

# FOMAの無線ネットワーク設計概要

## その2 無線ネットワーク設計とパラメータ最適化の事例

「その1」ではW-CDMAの容量設計と無線回線設計の基礎について説明した。

今回は実際の無線ネットワーク設計において考慮すべき事項を例示し、パラメータ最適化の例を説明する。W-CDMAではすべての無線基地局装置で同じ周波数が用いられ、常に干渉が存在する状態でシステムが動作するため、容量と品質のバランスを保ちつつ、いかに干渉を抑えるよう全体をコーディネートできるかがポイントとなる。

いしかわ よしひろ  
石川 義裕

いわむら みきお  
岩村 幹生

はやし たかひろ  
林 貴裕

本稿では、W-CDMA方式の無線ネットワーク設計で考慮すべき事項について例を挙げて説明する。

## 2. セクタ構成

限られた周波数帯を使用する移動通信システムでは、1つの無線基地局装置（BTS：Base Transceiver Station）がカバーするエリア（セル）を小さくすることにより、周波数利用効率を高めることが可能である。従来の周波数分割多元接続（FDMA：Frequency Division Multiple Access）方式、時分割多元接続（TDMA：Time Division Multiple Access）方式、また、W-CDMAにおいても小セル化により、単位面積当りの収容可能なユーザ数が増えるからである。このとき、BTSのアンテナに指向性を持たせてセルを角度方向に分割すれば、BTS数を極端に増やさずにセルを細分化することが可能である。この角度方向に分割されたエリアは「セクタ」と呼ばれる。図1(a)は各セルを3つのセクタに分割した3セクタ構成の例、図1(b)は6つに分割した6セクタ構成の例である。

W-CDMAでは、全セル、全セクタで同一周波数を繰り返し利用するため、セル間の干渉に加えて隣接するセクタからの干渉も存在する。この干渉の大小は、図1で同一のセルにあり、互いに隣接するセクタがどの程度重なり合う

## 1. まえがき

FOMA（Freedom Of Mobile multimedia Access）サービスは、無線アクセス方式として広帯域符号分割多元接続（W-CDMA：Wideband Code Division Multiple Access）方式[1]、[2]を採用している。「その1 W-CDMAの容量設計と無線回線設計の基礎[3]」で説明したように、W-CDMA方式は常に干渉が存在する状況で動作するシステムであり、その容量を最大限に活用するためには、品質やカバレッジのバランスをうまくとり、なおかつ、他の通信からの干渉をうまく避けられるようにセル構成上の工夫をしたり、各種パラメータの最適化を行ったりする必要がある。

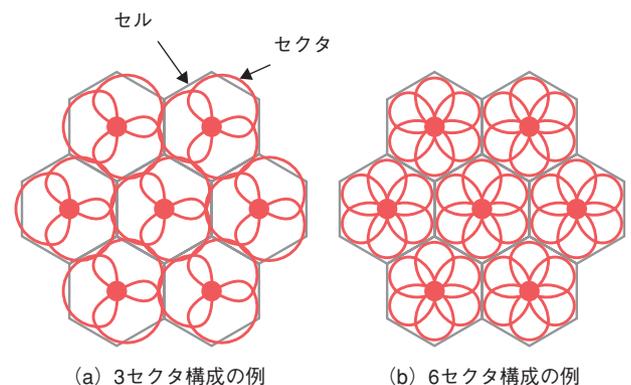


図1 セル・セクタ構成の例

かによって変わってくるため、BTSアンテナの水平面内指向性が重要となる[4]～[7]。図2に水平面内指向特性のモデルを示す[8]。図2では、アンテナ正面方向と比べて利得が3dB低くなる両側2つの点間の角度（半値幅）をビーム幅（BW：Beam Width）と定義し、これをパラメータとしていくつかの例を示している。図2では、アンテナからの放射電力が一定となるよう、指向方向の利得が調整されているため、BWが大きくなると正面方向（0°方向）への利得が減少する特性を示す。アンテナの水平面内指向性が容量（1セクタ当り収容可能なユーザ数）に与える影響を定性的に考察すると以下のようなになる。水平面内のビーム幅が狭くなると、セクタ境目の低利得領域が広がるため所要送信電力が平均的に増加し、さらにはダイバーシティハンドオーバー（DHO：Diversity HandOver）の効果も得られなくなるため、容量が減少してしまう。反対に、ビーム幅がある程度広い場合にはセクタ間DHOの効果は得られるものの、ビーム幅を過剰に広くすると、セクタ間干渉が増大し、それと同時にセクタ正面方向への利得が低下してしまうため、平均的に所要送信電力が増加し、結果として、容量が減少してしまう。このため、ビーム幅には容量が最大となる最適値が存在すると考えられる。

本稿では、いわゆるシステムレベルシミュレーションによる容量評価を行うことにより、ビーム幅の最適値を求める。システムレベルシミュレーションは、コンピュータ上で複数のセル・セクタの配置および距離による伝搬特性や対数正規シャドウイングを模擬し、さらに呼の生起・終了や送信電力制御、DHOなどの移動端末の動作を移動端末の移動を考慮しながらシミュレートする手法である。ここでは、文献[9]に示されたものと同様のモデルを用い、19個のセルからなるエリアを評価する。

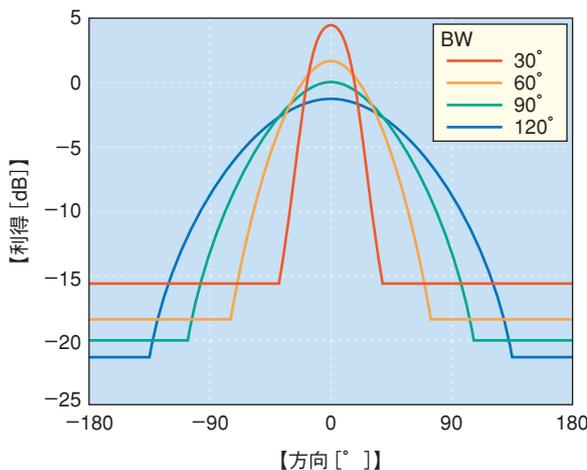


図2 セクタアンテナ水平面内指向特性モデル

水平面内ビーム幅に対する上りおよび下り回線容量の評価結果を図3および図4にそれぞれ示す。両図では、3セクタと6セクタのいずれの場合も、360°をセクタ数で割った値を基準ビーム幅、そのときの容量（1セクタ当り収容可能なユーザ数）を基準容量とし、ビーム幅（横軸）と容量（縦軸）をそれぞれ規格化している。図3および図4により、上り回線ではおおむね基準ビーム幅の0.6倍程度が最適であること、また、下り回線では基準ビーム幅の0.5倍程度が最適であることが、それぞれ分かる。上り回線の最適ビーム幅が若干大きいのは、上り回線ではセクタ間DHO時に同一セル内の複数のセクタで受信された信号を最大比合成することにより所要送信電力が抑えられるのに対し、下り回線ではセクタ間DHO時に複数のセクタから送信される電力がオーバーヘッドとなるためである。上下回線とも、水平面内ビーム幅を最適値とすることで、基準容量の1.3倍程度の容量が得られることが分かる。

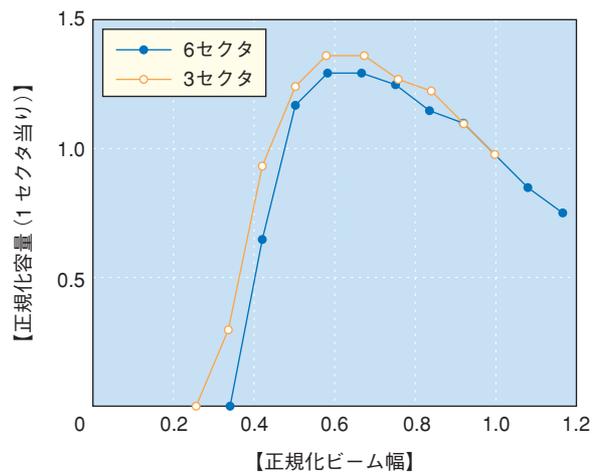


図3 水平ビーム幅に対する上り回線容量

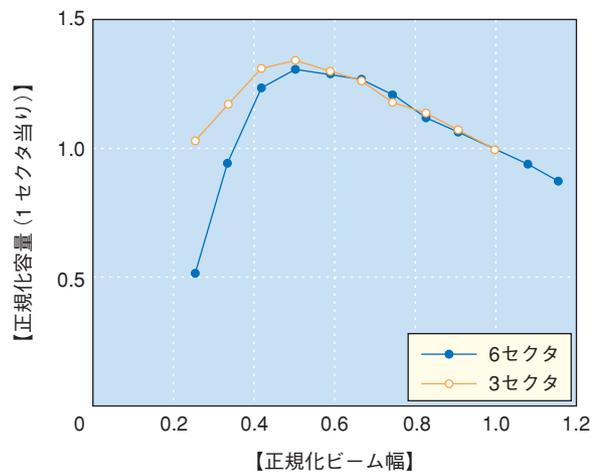


図4 水平ビーム幅に対する下り回線容量

### 3. BTS アンテナのチルト角

周辺セル間の干渉を互いに避けるという意味からは、BTSアンテナの垂直面内指向性が重要となる。移動通信ではBTSアンテナの垂直面における指向方向を水平方向よりも地面方向に傾けて使用する「チルティング」によって干渉を軽減する方法が一般に採用されている。干渉回避を重視してチルティングを深く設定し、アンテナ方向がセル端よりも深くなった場合は、セル端方向への利得が低下するためチルト補償という形でリンクバジェット上も損失を計上する必要がある[10]。W-CDMAの場合は、送信電力が容量に関係することから、干渉軽減のためにチルト角を深くしても電力の補償量が増えてしまうと必ずしも容量の増大にはつながらない。そのため、隣接セルとのエリア境界方向からやや深めのチルト角が最適に近と考えられる。

### 4. 階層化セル構成

マクロセル・マイクロセル・ピコセルというような大きさが異なるセルをオーバレイしたり、屋外セルと屋内セルを階層的にオーバレイしたりして運用する方法がある。階層化セル構成を採った場合、マクロセルとマイクロセルの相互間の干渉に注意して設計を行う必要がある。特に複数のW-CDMAキャリアを運用できる場合、トラフィックの状況やマクロセルとマイクロセルの位置関係によっては同一キャリアを双方に適用することが最適とは限らず、マクロセルとマイクロセルでキャリアを区別する運用形態も考えられる。この場合には、後述する隣接キャリア間の干渉という観点からの検討も必要となる。したがって、ケースごとにマクロセルとマイクロセル相互の干渉や隣接チャンネル干渉を十分検討し、セル構成やキャリア運用形態を決定する必要がある。また、容量が問題となっている場合には

階層化セル構成よりも、小セル化、マイクロセルの積極的な導入の方が効果がある場合もある。ここでは、階層化セル構成について例を挙げて説明する(図5)。

#### (1) 高トラフィック地区における階層化セル構成

駅前広場やショッピングモールなど、トラフィックが密集した場所がスポット的に存在する場合がある。これらのスポット(ホットスポット)は点在し、規模もさまざまであるため、マクロセルのみでカバーすると非効率となる場合がある。例えば、ホットスポットがセル端に存在した場合、所要品質を得るための送信電力が増大するため、結果として容量の低下を招く。そこで、ホットスポットに専用のBTSを配置して、通常のマクロセルの中にマイクロセルを構成し、マイクロセルによってスポット的な高トラフィックを吸収し、マクロセルのトラフィックを緩和する。これにより、全体として効率が上がる場合がある。

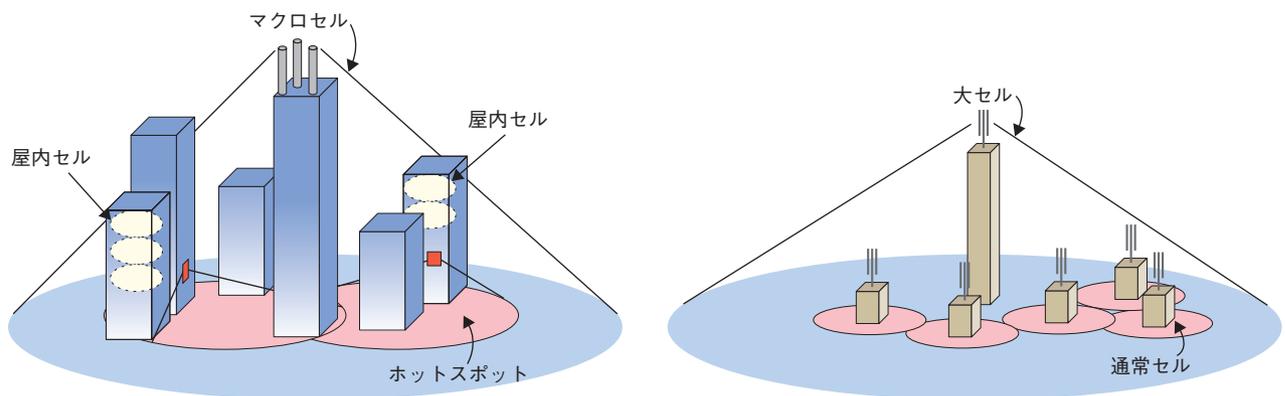
#### (2) 屋内セルと屋外セルとの階層化セル構成

屋内セルとして、地下街やビル内などが考えられる。

地下街は閉空間であり、通常屋外セル(マクロ局)からの干渉を受けにくいいため、構成が比較的容易かつ屋内セルの効果も高い。

屋内セルで特に注意が必要なのは、ビル内の特に高層階である。高層階では多数のマクロ局が見通しとなり、共通パイロットチャネル(CPICH: Common Pilot Channel)の受信レベルが高いマクロ局が多数存在する。したがって、屋内セルのCPICHレベルが支配的となるセル構成になるよう、特に配慮する必要がある。なおかつ、屋内屋外相互の干渉が問題となる場合が多い。設計が不適切だと、容量が低下したり、多数のマクロ局の間でハンドオーバーが頻繁に発生したりする場合もある。

高層階における屋内セルの設計では、屋外から屋内、



(1) 高トラフィック地区および (2) 屋内セルと屋外セルの階層化セル構成の例

(3) 低トラフィック地区における階層化セル構成の例

図5 階層化セル構成の例

屋内から屋外への相互の伝搬のほか、屋外と屋内の両方のトラフィック状況をケースごとに勘案し、相互の干渉量を十分検討した上で、屋内セルの構成や送信電力や使用する周波数などを決定する必要がある。

(3) 低トラフィック地区における階層化セル構成

トラフィックが全体的に少なく偏在するエリアでは、満遍なく通常のセルを配置するとコストがかさむため、例えば極めて半径が大きいセルにより全体を大まかにカバーしておき、偏在するトラフィックについては通常のセルを用いてカバーするという階層化セル構成が考えられる。しかし、大セルの局が被る干渉量が増大する傾向となるため、同一キャリアによる運用が困難な場合もある。やはり、ケースに応じて詳細な検討を行い、セル構成やキャリア運用形態を決定する必要がある。

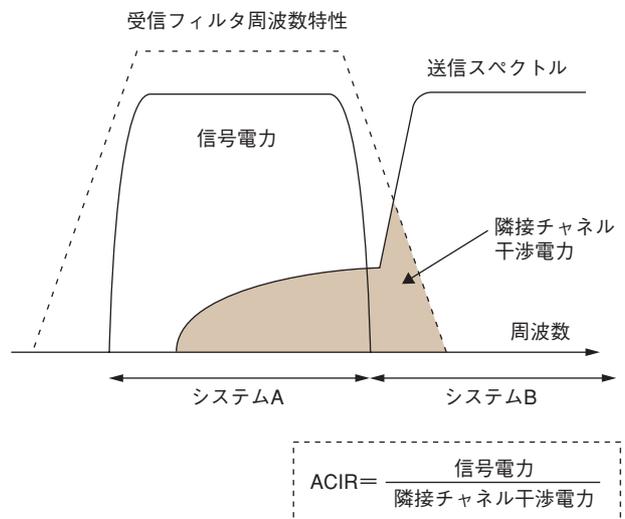


図6 ACIRの定義

## 5. 隣接チャネル干渉

複数のキャリアを使用する場合には、隣接するキャリアから漏れて入り込む電力がごくわずかながら存在するため、これが干渉となる場合がある。隣接キャリアからの干渉が存在する場合には、干渉がない場合と比較して1キャリア当りの容量は低下する[11]～[13]。隣接キャリアからの干渉量は、周波数軸上のキャリア配置、送信機における隣接周波数帯への輻射電力、受信機の周波数選択性能、隣接キャリアを用いるセルの地理的配置などに依存して変わってくるが、本稿では、隣接キャリアから漏洩する電力の割合であるACIR (Adjacent Channel Interference Ratio) をパラメータとして用い、隣接チャネル干渉がシステム容量に与える影響について説明する。図6はACIRの定義を説明する図で、周波数軸上で隣接する2つのキャリアを示している。網掛けの部分が、システムBがシステムAへ与える隣接キャリア干渉電力に相当する。

W-CDMA方式で特徴的なのは、送信電力制御が適用されている関係で、セル構成により隣接キャリア干渉の大小が変わる点である[14]。図7は互いに隣接したキャリアを用いるシステムAとBが存在する場合のセル構成の例である。システムAとBのBTS間の距離をオフセットというパラメータで表している。システムBに属する移動端末は、システムBのBTSに対して送信電力制御を行い、システムBのBTSに近い場合に送信電力が小さく、逆にセル端に位置する場合には送信電力が大きくなる。したがって、オフセットがセル半径（六角形の頂点と中心の距離）に等しくなる場合、つまり、システムBのセル端に他方のシステムAのBTSが位置する場合に、お互いのシステムに与える干渉は最も大きくなる。図7はこのような最悪のケースを表して

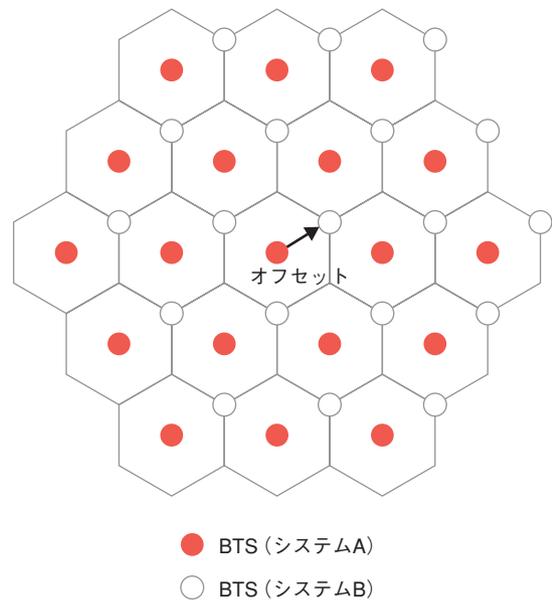


図7 隣接チャネル干渉の影響が大きいセル構成

いる。反対に、オフセットがゼロの場合、つまり、両システムのBTSを同じ場所に設置する (co-location) 場合に最もシステム間の干渉が小さくなる。

図8および図9は、隣接チャネル干渉が上下回線それぞれの容量に与える影響をシステムレベルシミュレーションにより評価[14]した結果である。両図とも、隣接チャネル干渉により減少したシステム容量を、隣接チャネル干渉がない場合のシステム容量を1とした相対値で縦軸に示している。シミュレーションは、図7に示した最悪のケース、および、中間のケース (図7においてシステムBのBTSが、最悪のケースとco-locationとの中間の位置に配置される) の2通りについて行っている。図8および図9を見ると、上

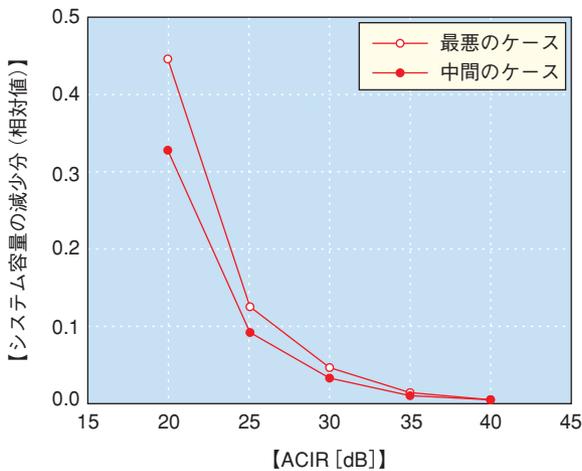


図8 隣接チャネル干渉が上り容量に与える影響

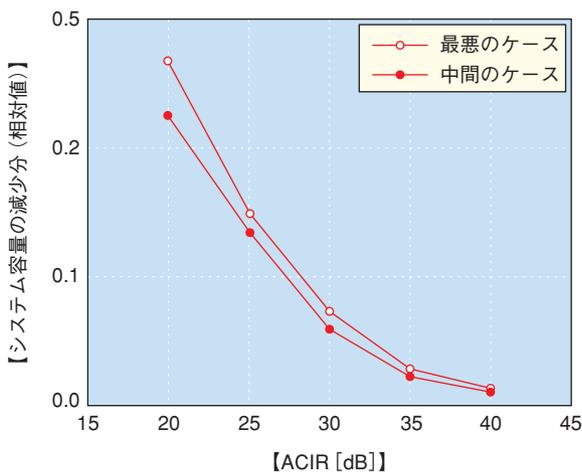


図9 隣接チャネル干渉が下り容量に与える影響

下回線ともにACIRが小さくなる、すなわち、隣接キャリアからの干渉が大きくなるとともにシステム容量の減少分が大きくなる事が分かる。同様の評価が3GPP (3rd Generation Partnership Project) でも行われ[14]、移動端末およびBTSの所要スペックが決定されている[15]、[16]。

## 6. あとがき

FOMA無線ネットワーク設計概要について2回にわたって説明した。第1回目はW-CDMAの容量設計と無線回線設計の基礎、本稿ではその柔軟性を引き出すための基本的な事項について、シミュレーション評価結果を示しつつ例を挙げて説明した。

W-CDMAは常に干渉が存在する状況で動作し、特別に複雑な設計・制御を行うことなしに共通の周波数帯を各セルで柔軟に共有することができるシステムである。現実の無線ネットワーク設計ではケースごとに個別に検討が必要

な場合や、さらに複雑な設計を要する場合もあるが、その際にも常に基本に忠実な設計をすることが重要である。

## 文献

- [1] 立川監修：“W-CDMA移動通信方式,” 丸善, 2001.
- [2] H.Holma and A.Toskara, Eds.,: “WCDMA for UMTS,” John Wiley & Sons, 2001.
- [3] 石川, ほか：“FOMAの無線ネットワーク設計概要 その1 W-CDMAの容量設計と無線回線設計の基礎,” 本誌, Vol.12, No.2, pp.65-71, Jul.2004.
- [4] 金井：“アンテナ指向性パターンを考慮したセクタセルの設計,” 1989年信学秋季全大B-492, 1989-09.
- [5] 中嶋, 中野：“セクタセルの周波数利用率,” 信学技報RCS89-18, 1989-10.
- [6] 岩村, 石川, 大野, 尾上：“W-CDMA方式におけるセクタアンテナのビーム幅最適化,” 1999年信学総大, B-5-157, 1999-03.
- [7] B.C.V.Johansson and S.Stefansson: “Optimizing Antenna Parameters for Sectorized W-CDMA Networks,” 52nd IEEE Veh. Technol. Conf. 2000, VTS-Fall VTC 2000, Vol.4, pp.1524-1531, Sep.2000.
- [8] 木島, 山田, 恵比根：“60°半値幅を有する2ビームアンテナの構成法,” 1993年信学春季全大B-110, 1993-03.
- [9] Evaluation Group, ARIB IMT-2000 Study Committee, “Evaluation Methodology for IMT-2000 Radio Transmission Technologies,” ARIB, Sep.1998.
- [10] 藤井：“アンテナビームチルトによる移動通信同一チャネル干渉低減,” 1990年信学秋季全大B-247, 1990-09.
- [11] 石川, 岩村, 尾上：“W-CDMA方式において隣接キャリア干渉が存在する場合のシステム容量評価,” 1999年信学ソ大, B-5-6, 1999-09.
- [12] 岩村, 石川, 尾上：“W-CDMA方式において複数サービス混在時に隣接チャネル干渉が容量へ与える影響,” 2000年信学総大, B-5-28, 2000-03.
- [13] Y.Ishikawa and S.Onoe: “Method for Evaluating W-CDMA System Capacity Considering Adjacent Channel Interference,” Electronics Letters, Vol. 35, No.12, pp.968-969, Jun.1999.
- [14] 3GPP Technical Report: “RF System Scenarios,” TR 25.942 V3.3.0, Jun.2002.
- [15] 3GPP Specifications: “User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (FDD),” TS 25.101 V3.17.0, Mar.2004.
- [16] 3GPP Specifications: “BS Radio Transmission and Reception (FDD),” TS 25.104 V3.12.0, Mar. 2003.

## 用語一覧

3GPP	: 3rd Generation Partnership Project
ACIR	: Adjacent Channel Interference Ratio
BTS	: Base Transceiver Station (無線基地局装置)
BW	: Beam Width (ビーム幅)
CPICH	: Common Pilot CHannel (共通パイロットチャネル)
DHO	: Diversity HandOver (ダイバーシティハンドオーバー)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (周波数分割多元接続)
FOMA	: Freedom Of Mobile multimedia Access
TDMA	: Time Division Multiple Access (時分割多元接続)
W-CDMA	: Wideband Code Division Multiple Access (広帯域符号分割多元接続)