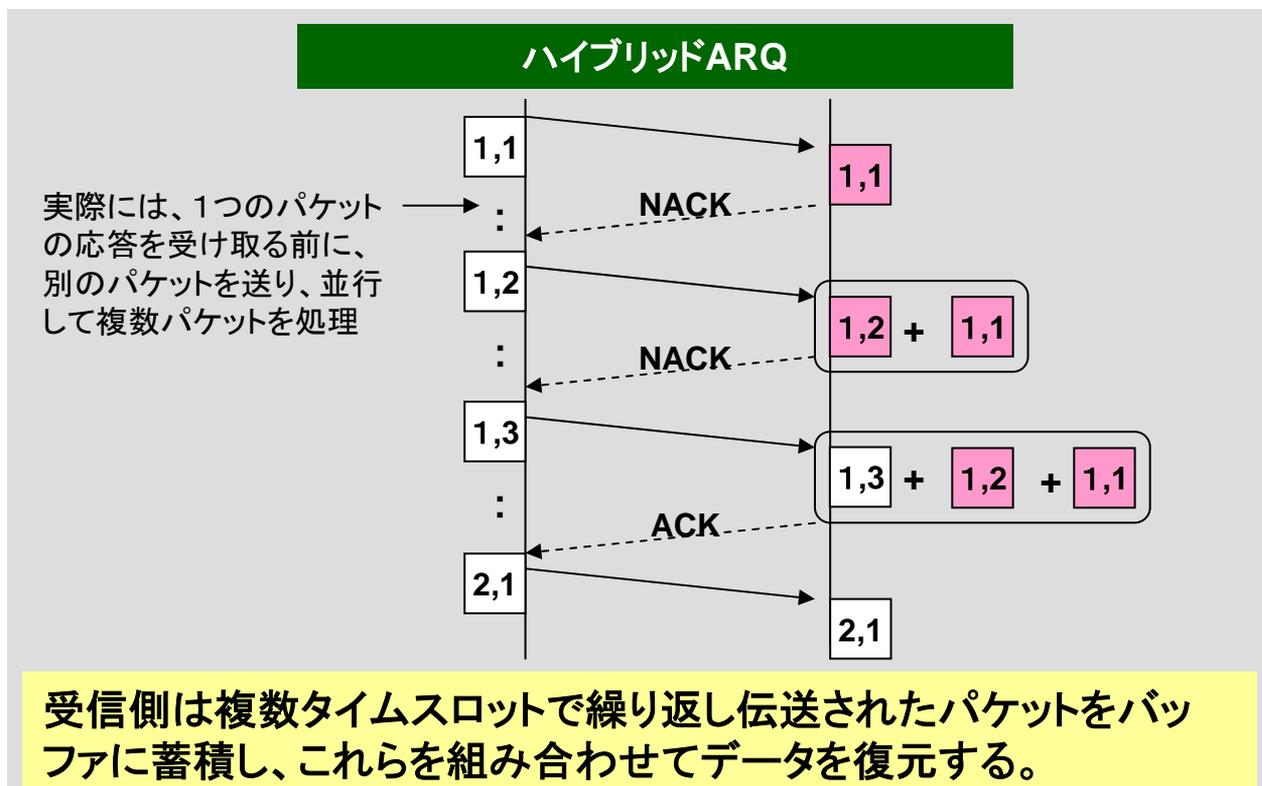
ハイブリッドARQ

電波状態の悪い端末では、低速の変調方式を使うが、それでも受信エラーになる場合にはパケットの再送処理が頻発するためデータ転送効率が一層悪化する。

そこで、電波状態の悪い状況では、同じデータを複数回送信して、それを組み合わせることで成功率を高める方が良い。

ハイブリッドARQでは、複数のタイムスロットを使って同じパケットを繰り返し送信する。一方、受信側は正常に受信できたかどうかを毎回判定し、正常受信の場合には送信側にACKを返すことで、以後のパケットの繰り返し伝送は行わないようにしている。

また、正常受信できなかった場合でも、正しいビットが多く含まれていることがあるので、パケットを捨てずに蓄積しておき、次のスロットのデータと組み合わせることでデータを復元する。





5. ネットワーク

(1) コアネットワークの構成

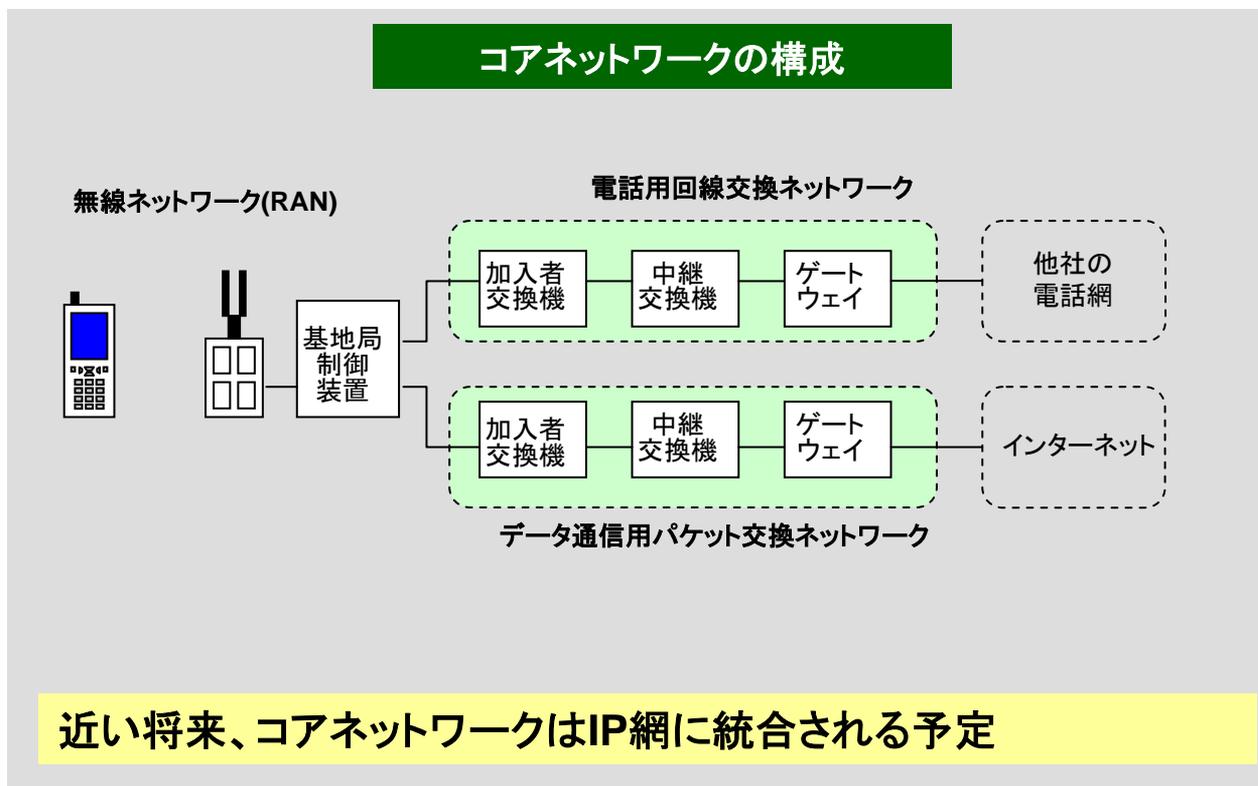
2つのネットワーク

第3世代携帯電話用のコアネットワークは、電話とデータ通信用の2つのネットワーク(網)に分かれている。

前者は、通信の開始から終了まで、決まった通信路(回線)を占有する形で通信が使われる回線交換方式のネットワークである。

一方、後者はデータをパケット単位で転送するパケット交換方式のネットワークである。

いずれも、無線設備側からみると、加入者を收容する加入者交換機、中継を担当する中継交換機の順につながっている。また、外部ネットワークにあたる他の電話会社の電話網やインターネットとは、ゲートウェイ(関門)経由でつながっている。





5. ネットワーク

(2) 回線交換

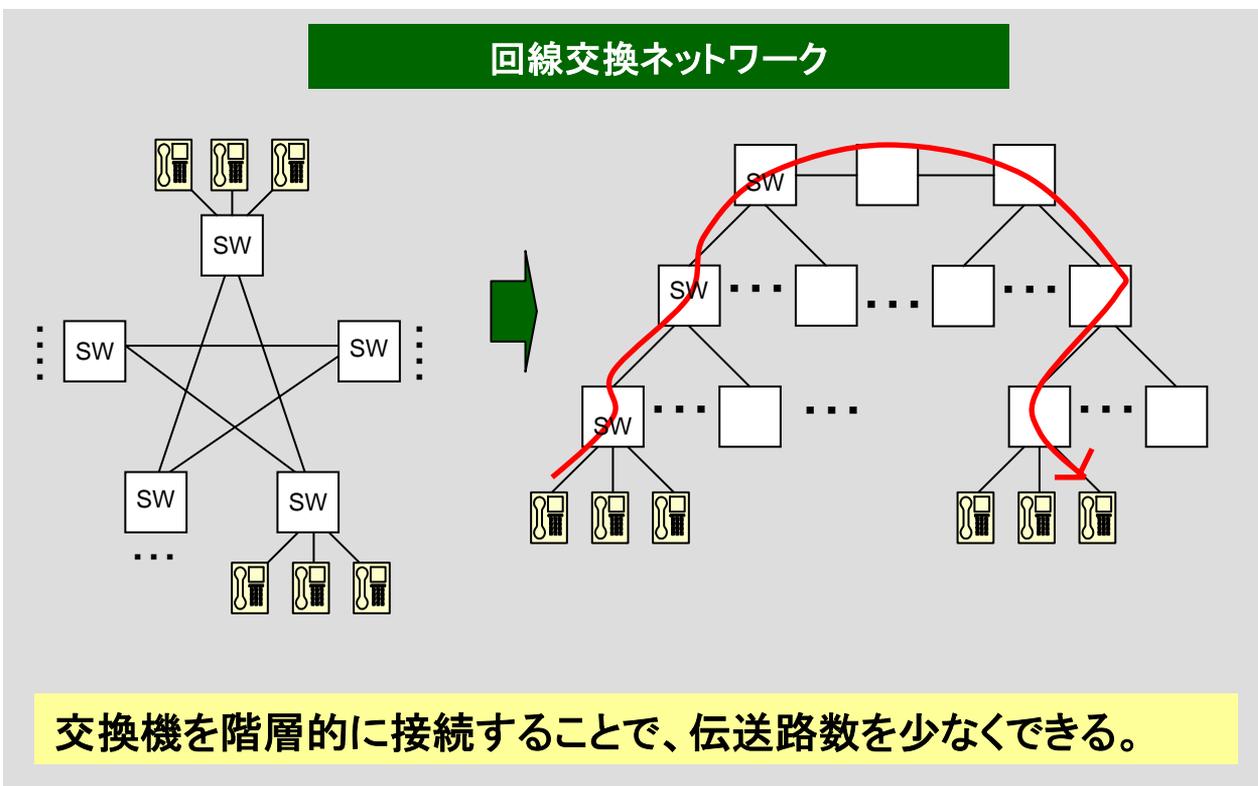
階層構造の交換機

回線交換方式とは、通信の開始から終了までの間、特定の通信路を占有する方式をいう。

電話などでは各端末の利用時間が限られているので、途中の通信路にスイッチ機能を設け、利用時間の間だけ、このスイッチを閉じることで通信相手とつながるようにすることで回線数を節約できる。このスイッチ機能を果たすのが交換機であり、交換機を階層的に構成することで、交換機間の伝送路数を少なくできる。

通信路を占有するため、接続時間中に何も伝送するものがなくても、他の通信には利用できない。一方、送受端末間の遅延時間やその変動を少なくしやすいので、電話のようなリアルタイム系通信に向いている。

回線交換ネットワークでは、基本的に利用時間に対して課金される。





5. ネットワーク

(3) パケット交換

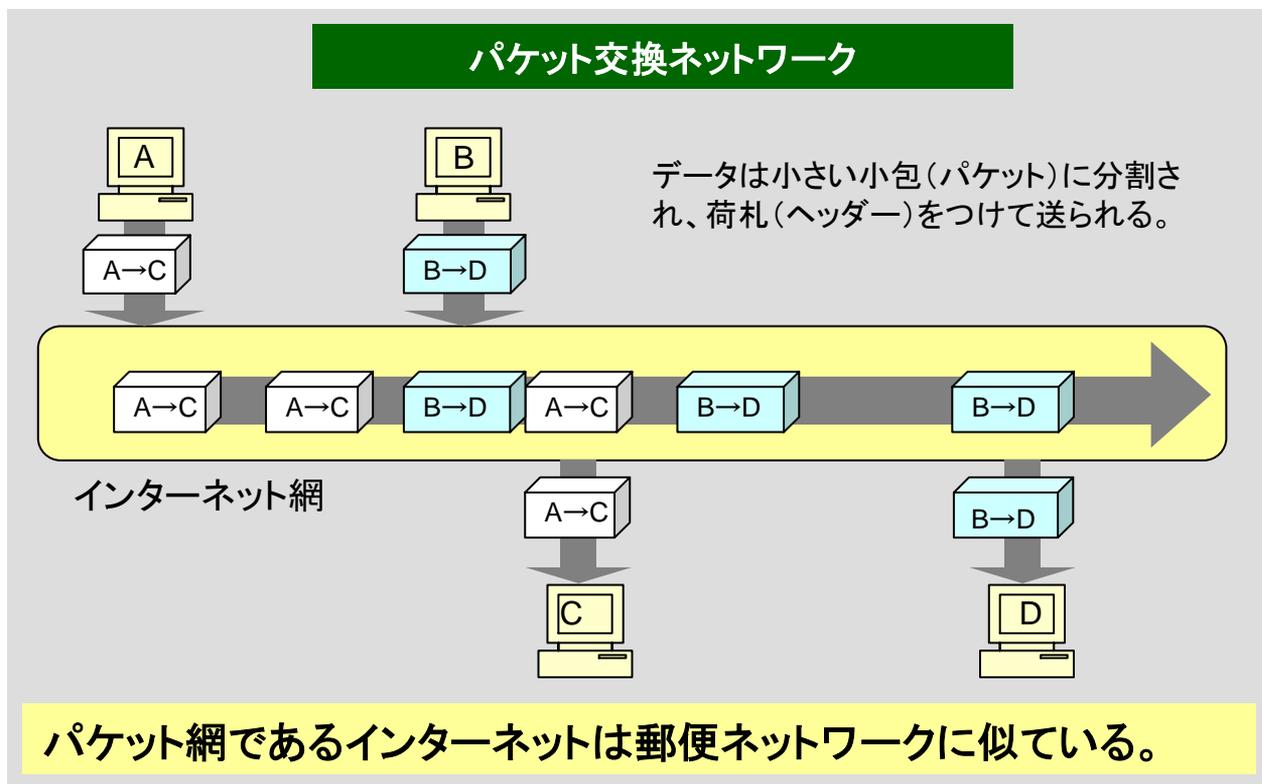
パケットを転送するルーター

パケット交換はデータを誤りなく、かつ効率的に届けられるように考えられた方式である。パケット交換では、相手に届けるデータを、小単位のセグメントに区切り、各セグメントに宛先アドレスと自分のアドレスなどを書いたヘッダーをつけて送る。ネットワーク側では宛て先を見てパケットの振り分けを行う装置がルーターである。

パケット交換ネットワークでは、送るべきデータがある時間のみの回線が利用されるので、送信データが間欠的であったり、時間的変動が大きい場合には効率的である。ネットワークは電話交換機のように、必ずしも階層的に構成する必要はない。パケットの転送ルートは、各ルーターが持つテーブルによって決められ、伝送路や機器に障害があると別ルート経由にするなどルート設定が柔軟にできる。

しかし、パケットの流入量が過剰になると、パケットの待ち合わせや脱落が起こり、遅延時間が大きくなるため、遅延時間に厳しいサービス提供には、パケットの送信順序を決める優先制御が必要になる。

このネットワークでは、基本的には、パケット単位に課金される。





5. ネットワーク

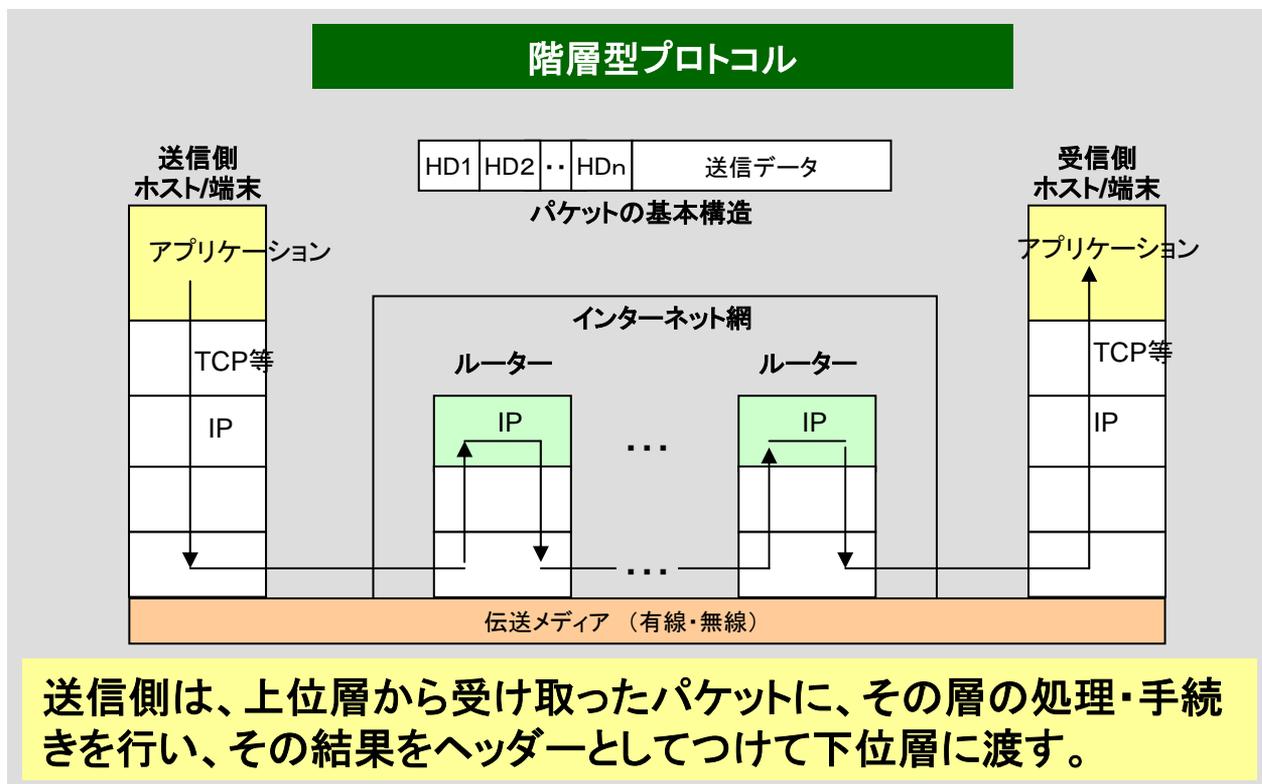
(4) 階層型プロトコル

インターネットではネットワーク層以下のみ関与

パケット通信方式では、データを正しく送受できるように送受間の手続き(プロトコル)が決められている。このプロトコルには有線や無線の伝送メディアでの信号のやりとりに属する低位のものから、アプリケーションに関係する高位の手続きまでが階層的に構成されている。

送信側では、各層での処理を高位層から行い、その結果に関するヘッダーを付け、低位層に渡していく。逆に、受信側では、1つの層のプロトコルを処理すると、その層のヘッダーを取り除いて一つ上の層に渡す。

ルーターは、ネットワーク層と呼ばれる階層で動作し、ヘッダーにある宛先IPアドレスを見て、その宛先に近くなるように選ばれた隣接ルーターにパケットを転送(ルーティング)するのが主な仕事である。そこで、ルーターはネットワーク層より高位の処理には関与しないので、データはネットワーク内をそのままの形で通過できる。





5. ネットワーク

(5) 電話番号

固定電話と携帯電話の番号

一般の固定電話の番号は、「0-ABCDE-FGHJ」の10桁であり、
 先頭の0は国内プレフィックス
 ABCDE: 市外局番+市内局番
 FGHJ: 加入者番号 となっている。

このように固定電話での番号は、郵便番号のように場所を示す数字を含んでおり、電話交換機は電話番号から、着信先の電話がつながっている地域の加入者交換機を割り出している。

一方、携帯電話の電話番号は、固定電話番号と重複がないように割り当てられており、090,080,070のプレフィックスに続く8桁の加入者番号の合計11桁で構成されている。そこで、一つの0A0あたり1億台まで収容できる。

端末が移動する携帯電話では、当然ながら固定電話と異なり、居場所を示す情報は含まれていない。

固定電話市外局番1桁目番号と携帯電話のプレフィックス



020	発信者課金ポケベル
050	IP電話
060	UPT電話、FMC電話
070	PHS
080	携帯電話
090	携帯電話

固定電話の局番は地理区分と交換機に、下位桁の加入者番号は加入者交換機に接続される加入者回線番号に対応



5. ネットワーク

(6) IPアドレス

グローバルアドレスとプライベートアドレス

電話網での電話番号に相当するのがインターネットでは、パケットの宛先と送信元を示すIPアドレスである。

IPアドレスにはインターネットで用いるグローバルアドレスと、プロバイダー(ISP)や企業や宅内のネットワークにて内部的に使われるプライベートアドレスがあり、両者のネットワークの境界でアドレス変換が行われる。

固定PCをADSLなどのブロードバンド回線経由でインターネット接続する場合には、ISPが割り当てる一時的なアドレスを利用者側のルータにてプライベートアドレスに変換する。

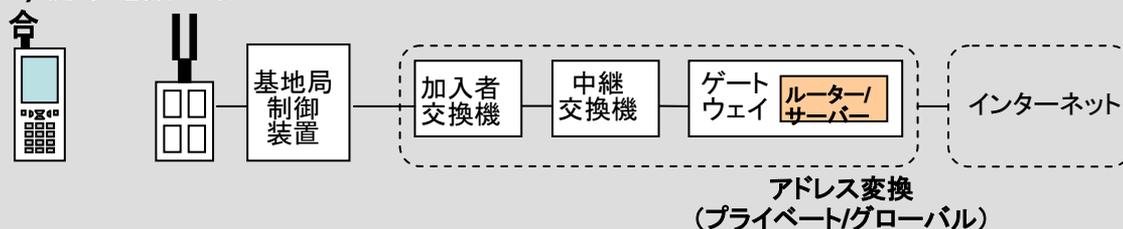
一方、携帯電話では、インターネットとの境界に位置するゲートウェイにて、グローバルアドレスと、携帯電話に一時的に割り当てるプライベートアドレスとの間の変換が行われる。

IPアドレスの変換

1) 固定PCの場合



2) 携帯電話の場合



携帯電話の場合、ゲートウェイにてプライベートアドレスへの変換が行われる。



5. ネットワーク

(7) 位置情報の管理

携帯電話の居場所を管理するHLR

携帯電話会社は、全ての携帯端末の、所有者に関する情報や、現在のおおまかな居場所(位置登録エリア)を管理するデータベースを持っている。これをHLR (Home Location Register) という。

携帯端末は居場所が変わるたびにデータベースの更新要求を出し、書き換えを行う。携帯電話宛ての発信があると、ネットワーク側はこのデータベースに問い合わせ、携帯電話の位置登録エリアを知り、そのエリア全域に呼び出し(ページング)をかける。

HLRを持たずに、携帯電話への発信がある都度、全エリアに一斉呼び出しをかけ、着信先端末からの応答後に接続を行う方式もありえるが、数千万台もの端末へのページングには大容量の無線帯域と高速処理が必要になるので現実的ではない。ただし、この位置登録エリアは小さくし過ぎると更新が頻繁になるので、その頻度も考慮して、都道府県に近い大きさになっている。

居場所の管理

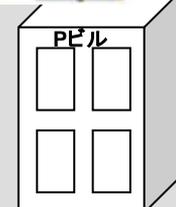
所属元の掲示板

名前	部課	立ち寄り先
A	X課	Mビル
B	Y課	Nビル Pビル
C	Z課	Kビル



所属元掲示板がHLRにあたる。

BはNビルからPビルに移ったよ。



携帯電話がまだなかった頃、立ち寄り先が変わるたびに、所属元に連絡をいれ、連絡先掲示板を書き換えていたことに似ている。



5. ネットワーク

(8)電話がつながるまでー1

電源ON後の動作

携帯電話の電源を入れた後には、次の準備が行われることにより、端末はネットワークに登録され、通信可能な待ち受け状態になる。

(1) 加入者情報の読み出し

第3世代携帯端末では、加入者情報がUSIMカードに格納されているので、これを読み出す。

(2) セルサーチ

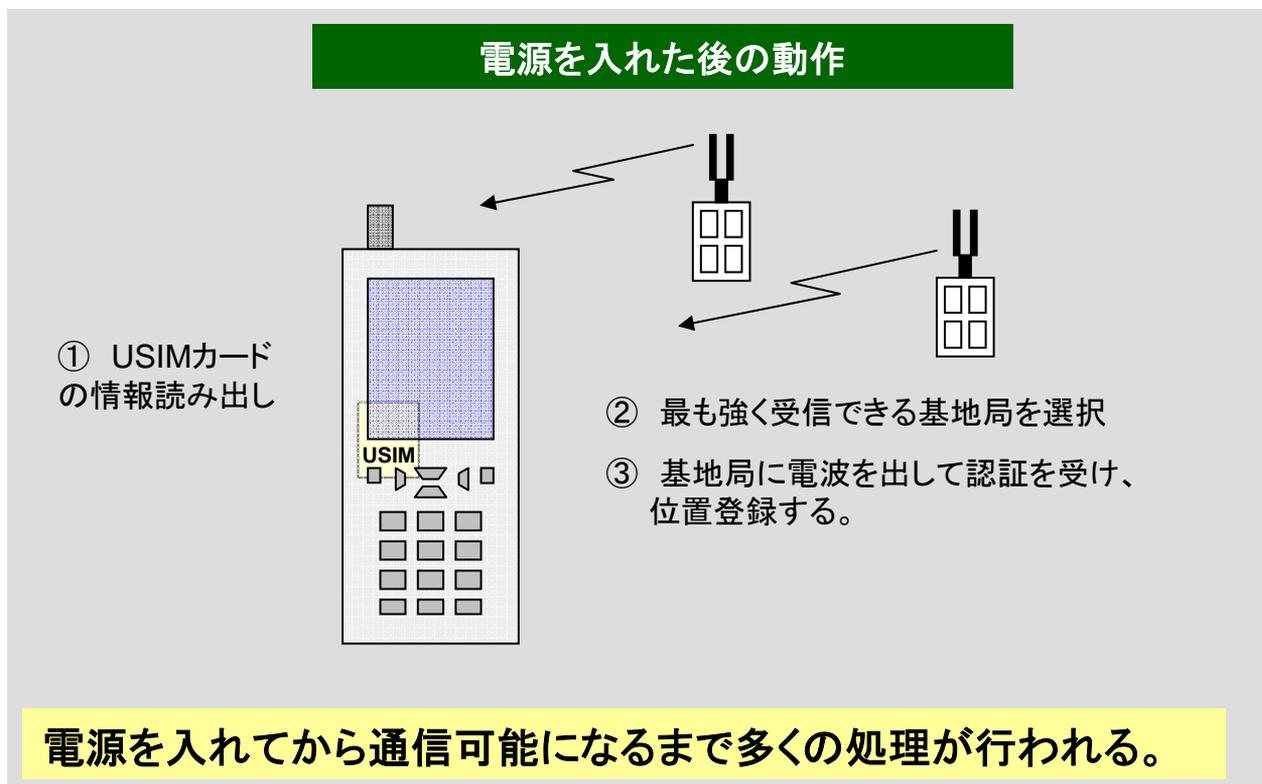
基地局からの電波を受信し、ネットワークとセルの選択を行う。

(3) 認証

ネットワークは加入者情報等を用いて正当な端末であることを確認する。

(4) 位置登録

端末の現在のおおまかな居場所を、位置登録エリアの単位でネットワークに登録することで、呼び出しなどに対応できるようにする。





5. ネットワーク

(9) 加入者情報

USIM/UIIM

第3世代携帯端末では、電話番号などの加入者情報は、端末本体でなく、端末内のUSIMまたはUIMと呼ばれるICカードに格納されている。そこで、電源ON時には、端末はその情報を読み出している。

このICカードは、GSM方式で使われているSIMカードがベースになっており、別の端末に入れ替えることで、同じ電話番号での通信ができる設計になっている。また、このカードには電話番号簿を格納するエリアもある。

しかし、現在、多くの端末では、同じ電話会社のICカード以外では通信できないように、端末側でロック(SIMロック)がかけられている。これは、利用者に一定期間の利用継続を求めるかわりに、端末を安く販売してきたため、短期に解約して、他の携帯電話会社で同じ端末を利用されるのを防ぐためである。

USIM/UIMカード

NTTドコモ、auの3G携帯電話の場合



UIM : User Identity Module

USIM: Universal Subscriber Identity Module

カードには、端末の電話番号のほか、IMSIと呼ばれる固有の番号や暗号情報、電話番号簿などが格納されている。



5. ネットワーク

(10) 電話がつながるまで-2

セルサーチ

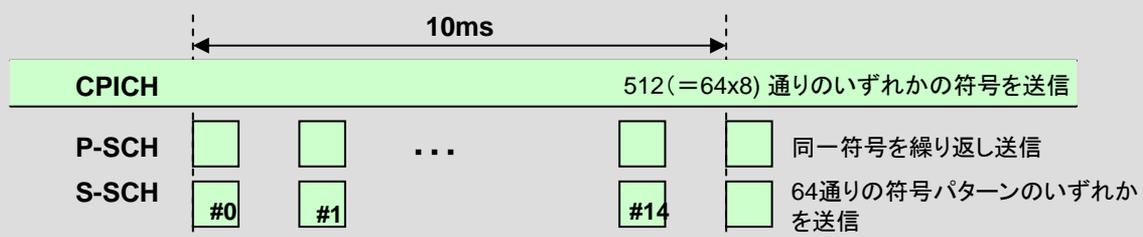
次に携帯電話は、基地局からの電波を受信して、ネットワークとセルを選択するセルサーチを行う。セルサーチのために、基地局は常時、セルを識別する情報を報知している。

W-CDMA方式では、プライマリー同期チャンネル(CPICH)にて、セル/セクターを区別する512通りもあるプライマリー・スクランブリング符号のいずれかが送信されており、これを短時間に解読するため、合わせて送信されているプライマリー同期チャンネル(P-SCH)、セカンダリー同期チャンネル(S-SCH)を用いた3段階のセルサーチを行っている。

まずP-SCHと同期をとり、次にそのタイミングを用いて、S-SCHにて報知される64通りの符号グループの一つを解読し、最後にCPICHにて、この符号グループに属する8通りの符号の一つを解読する。

一方、CDMA2000方式では、全ての基地局は、同一のPNコードを(周期 2^{15})を送信しているため、セルサーチ手順は簡単になっている。

W-CDMA方式でのセルサーチ手順



第1ステップ: P-SCHチャンネルと同期をとり、S-SCHチャンネルの受信タイミングを知る

第2ステップ: S-SCHの15スロットを使って報知されている符号パターンを調べ、64通りあるプライマリー・スクランブリング符号グループを決める。

第3ステップ: プライマリー・スクランブリング符号グループに属する8通りの符号と、CPICHチャンネルとの相関をとり、CPICHでどの符号が使われているかを決定する。

P-SCHでは全スロットで同一の符号が、S-SCHでは64種類のパターンを示す符号が同じタイミングで間欠的に送信されている。



5. ネットワーク

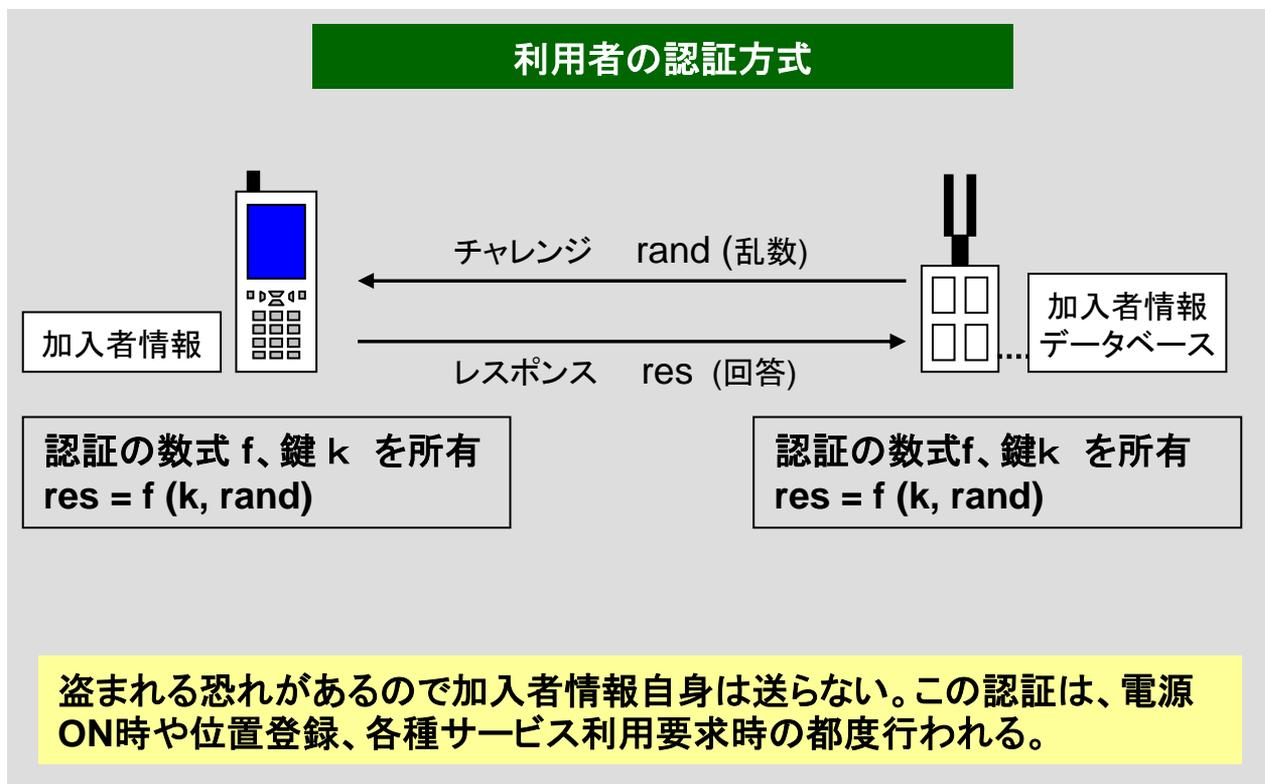
(11)電話がつながるまで-3

利用者の認証

ネットワークは、端末の電源ON時や、位置登録、各種サービス利用要求時に、正しい加入者であるかの確認(認証)をその都度行っている。この認証は、USIM内の情報とネットワーク内にある加入者情報の両者を用いて、次のようなチャレンジレスポンス方式で行われる。

- ① まずネットワークから端末にランダムな文字列である「乱数」(チャレンジ)を送る。
- ② 端末は、この乱数を、その端末固有の数式に代入計算した後、その結果(レスポンス)をネットワークに返す。
- ③ ネットワーク側も同様に、その端末固有の数式で計算した結果をもっており、それを端末から返信されたものと比較する。両者が一致した場合に認証成功とする。

この認証が成功すると、端末は位置登録要求をHLRに送り、位置情報を書き換える。





5. ネットワーク

(12) HLRとVLR

HLRから情報をダウンロード

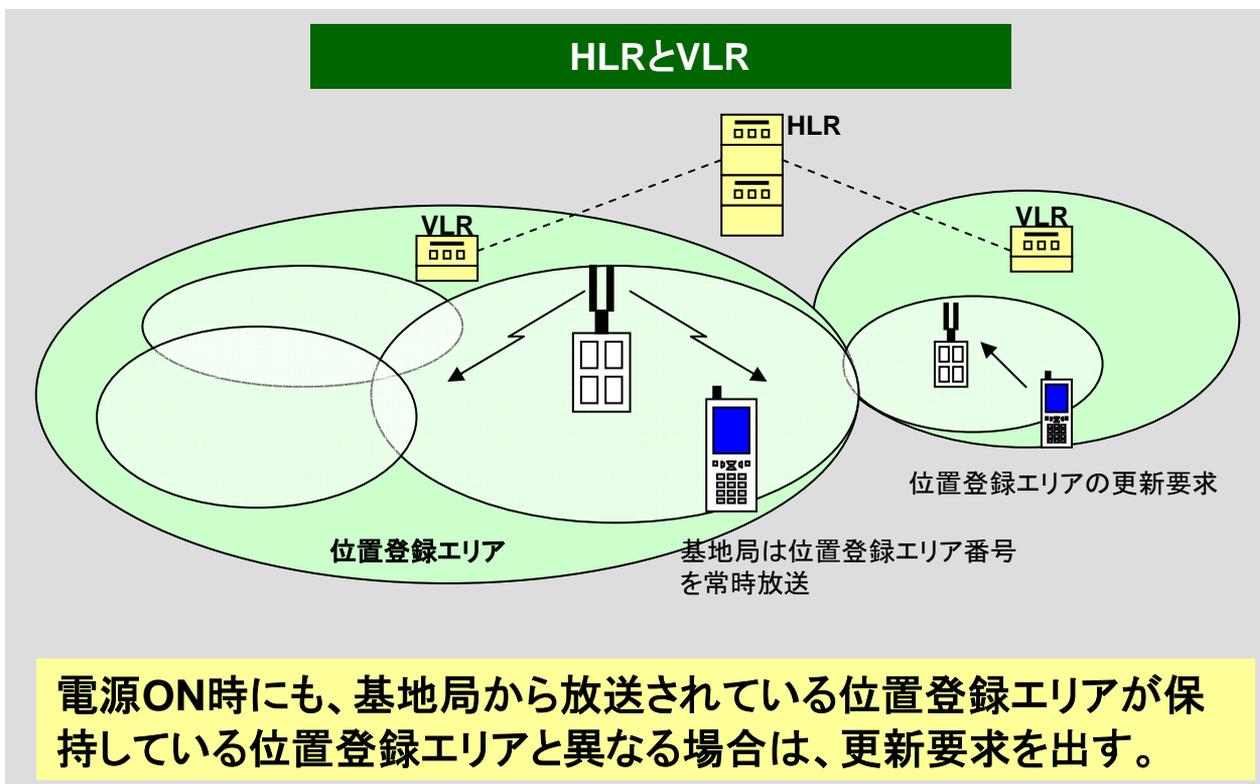
ネットワークは、個々の通信開始や端末状態の変化時点で、加入者情報や位置情報の確認を頻繁に行っているが、その都度、HLRにアクセスしたのでは、HLRに負荷が集中し、レスポンスも遅くなる。

そこで、端末の現在の居場所(位置登録エリア)にある移動交換局(MSC)にて、HLRに格納された情報をダウンロードして一時的に記憶し、問い合わせに対応するようにしている。

このメモリーをVLR(Visitor Location Register)という。

携帯端末が異なる位置登録エリアに移動すると、携帯端末からの要求に基づいてHLRへの位置登録が行われ、新しいエリア内のVLRに、HLRから情報がダウンロードされる。

VLRには、位置登録エリア内の端末に着信のため一斉呼び出しする際に使用するTMSIと呼ばれる一時的な端末番号が割り当てられ、他の加入者情報とともに記憶される。





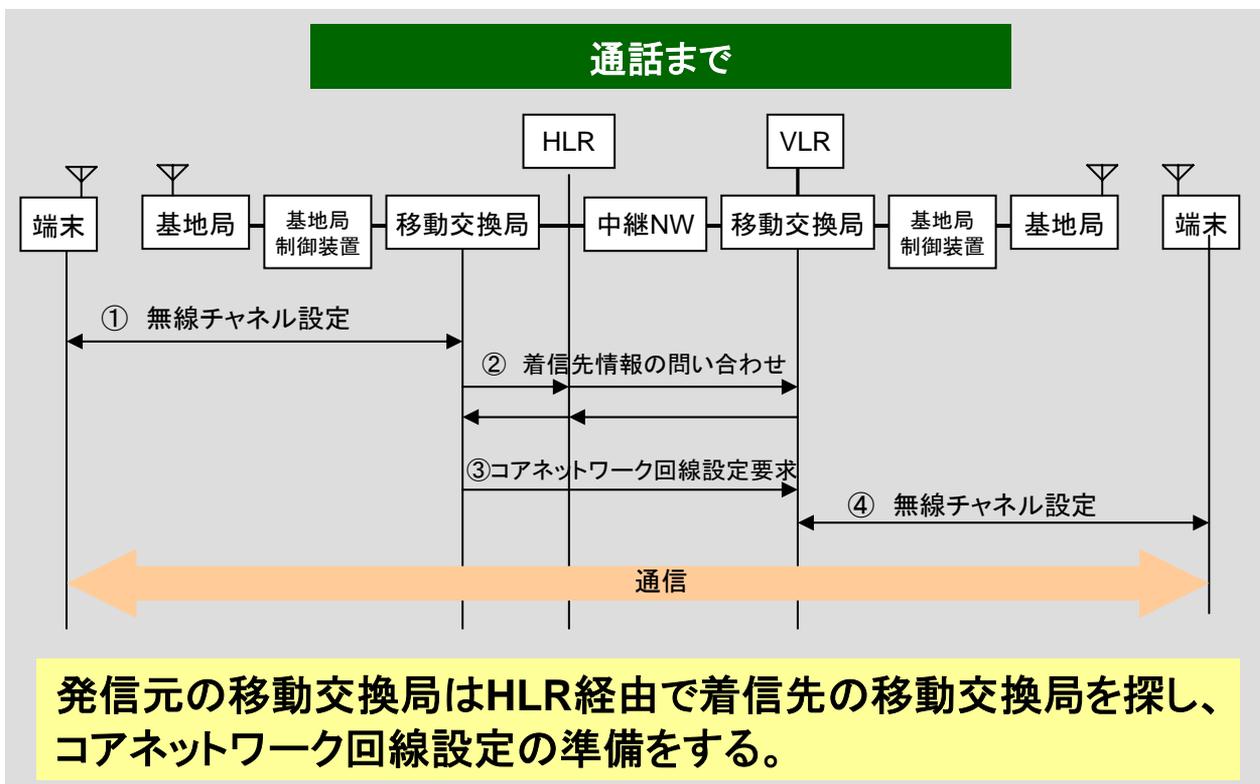
5. ネットワーク

(13)電話がつながるまで-4

HLR経由で着信先の情報を得る

携帯端末から、別の携帯端末に電話をかけた時、概略、次の手順で接続が行われる。

- ① 端末と移動交換局間の無線チャネル設定
- ② 発信側移動交換局、HLR、着信先移動交換局の3者連携によるコアネットワーク経由の接続準備：発信側移動交換局から問い合わせを受けたHLRは、着信先の移動交換局を見出し、その移動交換局に着信処理に必要な番号(ローミング番号)を割り当ててもらう。
- ③ コアネットワークの回線接続：このローミング番号を用いて、発信側の移動交換局から着信側の移動交換局まで回線接続する。
- ④ 着信側無線チャネル設定：着信側移動交換局は、TMSIという一時的な端末番号を使い、端末を一斉呼び出し(ページング)し、端末からの応答を受けた後、送受端末間の通信路が完成する。





5. ネットワーク

(14) ローミング番号

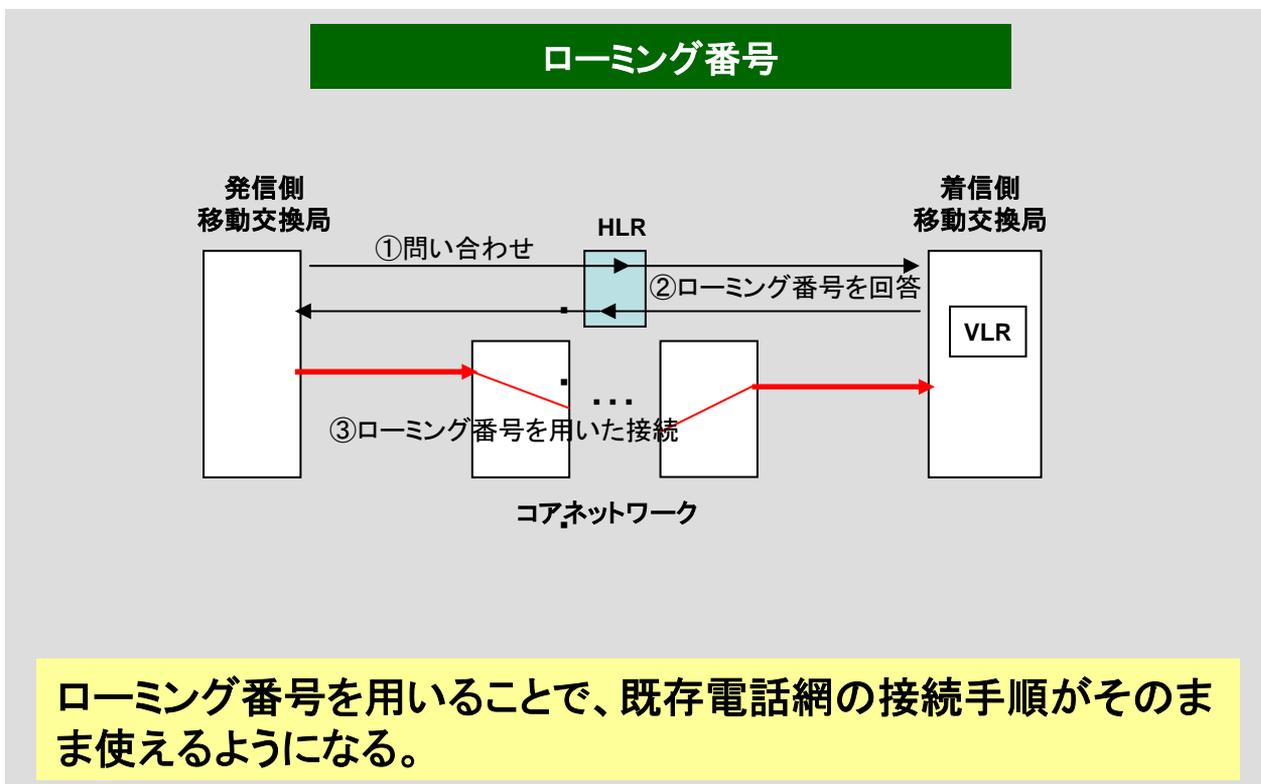
既存電話網の接続手順が使えるようにする

着信先の移動交換局は、HLR経由で発信元移動交換局から、着信先端末への問い合わせを受けると、コアネットワークでの回線設定に用いるローミング番号を一時的に割り当てる。

コアネットワークとして既存の電話網を使っているため、電話網と同じ接続手順にできるように、このローミング番号には、コアネットワーク内での着信先移動交換局の場所を示す情報が含まれている。

固定電話の番号と異なり、着信先の携帯電話番号自体には、所属する交換局の場所を示す情報が含まれていないので、このままではコアネットワーク側はどこに接続したらいいかわからないからである。

このローミング番号を用いた接続は、契約した携帯電話会社と別のネットワーク経由で通信を行うローミングの際にも同じ形で行われている。





5. ネットワーク

(15) ネットワークで用いる番号

位置管理、認証、課金などに用いる

ネットワークでは、080や090で始まる携帯電話番号と別に、端末の位置管理や認証や課金などのために、端末や契約者を識別するための色々な番号(ID)が使われている。

このうち、IMSIは全世界で、契約者を一意に識別できる番号であり、「国番号+携帯事業者番号+携帯事業者内番号」の構造を持ち、携帯電話番号とともにUIMカードに保存されている。

一方、TMSIは、携帯端末が位置登録するたびに移動交換局が一時的に割り当て、エリア内の端末を一斉呼び出しする際に使用される。TMSIはIMSIより短い番号であり、しかも、一時的に割り当てられる番号であるため、IMSIを無線区間で送受するより安全である。

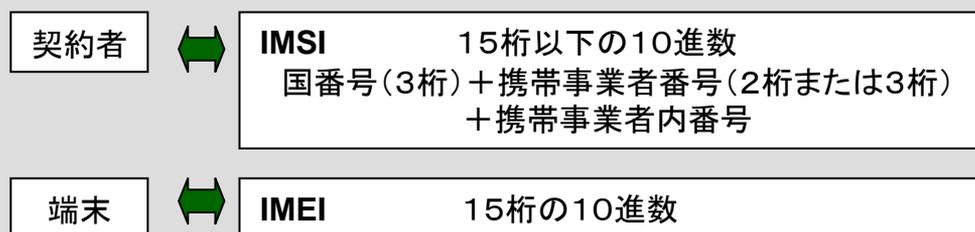
この他、IMEIは、端末機器に割り当てられるIDであり、端末メーカーが設定する。端末機器のIDと、契約者を区別するIDを別にすることで、同一端末に複数の契約者を設定するなどが可能になる。

ネットワークで用いる番号

IMSI: International Mobile Subscriber Identity

TMSI: Temporary Mobile Subscriber Identity

IMEI: International Mobile Station Equipment Identity



IMSIは人(ユーザー)に、IMEIは端末に関係付けられた番号。



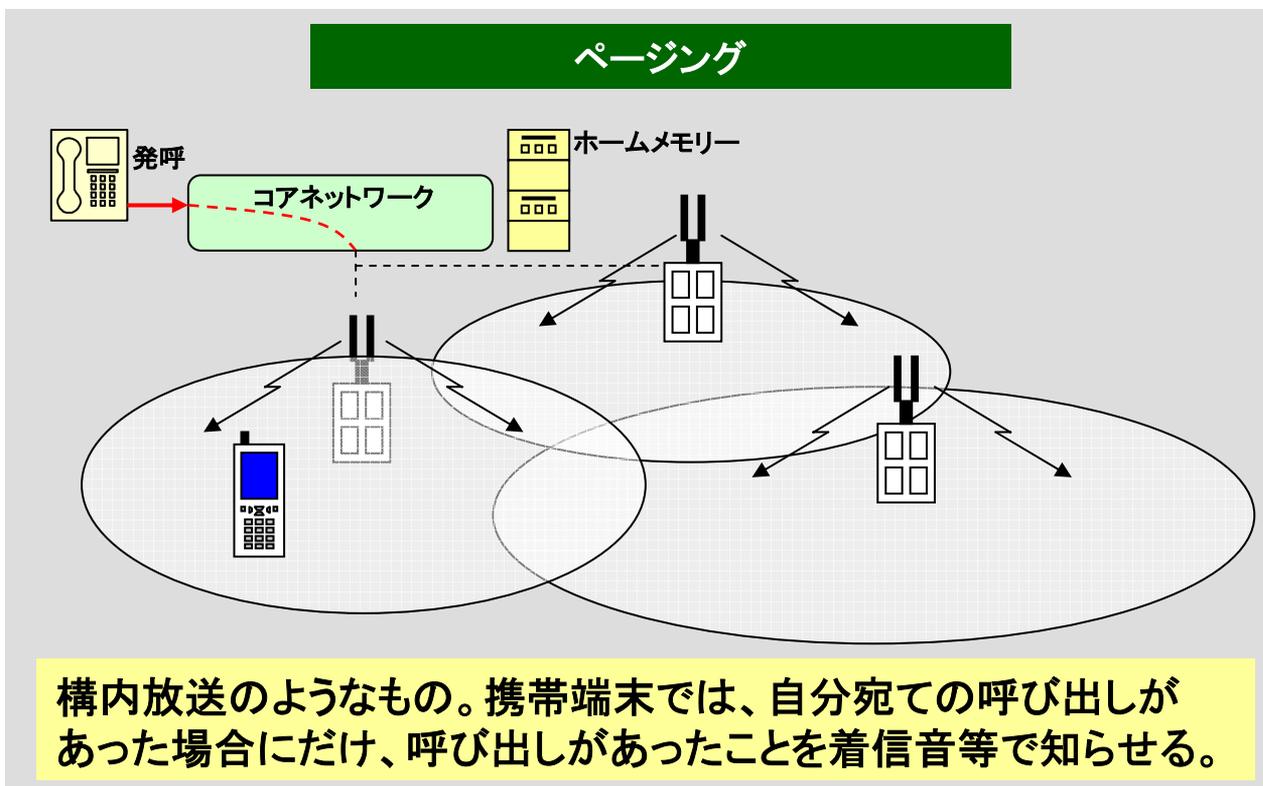
5. ネットワーク

(16)電話がつながるまで-5

位置登録エリア内での一斉呼び出し

携帯端末に対して着信があると、位置登録エリア内にある複数の基地局が一斉に、着信先の端末に対して応答するように呼び出しを行う。この呼び出しのことをページングといい、専用に使われるチャンネルをページングチャンネルという。端末の電源ONの後に、どのページングチャンネルを聞いておけばいいか、端末のグループごとに決められる。

ページングチャンネルでの呼び出しは、間欠的になされるので、端末は、その期間だけ通電することで電池の節約を行っている。





5. ネットワーク

(17) 一般の電子メールとの違いー1

携帯電話会社による独自方式

携帯電話で送受する電子メールは、固定PCをインターネットに接続して送受する電子メールとは細部で方式や機能が異なっている。

例えば、インターネットでのメールでは、一通のメールで送れる文字数に制限がないが、携帯電話では上限があり、添付できるファイル容量にも制限がある。また、絵文字などキャリアによって使用できる文字コードの範囲が異なっている。これらは、携帯端末の機能や、無線区間の伝送容量が限られているため、携帯電話会社が独自に仕様を決めているからである。

携帯電話ではこのほか、携帯端末同士で短いメッセージをやりとりしたり、ネットワーク側からのメッセージ通知のためのショートメッセージシステム(SMS)がある。

3G携帯電話でのメールサービスの違い

オペレータ	文字数	添付ファイル
NTTドコモ	全角5千文字以内	2Mバイト以内
KDDI (au)	全角5千文字以内	500Kバイト以内
ソフトバンク	300Kバイト以内	

携帯電話の電子メールでは文字数や添付ファイルに一定の制限がある。



5. ネットワーク

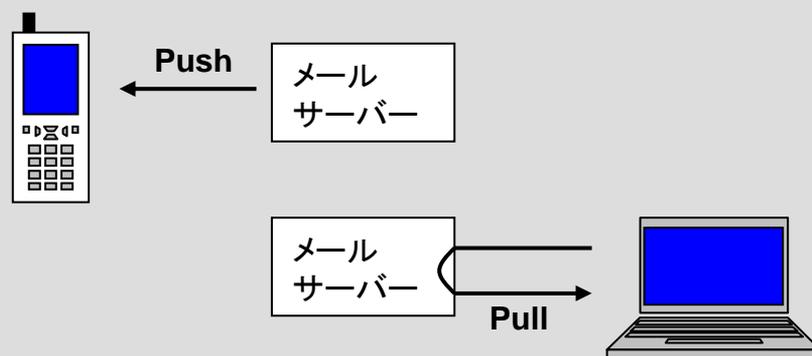
(18) 一般の電子メールとの違い-2

プッシュ方式

また、携帯電話と固定PCでは端末への配信方法が異なっている。携帯電話では、ネットワークは電源がONになっている端末には強制的にメールを配信するのに対して、PCでは、自分からISPのメールサーバーにアクセスして自分宛てのメールをとりにいく。そこで、前者をプッシュ型、後者をプル型と呼ぶ。

携帯電話では、電源を入れておけば、自動的に新着メールの到着が確認できる。電源が入っていなかったり、エリア外の端末に対しては、メールサーバーに蓄積しておき、一定時間後に再度、強制配信を行う。

携帯電話とPCの違い



固定PCでは、メールサーバーにとりに行くが、携帯電話は自動的に配信してくれる。



5. ネットワーク

(19) 一般の電子メールとの違い-2

電話番号との対応づけ

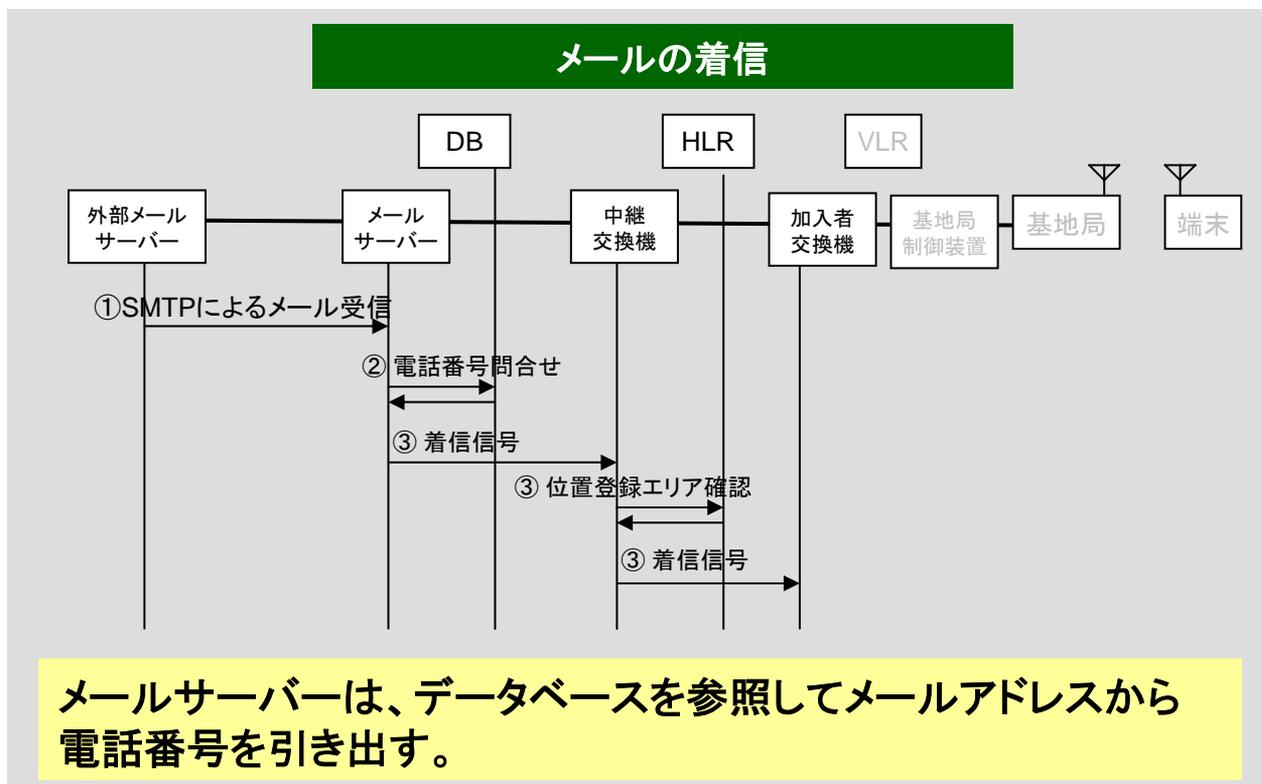
携帯端末へのメールの着信は、ネットワーク内部で、メールアドレスと携帯電話番号との対応がとられることで行われる。

AAA@BBB の宛先をもつメールが、携帯事業者のメールサーバー(BBB)に届くと、メールサーバーは、アドレス帳を参照して、AAAのメールアドレスに対応する電話番号を引き出す。

次に、この電話番号を用いてHLRに居場所を問い合わせることで、着信先の加入者交換機を知り、その交換機に向けメールを転送する。

その後の手順は電話の場合と同じになる。

発信の場合は、携帯事業者のメールサーバーに届いた後は、DNSに問い合わせることで、宛先アドレスを管理する外部メールサーバーのIPアドレスを知り、標準的なメールプロトコルを用いて転送する。





5. ネットワーク

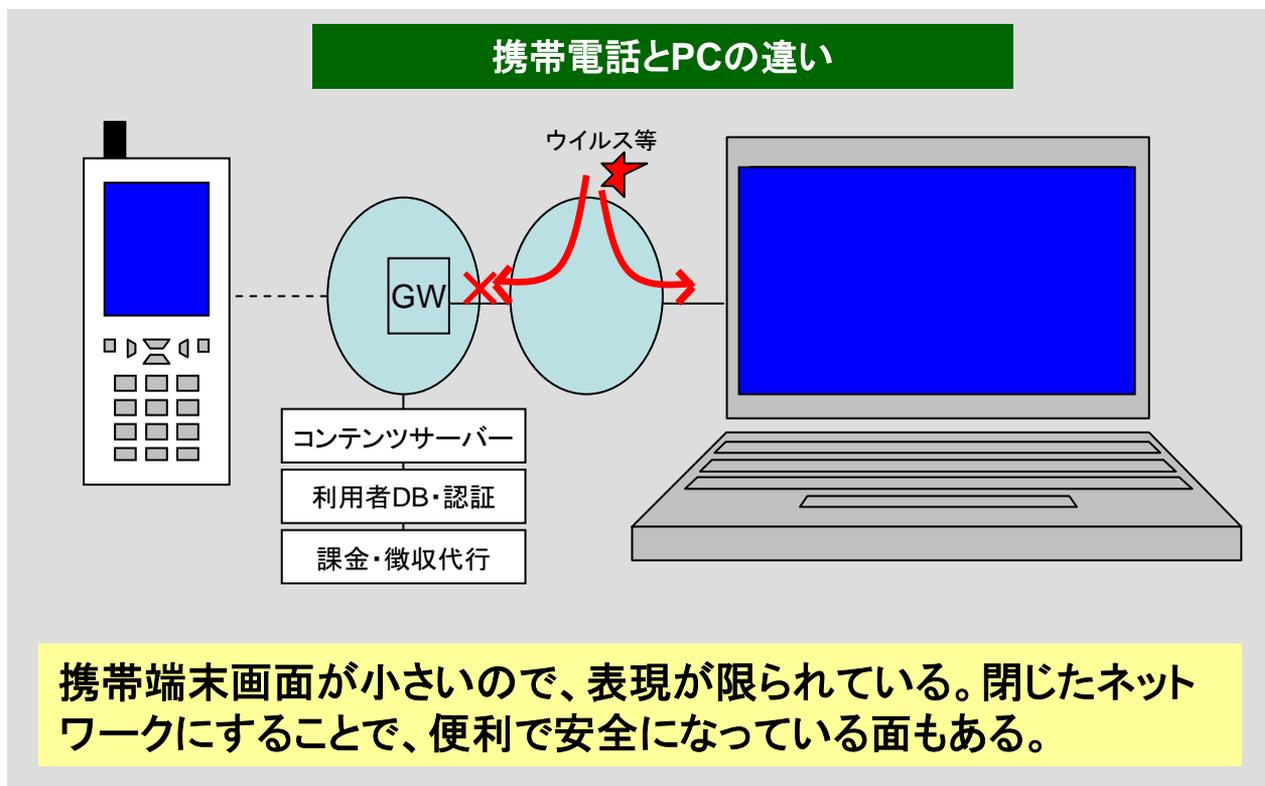
(20) 一般のWEBとの違い

閉じたネットワーク

端末の機能や無線区間の容量が限られているため、WEBも、インターネットと違う携帯電話会社の独自方式が使われている。つまり、WEBサーバーとブラウザの仕様が固定PCと異なっている。特に、携帯電話では、スタイルシートが使えない、スクリプトは一部を除き利用できないなどにより、固定PCのような多様な表現ができない。また、プロトコルはHTTPやSMTP程度しか利用できない。

ゲートウェイに置かれたWEBサーバーでは、携帯端末画面上に表示できるように、マークアップ言語やプロトコルの変換・削除を行っている。

そこで、基本的には閉じたネットワークになっているが、携帯電話専用の認証や課金システムがあるので、これを利用することでコンテンツダウンロードやネットショップサービスができる、ウイルス侵入や詐欺などの不正行為が防止できるなどの利点もある。





5. ネットワーク

(21) 一般のTCPとの違い

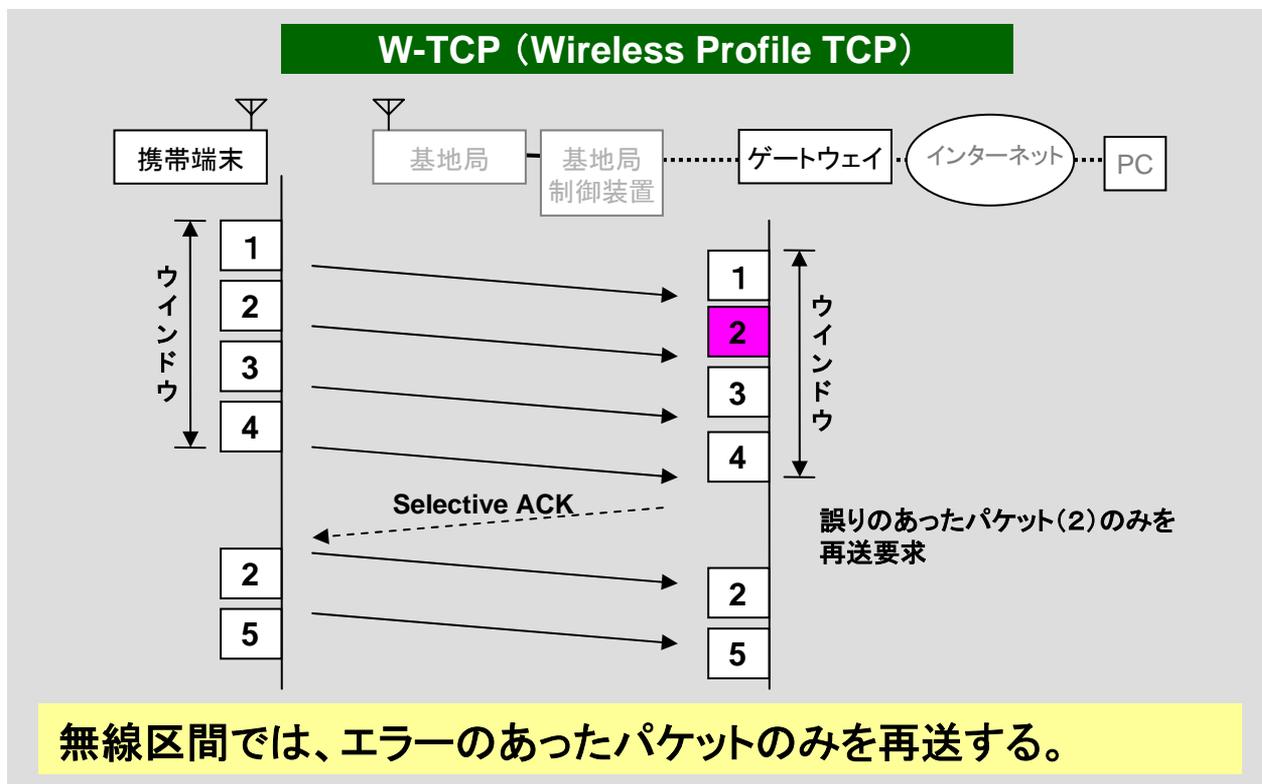
W-TCP

インターネットのデータ通信方式は、別名TCP/IP方式と呼ばれるように、両端のホスト/端末間のトランスポート層プロトコルにはTCPが用いられる。

一方、第3世代携帯電話では、変動が大きい無線区間の特性を考慮したw-TCPと呼ばれる特別のプロトコルが用いられている。

このプロトコルでは、受信側からの応答には、誤りが検出された場合にのみ、当該パケットのみの再送要求を送信するSelective ACK方式を使っている。

また、応答を待たずに送ることのできるデータの容量(ウインドウサイズ)はTCPの場合、最大64Kバイトであるが、w-TCPではこれを大きくすることで、無線環境が良い場合には、高速転送が可能になるようにしている。w-TCPとインターネット側のTCPとの間の相互変換はゲートウェイ内のプロキシサーバーで行われている。





5. ネットワーク

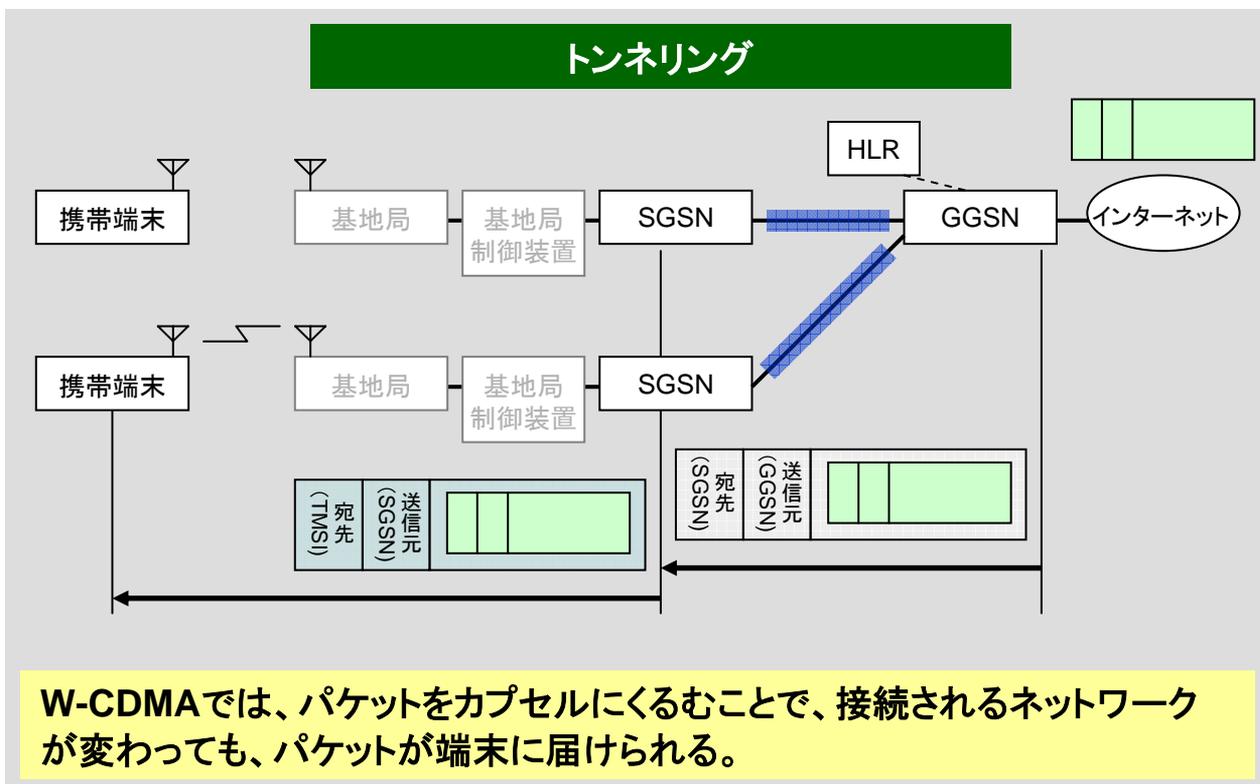
(22) 移動にもなうパケット宛先変更

トンネリング

電話の場合と同じように、データ通信においても端末移動に伴い、通信経路が変化するため、パケットの配送方法に工夫が必要である。携帯端末との間のパケットの交通整理をする装置の管理範囲を越え移動すると、ネットワークからみると「宛先不明」になるからである。

W-CDMAとCDMA2000方式のコアネットワークは異なった方法がとられており、W-CDMAでは、中継パケット交換機(GGSN)と、加入者パケット交換機(SGSN)の間でトンネルが張られる。

GGSNは、HLRを見に行くことで、宛先携帯端末の位置登録エリアから、SGSNのIPアドレスを知り、パケットをカプセルにくるんでSGSNに送る。その後、SGSNでは、カプセルをとり外して、端末にパケットを送る。このようにすることで、途中の経路が変わっても、中身のパケットを変えなくても携帯端末に届く。





5. ネットワーク

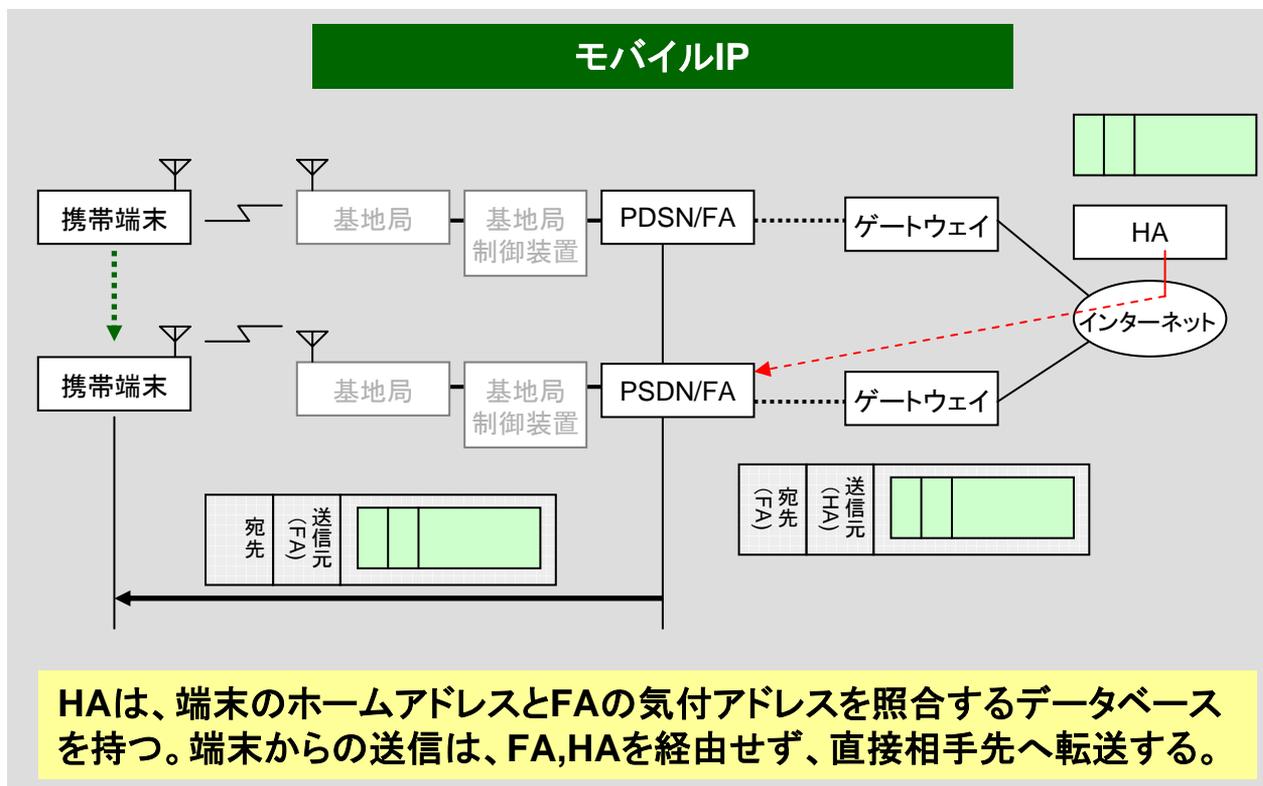
(23) 移動にともなうパケット宛先変更

モバイルIP

一方、パケット交換用コアネットワークにTCP/IPのインターネット網を使用しているCDMA2000方式では、モバイルIPと呼ばれる方式を用いている。TCP/IPでは、接続しているネットワークが変わると、端末のIPアドレスが変わるので、県を越えて端末が移動するような場合には、IPアドレスが変わってしまい、通信が途切れてしまう。

そこでモバイルIPでは、端末のホームネットワークにあるホームエージェント(HA)と、移動先のフォーリン・エージェント(FA)を経由してパケットを転送する。HAでは、端末が一時的に所属することになったFAのIPアドレス(気付アドレス)を管理しているのので、コアネットワーク側からはFA経由でパケットが届けられる。

端末側からの送信方向では、FA、HAを経由せず、直接、相手先にパケットが転送される。





5. ネットワーク

(24) QoS制御

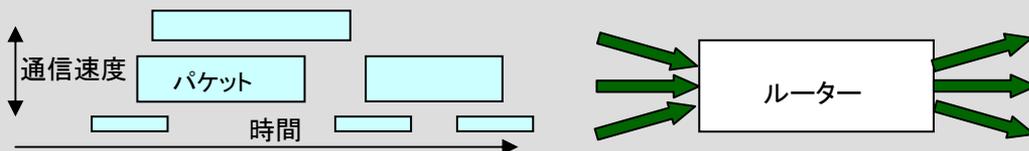
QoS制御

QoS (Quality Of Service)とは文字通りサービス品質のこと。QoS制御とは、通信速度や、通信相手に信号が届くまでの遅延時間などの通信サービスの品質に関する数値を、電話や電子メールなどの通信サービスの種類ごとに、一定値に抑えるようにコントロールすることをいう。顧客に対して通信サービスを提供する通信会社には当然の責務だが、固定電話という単一の通信サービスを扱っていた時代と違って実はそうたやすいことではない。

高い伝送速度は必要ないが短い遅延時間が必要な電話などのリアルタイム通信用のパケットと、多少遅れて届いてもいいがデータ誤りを極力抑えたり、全体として速い伝送速度を要するデータ通信用のパケットが同じ伝送路を共有するため、ルーターで、サービスの種類に応じて、パケットの転送順序を決める優先制御などが必要になるからである。

QoS制御のためのガイドライン (WiMAX Forumより)

クラス	アプリケーション	通信速度	遅延時間	ゆらぎ(ジッター)
1	対戦型ゲーム	50kbps	80ms	N/A
2	電話 (VoIP)、ビデオ会議	64kbps	160ms	<50ms
3	ストリーミング	< 2Mbps	N/A	< 100ms
4	インスタントメッセージ、Web閲覧	2Mbps	N/A	N/A
5	コンテンツダウンロード	10Mbps	N/A	N/A



ルーターは、到着した個々のパケットのQoS基準を満たせるように、パケット転送の順序などを制御する。



5. ネットワーク

(25) ローミング

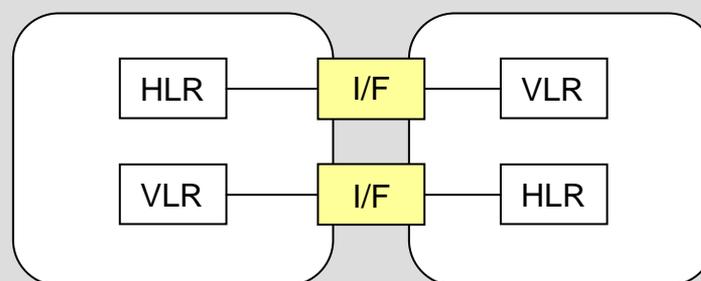
海外でも使える携帯電話

契約している電話会社のサービスエリア外にて、他の電話会社のネットワークを使って通信することをいう。ローミングには、電話会社同士で、ネットワークが接続され、料金等に関する契約が結ばれている必要がある。また、他の電話会社が使用する通信方式と周波数に対応した携帯端末を用いる必要がある。

世界で最も普及しているGSM方式の電話機では、同じ端末で国際ローミングが広く行われている。また、3G端末では、GSM方式も利用できるデュアル端末がある。

自分の端末がローミングに対応していない場合には、ローミングできる端末に、契約者情報が含まれているSIM/UIMカードを装着する方法や、ローミングに対応している端末を借りて、自分宛ての電話を着信転送するよう設定する方法がある。

国際ローミング



Roamとは、英語では「うろつく」という意味。

相互にローミングを行う事業者間で、HLRとVLR間をインターフェイスを介して相互接続する。



6. 新しい無線方式

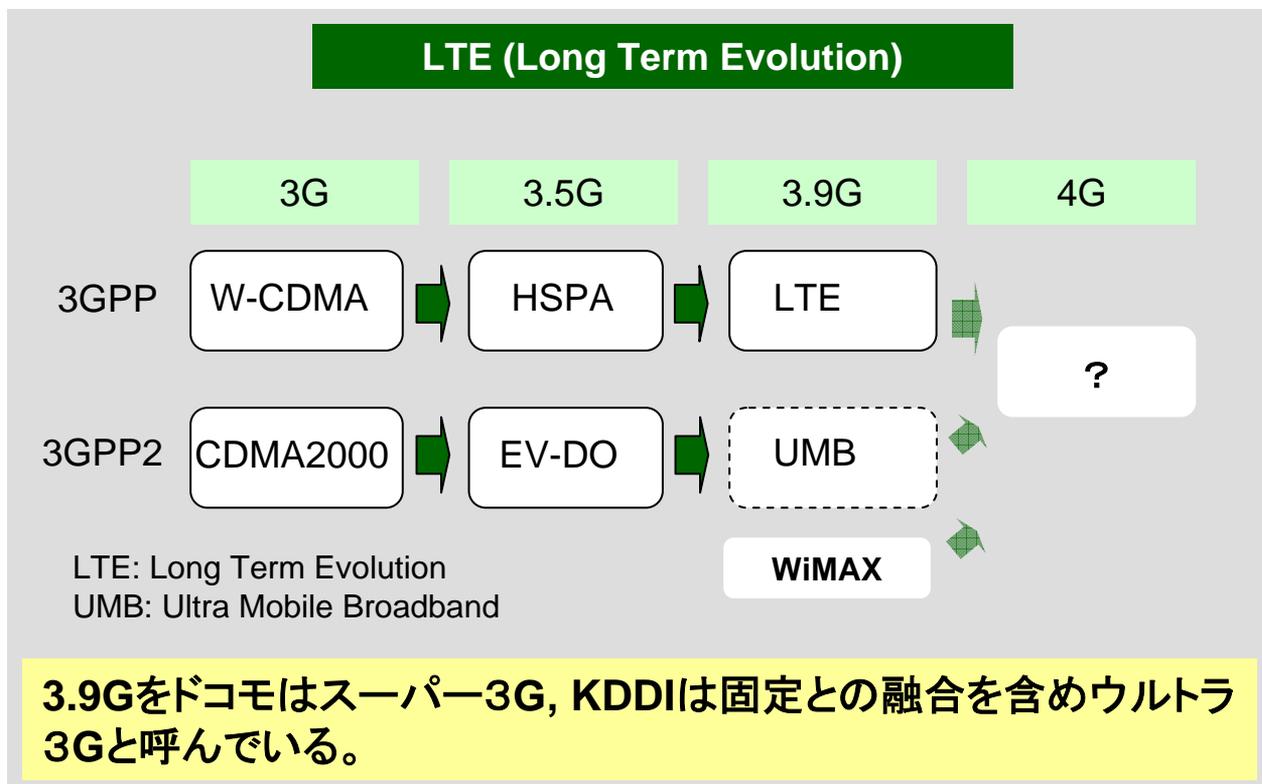
(1) LTE

次世代携帯電話の統一世界標準に

LTE (Long Term Evolution) はW-CDMAの後継方式として、下り100Mbps, 上り50Mbpsの高速化を図る方式として3GPPが定める規格を言う。ITUが想定する第4世代(4G)に近いため、3.9Gとも言われる。ネットワークは、無線とコアネットワークを含め全てIPパケット伝送するオールIP方式である。

無線区間では、下りにOFDMが採用されるなどにより、3G(W-CDMA)や3.5G(HSPA)方式とは互換性がない。最大100Mbps伝送の場合、片方向だけで20MHzの帯域を既存システムと別に新たに割り当てる必要もあるので、周波数の確保や導入時期が課題である。

LTEでは、サービス品質面での要求が多様なサービスを提供できるように、特にパケットの遅延時間の大幅な短縮を図っている。現在、世界の主要な通信事業者が採用する意向を表明していることから、事実上の世界統一規格になる見通しである。





6. 新しい無線方式

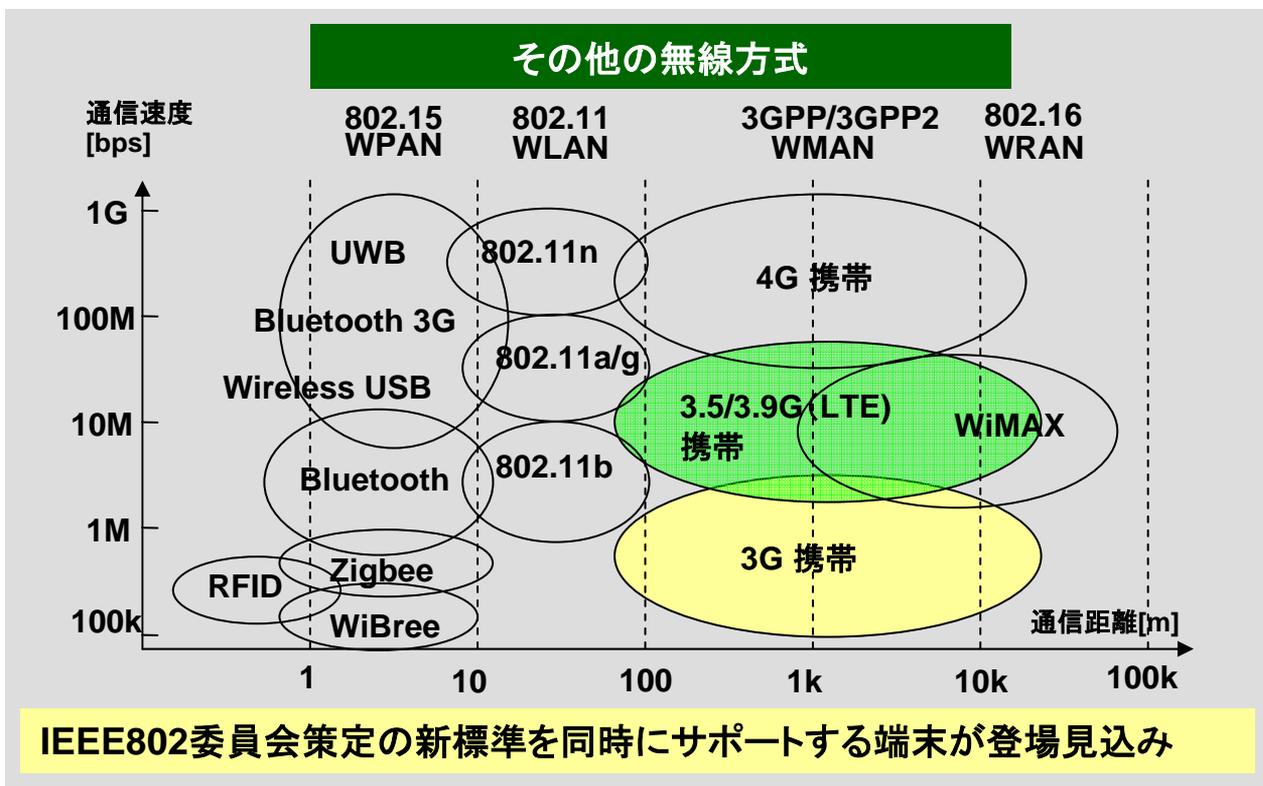
(2) その他の無線方式

IEEE802

無線方式を用いる通信方式には、携帯電話のほかに様々な規格があり、携帯端末によっては、これらの規格にも対応できるユニットが組み込まれている。至る所に超小型のセンサが組み込まれ、無線での監視制御が容易になるユビキタス社会では、携帯端末への多様な無線方式搭載が一層進むことが予想される。

現在、このような無線規格の国際的な標準化は、携帯電話事業者やメーカー中心の団体(3GPPや3GPP2)が主導する規格を除き、IEEEの802委員会の作業部会を中心に行われており、各作業部会が担当する規格は概ね通信距離によって分かれている。

このうち、最も普及しているのは802.11部会が扱う広域無線LAN(WLAN)規格であり、微弱出力の免許不要機器を用い、100m程度までの通信距離を対象とする。現在、策定中の11n規格では、MIMOなどの技術を用いることで最大600Mbpsまでの伝送が可能である。





6. 新しい無線方式

(3) その他の無線方式

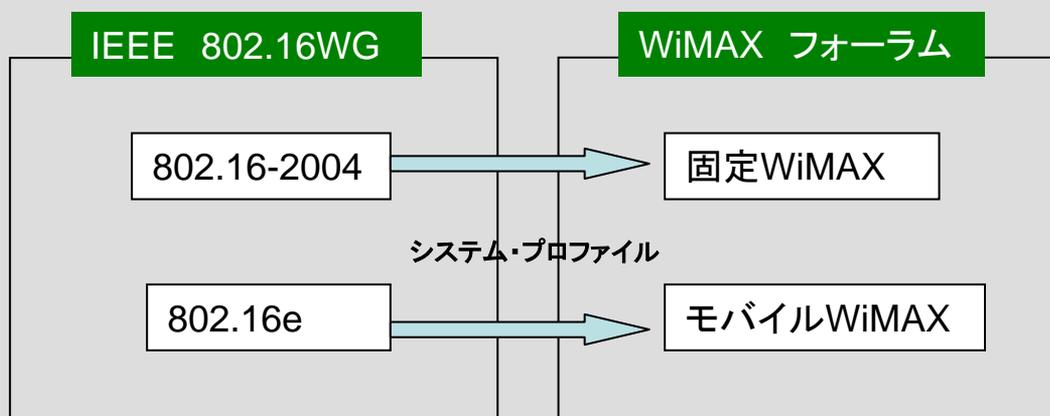
WiMAX

WLANのほか、携帯電話がカバーする領域に近い方式にIEEE802.16部会が規格を策定したWiMAXがある。当初、WiMAXは高速の足まわり用などの固定地点間の通信方式として策定されたが、その後、車などでの移動時にも対応できるようにモバイル仕様を追加したこと、インテル社などの半導体や無線機器の大手ベンダーが推進していることにより、次世代モバイル通信の有力方式の一つになっている。

802.16部会が策定した規格文書では、広範な応用が可能なように、適用できる項目やパラメータが羅列されているが、それらを取捨選択して実装規格とし、機器の認証や機器間の相互接続試験の支援を行う機関としてWiMAXフォーラムがある。

ITUはIMT2000方式の一つとして、WiMAXを認定しており、世界各国では、モバイルWiMAX標準仕様を用いたサービスが2008年末から2009年に開始される見込みである。

WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access



802.16 WGにて羅列したオプション規定やシステムパラメータの採用、装置の認証はWiMAXフォーラムが行う。



6. 新しい無線方式

(4) OFDMとOFDMA(2/2)

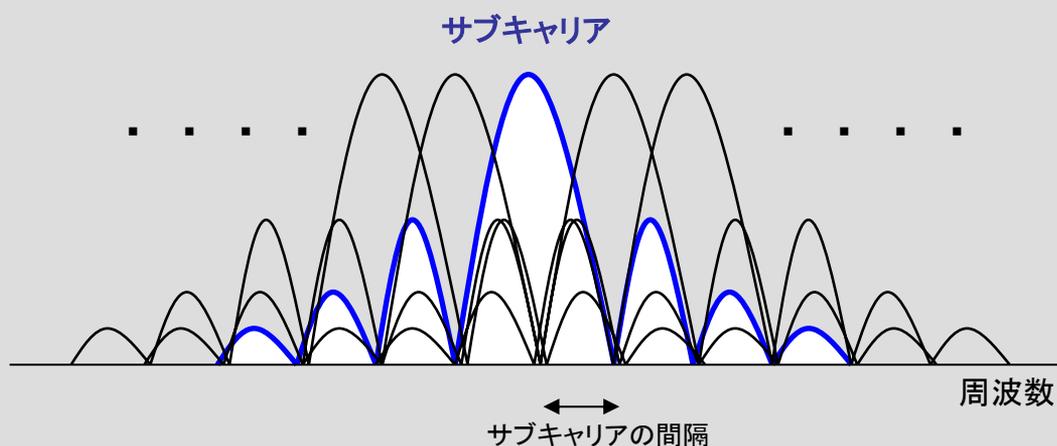
FDMA方式の変形に先祖返り

LTEやWiMAXでは、無線チャネルの多重方式にOFDM方式を採用している。OFDMは、チャンネル毎に異なる周波数の電波を使用するFDM方式での周波数間隔を極限まで狭めることで利用効率を改善した方式であり、すでに地上デジタル放送や無線LAN等で広く利用されている。

デジタルデータで変調された波のスペクトラムには山と谷が交互にあり、信号の強さがゼロとなる周波数が等間隔に並んでいる。そこで、谷にあたる周波数に、別のサブキャリアの中心周波数が重なるように配置することで、サブキャリア同士が干渉することなく通信できるようになる。

OFDMには、複雑な時間波形を多数の正弦波の成分に分解するフーリエ変換処理が必要となるが、これを高速で行うFFT(高速フーリエ変換)を集積回路により実現することで可能になった。

OFDM変調波のスペクトラム



サブキャリアの谷にあたる周波数に、別のサブキャリアを配置することで、互いに干渉なく通信できる。1つの通信に数十から数百ものサブキャリアが使われる。



6. 新しい無線方式

(5) OFDMとOFDMA(2/2)

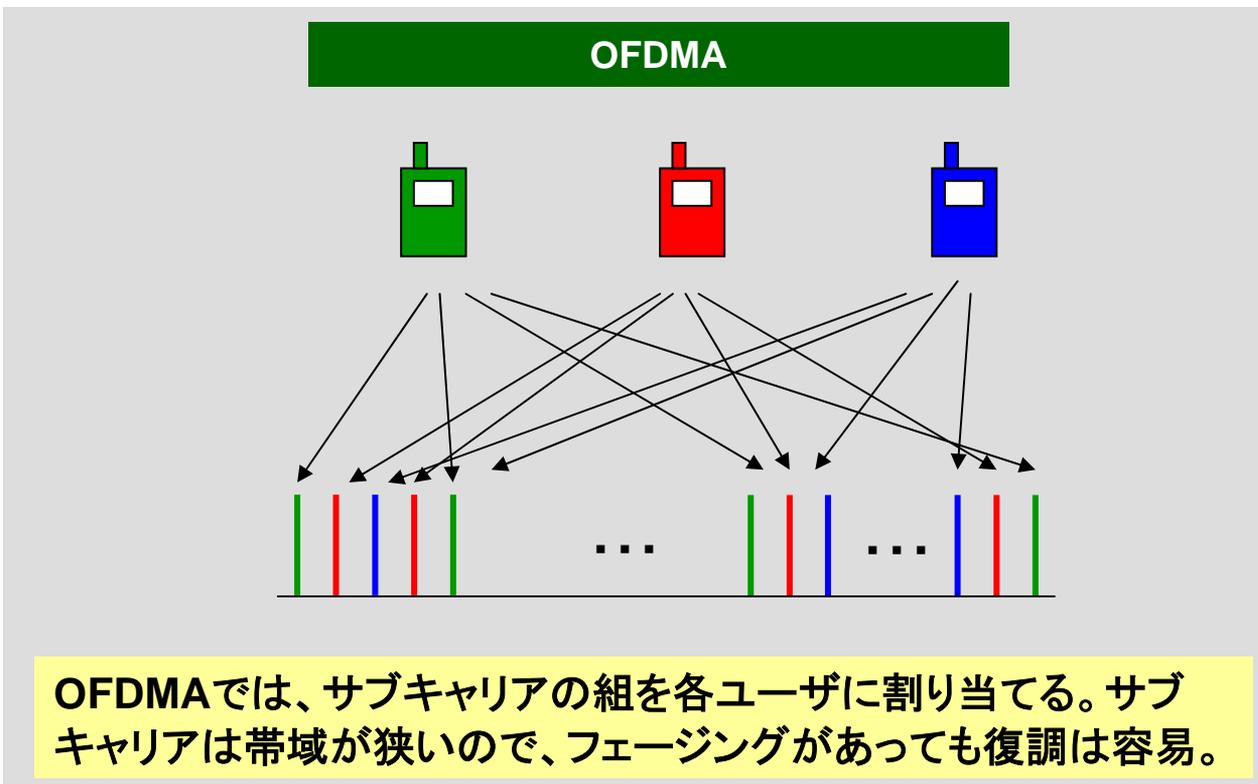
マルチパスフェージングに強い

OFDMAは、OFDM技術を応用した多元接続方式であり、多数のサブキャリアの組(サブセット)を、ユーザに割り当てることで、同時通信を可能にする方式である。

広帯域のシングルキャリアを用いる場合に比べて、マルチパスフェージングの影響を受けにくい。なぜならば、OFDMAの場合、マルチパスフェージングを受けると、個々のサブキャリアの振幅は上下に変動するものの、サブキャリアの帯域幅が狭いので復調は容易にできるからである。一方、シングルキャリアでは、帯域内の歪みが大きくなるため復調が困難になる。

サブセットの構成方式には、連続したサブキャリアで構成する方法、一定間隔づつ離れたサブキャリアで構成する方法などがある。

ただし、OFDM(A)では、ピーク電力が大きくなるため、直線性の良いアンプや、高い電力効率(消費電力に対する送信電力の比)を持つ送信機の実現が重要課題である。





6. 新しい無線方式

(6) モバイルWiMAXとLTEの比較

両者は類似している

3GPP策定のLTEと、IEEE802.16策定のモバイルWiMAXは一部を除いて、類似した無線方式を採用している。

背景には、高速データ通信の需要増対応のため、広帯域チャネルで高い周波数利用効率が達成できるOFDM(A)が選ばれたこと、第3世代携帯電話では2つに分かれているネットワークを、音声を含め全てパケットで伝送するネットワークに統一することなど、電話からデータ通信主体の流れが鮮明になってきたからである。

とはいえ、後に策定されたLTEでは、次のような相違や改善が見られる。

- ・上り方向は、端末電力が限られているため、高い電力効率が容易に達成できるシングルキャリアFDMA方式を採用
- ・音声等のリアルタイム型通信を重視して、遅延時間、ジッターを大幅に短縮

モバイルWiMAXとLTE

	モバイルWiMAX	LTE
アクセス方式	TDD主体 (FDDも可)	FDD主体 (TDDも可)
帯域幅	3.5-20MHz	1.4-20MHz
変調方式 下り 上り	OFDMA/~64QAM OFDMA/~64QAM	OFDMA/~64QAM SC-FDMA/~64QAM
遅延時間	伝送遅延 20ms (総合: 音声160msなど)	伝送遅延 5ms以内 制御遅延 100ms以内
MIMO	適用	
ハイブリッドARQ	適用	
ベアラサービス	パケットのみ適用 (音声はVoIP利用)	

LTEでは、現在の携帯電話の利用環境やサービス品質に配慮している。



6. 新しい無線方式

(7) 第4世代

下り速度は最大1Gbpsへ

第4世代を意味する4Gとは、ITUによると、高速移動時(60Km/h以上)で100Mbps、低速移動時(歩行中)で1Gbpsの伝送速度を実現する方式であり、IMT-Advancedとも称される。

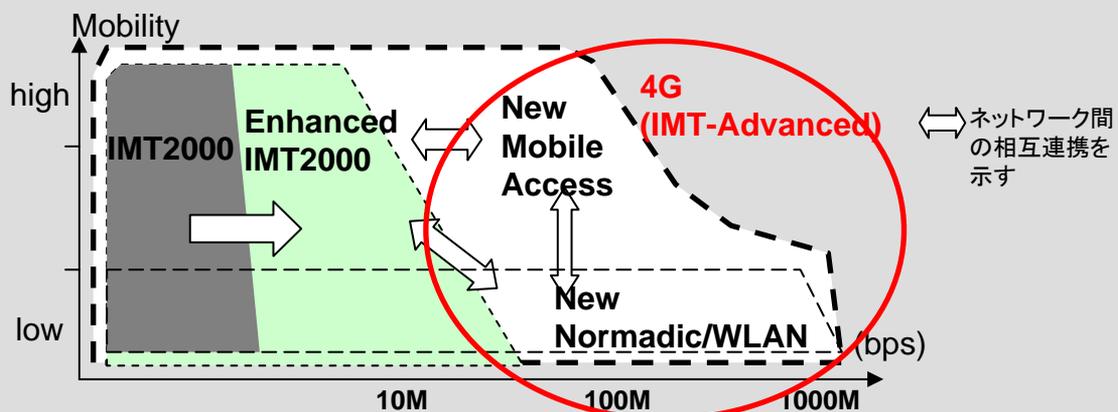
4Gでの無線技術は、OFDMA、適応変調、MIMOなどを用いている3.9Gの技術を継承発展したのになると予想される。

ここでの大きな課題は周波数の割り当てである。1システムには少なくとも100MHzの帯域幅が必要であるので、仮に2事業者に割り当てるとすると、少なくとも200MHzの帯域が必要となる。その候補となる3.5GHz帯は、第3世代が利用する2GHz帯より更に高いため、伝播減衰によりサービスエリアが狭くなり、また屋内に電波が届きにくくなる。そこで、フェムトセル基地局などによる固定通信と移動通信のシームレスな接続(FMC)、第3世代やLTEとのデュアルモード利用が行われることになるだろう。

3G・4G用の新周波数帯域と、4Gの領域

世界無線通信会議(WRC-07, 2007年11月)では以下の合計428MHz帯が国際的に割り当てられた。

- ① 3.4-3.6 GHz (200MHz)
- ② 2.3-2.4 GHz (100MHz)
- ③ 698-806 MHz (108MHz)
- ④ 450-470 MHz (20MHz)



日本は①3.4~3.6GHz、②698~806MHz(一部)を中心に利用を推進予定