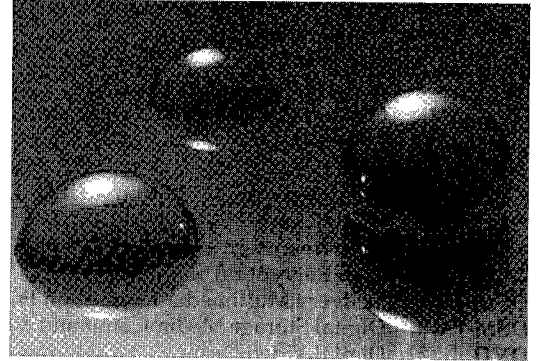


# 移動通信における アンテナの科学

笹岡 秀一

大阪電気通信大学工学部



## はじめに

最近、我が国の移動通信の普及・発展は目覚ましい。平成5年にデジタル携帯電話、平成7年にPHSのサービスが開始されて以来、携帯電話の端末数は爆発的に増加し、平成9年3月には2000万台を突破している。また、携帯情報端末や携帯パソコンの普及に伴い、従来の音声に加えて非音声（データ等）のサービスが一般化してきた。このような状況から、マルチメディア移動通信やモバイル・コンピューティングへの関心が高まっている。しかし、携帯電話システムは、無線伝送の区間があるため固定通信網と比べ伝送品質が劣るとともに伝送速度も制限される。このため、移動通信の特徴とその限界を理解することが、新しい情報通信サービスの検討において重

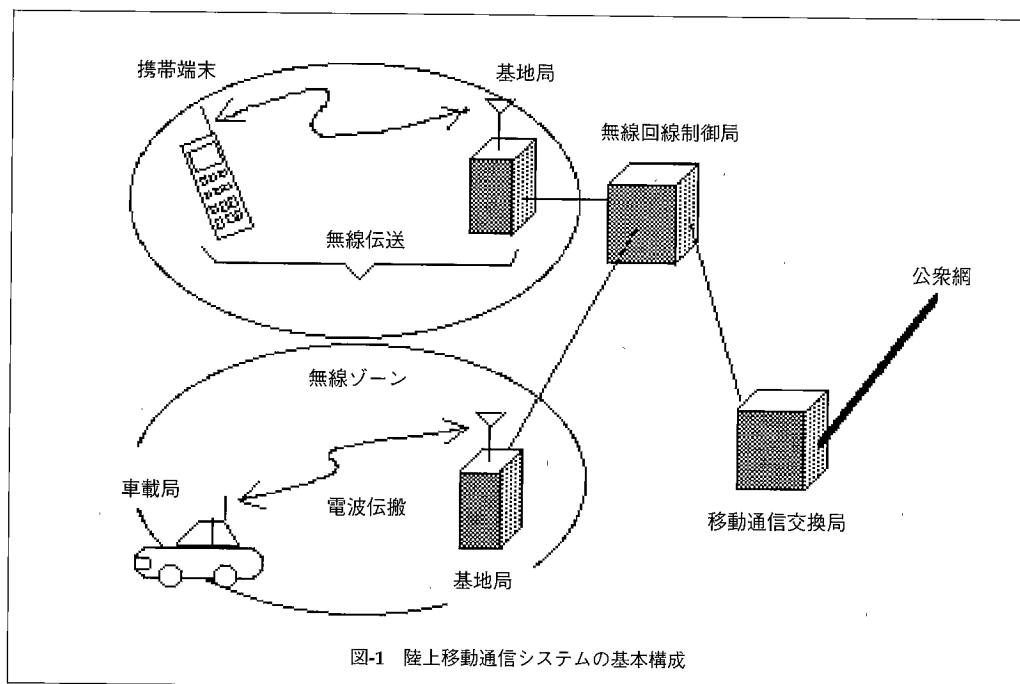
要となる。

ここでは、携帯電話等の移動通信に特徴的な無線技術のうちで、電波の送受と無線ゾーンの形成に重要な役割を果たすアンテナとその関連技術について解説する。

## 陸上移動通信におけるアンテナの位置

### ◆陸上移動通信システムの概要

陸上移動通信システムは、基本的に図-1に示すように移動局と基地局のほかに、有線で接続される無線回線制御局や移動通信交換局などで構成される<sup>1)</sup>。基地局と携帯または車載の移動局は、アンテナを介して電波を送受



し、双方が電波で接続される。基地局と移動局間で電波が届く範囲が無線ゾーンであり、一般に複数の小ゾーンによりサービスエリアが構成される。無線回線制御局は、適当数の無線ゾーン群を統括し、移動局との無線接続に関する制御を行う。また、移動通信交換局は、複数の無線回線制御局および公衆網と接続され、移動局との交換を統括する。

図-1において、基地局アンテナから移動局アンテナの間の部分が電波伝搬であり、陸上移動通信に固有な特徴を持っている。また、基地局と移動局の送受信系および電波伝搬の部分が無線伝送システムである。ここでは、多数の移動局が無線周波数を効率的に共用して基地局に接続する技術（多元接続技術）および電波伝搬に起因する伝送品質劣化の対策技術（たとえば、誤り訂正符号化）などが施されている。なお、多元接続には、従来からの周波数分割多元接続（FDMA）、デジタル方式に適用される時分割多元接続（TDMA）のほか、最近注目を集めている符号分割多元接続（CDMA）がある。

次に、具体的なシステムにおける周波数、無線ゾーン、無線方式、伝送速度などを示す。デジタル携帯電話は、800MHz帯および1.5GHz帯でゾーン半径が数km、多重数3のTDMA方式を用い、伝送速度が1チャンネル当たり11.2kbit/s（フルレートの場合）である。なお、チャンネル数は、地域の通信トラフィックに応じたシステムの設定（たとえば、1ゾーン当たり数十チャンネル）により異なる。一方、PHSは1.9GHz帯でゾーン半径が数百m、送受信に同一周波数を用いる時分割復信（TDD）の多重数8のTDMA方式を用い、伝送速度が1チャンネル当たり32kbit/sである。また、チャンネル数は1搬送波当たり4チャンネルである。

#### ◆陸上移動通信の特徴と技術的課題

陸上移動通信では、基地局からの電波が移動局に直接到達するほかに、建造物などで反射、回折、散乱され、大きく減衰して到達する。また、複数の経路から到来した電波（多重波）の干渉により、局所的な電界強度の強弱が発生する。このため、移動局の移動に伴って受信電界強度に高速で複雑な変動（マルチパスフェージング）が発生する。この電波伝搬の減衰と変動は、距離に依存する平均的な伝搬損、地形や建造物に依存する伝搬損変動、マルチパスフェージングの合成となる。

ここで、距離の対する伝搬損は、自由空間の場合（2乗に比例）を大幅に上回るもの（3乗から4乗に比例）となる。また、周波数に対する伝搬損は、自由空間の場合（2乗に比例）を上回る。さらに、伝搬損の変動、特に建造物の遮蔽によるものは、周波数の増加とともに大きくなる。このような電波伝搬特性の解明と評価は、回線設計に不可欠な技術である<sup>2)</sup>。

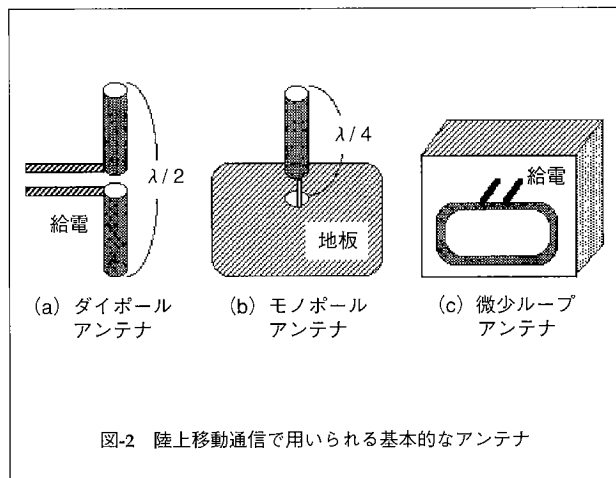


図-2 陸上移動通信で用いられる基本的なアンテナ

陸上移動通信では、利用可能な周波数帯域がVHF帯（30-300MHz）やUHF帯（300MHz-3GHz）など比較的低い周波数に限られる。一方、携帯電話の需要急増により周波数がひっ迫しているため、周波数有効利用が重要課題である<sup>1)</sup>。また、陸上移動通信では、マルチパスフェージングにより伝送特性（たとえば、誤り率特性）が極端に劣化するため、この対策が重要課題である<sup>1)</sup>。さらに、陸上移動通信の利便性の向上と安価な通話料の実現のため、携帯端末の小型・軽量化と経済的なシステム構成が課題である。

#### ◆アンテナとその関連技術の重要性

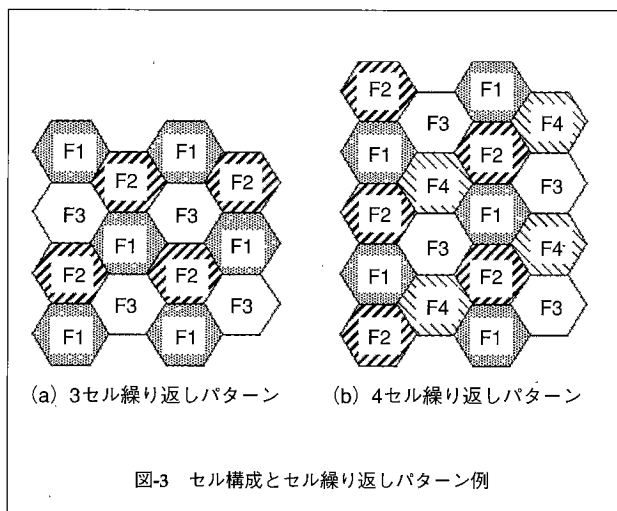
アンテナは、経済的なシステムの構成において重要である。たとえば、無線ゾーン内で所要のCN比（搬送波電力対雑音電力比）を確保する回線設計において、アンテナ利得の設定が重要となる。特に、リバーシリンク（移動局から基地局への回線）では、移動局の送信電力やアンテナ利得の増加が制約されるため、基地局の受信アンテナを高利得にすることが重要となる。一方、携帯端末においては、アンテナの小型・軽量化が重要である。

次に、アンテナは、同一周波数を再利用する複数の無線ゾーンの形成と同一周波数干渉の軽減を通して、周波数有効利用にも重要な役割を果たしている。また、アンテナは、ダイバーシチ受信やアダプティブアレーの形で、マルチパスフェージング対策など伝送品質の向上のためにも重要なものである。

### 移動通信で用いられるアンテナ

#### ◆基本的なアンテナ素子

陸上移動通信で用いられる基本的なアンテナを図-2に示す<sup>2)</sup>。ダイポールアンテナは、アンテナ長が半波長の線



状アンテナである。この指向性は、アンテナ素子を含む面内で8の字状、アンテナ素子に垂直な面内で無指向である。また、モノポールアンテナは、ダイポールアンテナの半分の素子長と導体の地板から構成されるもので、ホイップアンテナとも呼ばれている。次に、微小ループアンテナは、周囲長が0.1波長以下のループで構成され、電界でなく磁界を検出するアンテナである。

#### ◆基地局アンテナの特徴

基地局アンテナの特性としては、水平面内指向性、垂直面内指向性、アンテナ利得、ビーム形状などが重要である<sup>3)</sup>。垂直面内指向性については、水平方向の指向性を高めて所望の利得を得るのが一般的である。このため、縦方向に複数のアンテナ素子を配置したリニアアレーが用いられる。水平面内指向性については、ゾーン構成に応じて無指向および指向性のものが選択される。さらに、ビームチルトやコセカントビームなどビーム形状に工夫する場合もある<sup>3)</sup>。

#### ◆移動局アンテナの特徴

移動局アンテナは、車載用アンテナと携帯端末用アンテナに大別される<sup>3)</sup>。車外設置の車載アンテナは、ルーフトップなどに設置され、ホイップアンテナなどが用いられる。この場合にループなどが仮想的な地板となるが、大きさが有限なため垂直面内指向性が上側にかなりずれる<sup>3)</sup>。携帯電話用アンテナでは、筐体からの出し入れが容易で携帯に適したホイップアンテナが用いられる。この場合、携帯機本体が仮想的な地板として動作する。また、携帯電話の形状の制約下でダイバーシチ受信を実現するため、内蔵のアンテナを備えている場合もある<sup>3)</sup>。一方、無線呼び出し（ポケベル）用の受信アンテナには、微小ループアンテナが用いられる。

携帯端末用アンテナの場合、形状の制約のため指向性が若干不規則となる。また、ホイップアンテナを筐体から出し入れした場合には、指向性や利得が変化することになる。このアンテナ特性の変化でアンテナ受信電力が変化するが、受信電力は、携帯機の配置、電波の到来経路、人体による遮蔽などにも大きく依存する。このため、アンテナ特性の劣化が極端でなければ、受信電力が常に低下するとは限らない。

## ゾーン構成とアンテナ技術

### ◆ゾーン構成の概要

陸上移動通信では、複数の小ゾーン（セル）でシステム構成する小ゾーン方式（セルラ方式）が一般的である。複数セルで同一周波数を使用すると相互干渉が発生するが、干渉する基地局間の距離を適当に離すと干渉が許容できる。この条件を満たしてセルを繰り返すことにより、周波数の再利用が可能となる。正六角形セルにおけるセル繰り返しの構成例を図-3に示す。図は、セルの中心に基地局があり、セルの形状が円形（オムニセル）の場合である。

### ◆セクタ化とアンテナ技術

指向性アンテナを用いて扇形のセル（セクタセル）でゾーンを構成するものをセクタ構成という<sup>4)</sup>。この場合、アンテナの指向方向ごとに異なる周波数が割り当てられる。セクタ構成では、アンテナの指向性により干渉が軽減されることで基地局距離を縮小できるため、周波数利用率が向上する<sup>5)</sup>。また、セクタ構成の別の効果として、同じ面積のセルの形成に必要な基地局と移動局の送信電力を低減できる<sup>4)</sup>。

### ◆ゾーン構成とビームチルト

良好なゾーンを構成する手段にアンテナの主ビームを水平面より下方に向けるビームチルトがある。これは、ゾーン内でのアンテナ利得を増加させる一方、隣接基地局への干渉を低減することで、同一周波数の繰り返し距離を縮小するものである<sup>5)</sup>。ビームチルトには、空側のサイドローブの小さいアンテナが望ましい。ビームチルトの実現法には、アンテナを傾けて設置する機械的チルトとアレーアンテナの位相を制御する電気チルトがある<sup>3)</sup>。

## ダイバーシチ受信とアンテナ技術

### ◆ダイバーシチ受信の概要

ダイバーシチ受信とは、同一信号を特性劣化の異なる複数の伝送路を通して受信し、信号の切り替えや合成により伝送品質を向上させる技術である。この技術は、フェージング伝送路において特に有効である。ここで、複数の伝送路を実現するものがダイバーシチブランチであり、その種類に空間、偏波、角度、周波数、時間などがある。このうち、空間、偏波、角度のダイバーシチは、アンテナを用いたものである。これらのダイバーシチの構成を図-4に示す<sup>6), 7)</sup>。

ダイバーシチ受信の効果は、一般に瞬時CN比の累積分布の変化、特に、低CN比の確率の減少に現れる。デジタル通信の場合には、図-5に示すように平均CN比対誤り率特性の改善が顕著となる<sup>7)</sup>。また、ダイバーシチ受信の効果を図り訂正符号化と比べると、誤り率が大きい場合（たとえば、適用なしの誤りが5%）でも大きな改善（誤りが約1/10）があることが特徴である。このため、高品質伝送の実現には、ダイバーシチ受信で誤り率特性をある程度改善してから、誤り訂正符号化でさらに特性改善を図るのが有効である。

### ◆基地局ダイバーシチ

携帯電話システムでは、リバースリンクの特性改善のため基地局でダイバーシチ受信が採用される。ダイバーシチには、アンテナを水平または垂直に離して配置した空間ダイバーシチがよく使用され、偏波ダイバーシチが用いられることもある<sup>3)</sup>。空間ダイバーシチの場合、アンテナ間のフェージング相関は、基地局に到来する電波の広がり角および電波到来方向に対するアンテナ間距離の直交方向成分に依存して減少する。このため、アンテナ間隔に対する相関の減少は、移動局ダイバーシチに比べて小さく、市街地より郊外地でさらに小さくなる<sup>3)</sup>。市街地の場合、アンテナを電波の到来方向に直交に配置すると、水平配置で5波長以上、垂直配置で2.5波長以上離すと十分なダイバーシチ効果が得られる<sup>3)</sup>。また、電波の到来方向によるダイバーシチ効果の減少を避けるため、アンテナの配置に工夫することが多い<sup>6), 3)</sup>。

ダイバーシチは本来受信側の技術であるが、移動局でのダイバーシチの適用が難しい場合に、基地局側（送信側）で同様な効果を得る方法（送信ダイバーシチ）がある。送信ダイバーシチの適用には一般に制約が多いが、TDD方式の場合、送受信の伝搬路の可逆性を活用した送信側でのアンテナ切り替えダイバーシチが比較的容易に実現できる<sup>6)</sup>。このため、PHSでは送信ダイバーシチの導

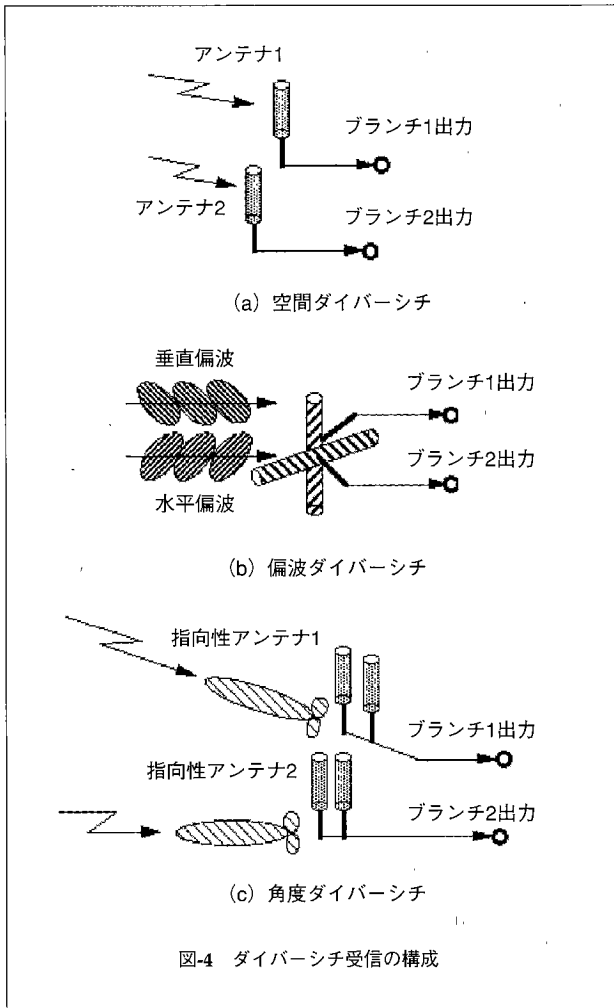


図-4 ダイバーシチ受信の構成

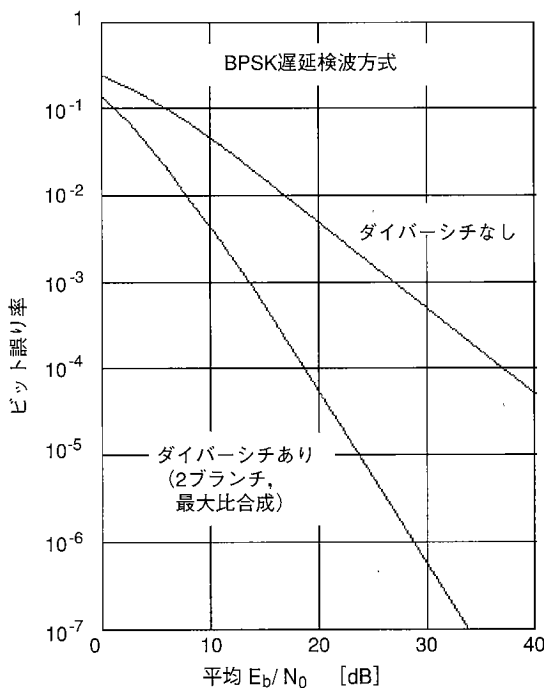
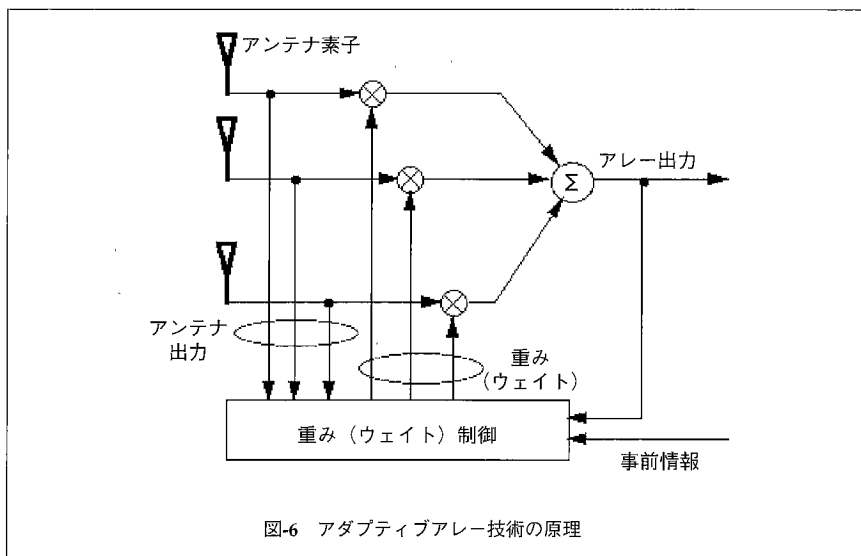


図-5 ダイバーシチ受信の効果



入が可能である。

#### ◆移動局ダイバーシチ

移動局の空間ダイバーシチの場合、電波が周辺から到来するため比較的小さいアンテナ間隔でもフェージング相関が減少し、アンテナの設置方向の依存性も少ない。アンテナ間距離を0.5波長(1.5GHz帯の場合、10cm)程度とれば十分とされている<sup>3)</sup>。車載のダイバーシチのアンテナとしては、1/2波長ホイップアンテナを水平に配置したものがよく用いられる<sup>3)</sup>。また、携帯端末では、ホイップアンテナと内蔵アンテナでダイバーシチを行う。この場合、アンテナ間隔を十分にとれず、内蔵アンテナの利得が劣るなどの制約があるが、それでもほぼ十分なダイバーシチ効果が得られる<sup>3)</sup>。

### アダプティブアレー技術

アダプティブアレー技術は、複数のアンテナ素子で受信した信号の振幅と位相(複素振幅の重み)を適当に設定したあと合成し、アンテナの指向性を変化させて不要な信号を除去する技術である。アダプティブアレーの基本構成を図-6に示す。図において複素重みの制御は、各アンテナ素子入力、アレーの合成出力、希望信号の事前情報によって行われる。なお、重みの制御には、LMS(Least Mean Squares)やRLS(Recursive Least Squares)などのアルゴリズムがある。

陸上移動通信におけるアダプティブアレーの応用として、セルラ方式における同一チャネル干渉除去が有望である。この技術により干渉が低減できれば、セル繰り返し率が高くなり、周波数利用率が向上する。この技術は、現在研究・開発中のものであるが、将来実用化される可

能性もある。将来の移動通信システムであるIMT-2000(International Mobile Telecommunications-2000)では、無線方式として広帯域CDMAが有力な方式である。この方式は各種の技術が組み合わせられたものであり、アダプティブアレー技術は当初に採用の計画がないが、将来に適用の可能性のある技術の候補になっている。

別の応用として、高速の無線伝送で問題となる多重波遅延歪み(選択性パスマージング)の対策がある。これは、遅延波(または先行波)を干渉とみなして除去し、遅延歪みの影響を軽減する。この技術の有効性は、CMAアダプティブアレー装置を用いた野外走行実験により確認されている<sup>8)</sup>。さらに、アダプティブアレーには、干渉除去、多重波遅延歪み対策のほかに、使用状況によってダイバーシチ受信による伝送品質向上、指向性アンテナとしての利得向上の機能も併せ持っている。

### まとめ

陸上移動通信におけるアンテナとその関連技術の重要性を、システム構成、周波数有効利用、伝送品質向上と関連付けて概説した。今後、陸上移動通信のマルチメディア化に向けて、高速・高品質伝送の実現が重要課題となるが、アンテナとその関連技術が果たす役割が大きい。特に、アダプティブアレー技術の研究・開発の進展と実用化が期待される。

#### 参考文献

- 1) 笹岡秀一: 移動通信, 第1章, オーム社(1998).
- 2) 笹岡秀一: 移動通信, 第2章, オーム社(1998).
- 3) 斎藤, 立川: 移動通信ハンドブック, 第6章, オーム社(1995).
- 4) 斎藤, 立川: 移動通信ハンドブック, 第4章, オーム社(1995).
- 5) 笹岡秀一: 移動通信, 第6章, オーム社(1998).
- 6) 笹岡秀一: 移動通信, 第9章, オーム社(1998).
- 7) 斎藤, 立川: 移動通信ハンドブック, 第3章, オーム社(1995).
- 8) 笹岡秀一: 移動通信, 第12章, オーム社(1998).

(平成11年1月5日受付)