

創立70周年記念特集

- 特集1 移動通信の取り組み
- 特集2 固定通信の取り組み
- 特集3 放送の取り組み
- 特集4 マイクロ波通信の取り組み
- 特集5 鉄塔事業への取り組み
- 特集6 高周波事業への取り組み

移動通信の取り組み

ワイヤレス研究所 西澤 俊一

日本における移動通信システムの契約数は1.7億契約となっており、携帯電話の屋外基地局数も86万局にのぼっている。(2018年8月現在)さらに、2019年には5Gの周波数が配分されたことから基地局数はさらに増加すると考えられる。本稿では携帯電話の現状とその変遷について述べるとともに、電気興業の主領域である携帯電話基地局アンテナの変遷について述べる。基地局アンテナは、携帯電話システムの中で処理され有線が確実に伝達された信号を空中に解き放つ出入り口になる部分であり、携帯電話の使用できるエリアを決定づけるキーパーツといえる。

1. 携帯電話の現状と変遷

1.1 携帯電話の契約数

日本における移動通信システム(携帯電話+無線アクセスBWA)の契約数は図1.1に示すように2018年3月末時点で1億7千万人に達している(2019年12月では1億8千万人)。

また、月間トラフィックは1年で1.4倍に増加しており、5Gが始まることで更にトラフィックが大きく伸びると考えられる。この背景にはスマートフォンの普及があり、動画配信等の利用拡大がトラフィックを増加させていると考えられる。

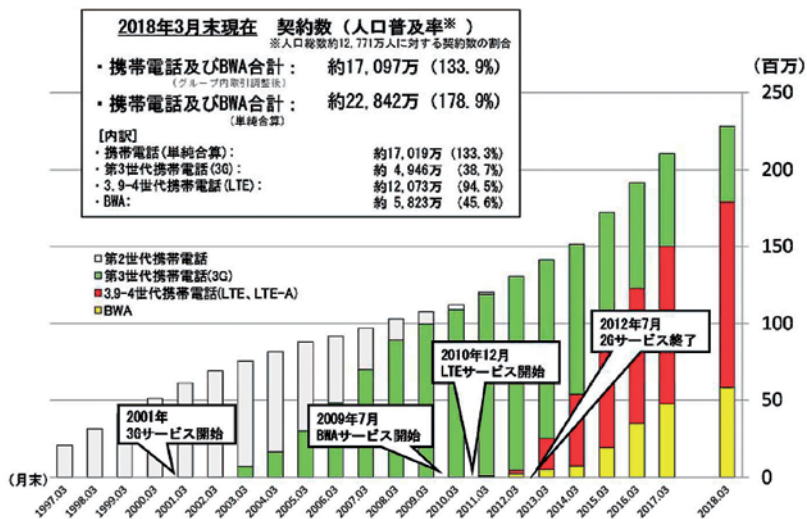


図 1.1 携帯電話契約数
(2018年8月 携帯電話・全国BWAに係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

1.2 世代と通信速度

図1.2に各世代における通信速度を示す。10年毎に世代交代し第1世代の10kbpsから第5世代では10Gbpsに6桁(10万倍)の高速化が実現された。

1.3 各社への周波数の割り当て

携帯電話事業者ならびに全国BWA事業者(UQ)の割り当てられた周波数は図1.3.1の通りである。平成30年には、LTE用として1.7GHz帯がKDDI及び楽天に、3.4GHz帯がドコモ及びソフトバンクに割り当てられた。

2019年には図1.3.2に示すように5G用周波数として3.7GHz帯を4社に(KDDIは2枠)、4.5GHz帯をドコモに、28GHz帯を4社に割り当てられた。



図 1.2 世代毎の通信速度
(2019年6月 第5世代移動通信システム(5G)の今と将来展望 総務省)

	700MHz帯	800MHz帯	900MHz帯	1.5GHz帯	1.7GHz帯	2GHz帯 ^{※1}	2.5GHz帯 ^{※1}	3.4GHz帯	3.5GHz帯	合計
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	TDD	
docomo	20MHz	30MHz	—	30MHz	40MHz 東名路のみ	40MHz	—	40MHz	40MHz	240MHz
au	20MHz	30MHz	—	20MHz	40MHz	40MHz	—	—	40MHz	190MHz
UQ Communications	—	—	—	—	—	—	50MHz 全国BWA	—	—	50MHz
SoftBank	20MHz	—	30MHz	20MHz	30MHz	40MHz	—	40MHz	40MHz	220MHz
Wireless City Planning	—	—	—	—	—	—	30MHz 全国BWA	—	—	30MHz
Rakuten	—	—	—	—	40MHz	—	—	—	—	40MHz
合計	60MHz	60MHz	30MHz	70MHz	150MHz	120MHz	80MHz	80MHz	120MHz	770MHz

図 1.3.1 各社への周波数割り当て(LTEまで)
(2018年8月 携帯電話・全国BWAに係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

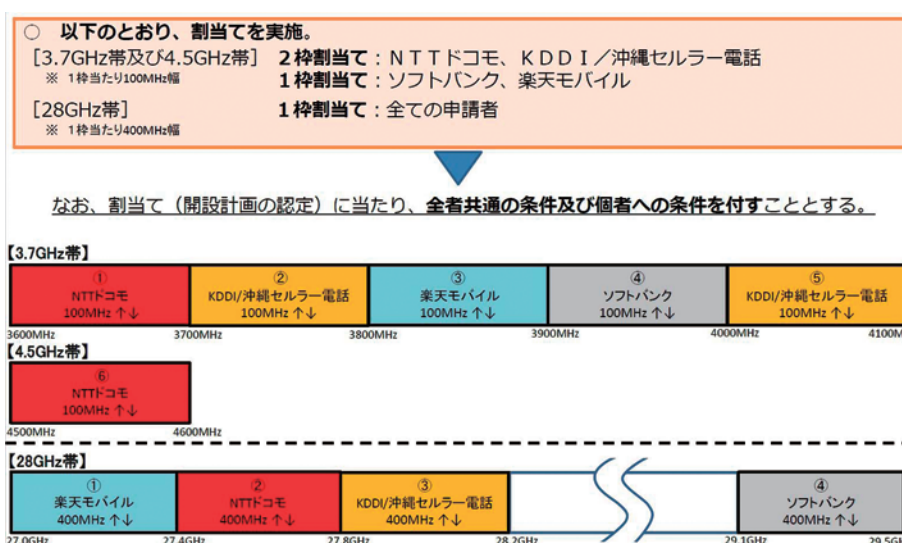


図 1.3.2 5G用周波数の割り当て
(2019年4月 第5世代移動通信システム(5G)の導入のための特定基地局の開設計画の認定 総務省)

1.4 世代毎の周波数の割り当て

周波数毎の移動体通信システムの変遷を図 1.4 に示す。800MHz 帯が第 1 世代の自動車電話として割り当てられてから、多くの周波数が移動通信に割り当てられ、引き続き各世代において使用されてきた。

周波数帯	700MHz	800MHz	900MHz	1.5GHz	1.7GHz	2GHz	2.5GHz	3.4GHz 3.5GHz	3.7GHz 4.5GHz 28 GHz
割当方針		H17.02.08				H12.03.27			
開設計画 認定日 (割当日)	H24.06.28		H24.03.01	H21.06.10	H17.11.10 H18.04.03 H21.06.10 H30.04.09		H19.12.21 H25.07.29	H26.12.22 H30.04.09	
世代		第2世代 移行 第3世代 第3.5世代 第3.9世代 第4世代		第2世代 移行 第3.5世代 第3.9世代 第4世代		第3世代 第3.5世代 第3.9世代 第4世代		BWA 高度BWA 第4世代 (400MHz～700MHz)	第5世代 (暫定)
高速・大容量通信に適した高い周波数帯が利用される傾向									

図 1.4 各世代との周波数割り当て
(2018年8月 携帯電話・全国 BWA に係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

1.5 基地局数

図 1.5 に事業者毎に基地局数を示す。ただし、世代と周波数は単純な足し算のため合計は実際の基地局数とは異なる。

	700MHz帯	800MHz帯	900MHz帯	1.5GHz帯	1.7GHz帯	2GHz帯	2.5GHz帯	3.5GHz帯	合計
	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	
docomo	LTE/4G 6,700	LTE/4G 68,000 3G 68,300	—	LTE/4G 26,200	LTE/4G 17,400 基地局のみ	LTE/4G 70,000 3G 71,200	—	LTE/4G 14,100	LTE/4G 202,400 3G 139,500
au	LTE/4G 6,800	LTE/4G 56,500 3G 36,100	—	LTE/4G 10,500	—	LTE/4G 39,800	—	LTE/4G 5,500	LTE/4G 119,100 3G 36,100
UQ Communications	—	—	—	—	—	—	BWA 63,500	—	BWA 63,500
SoftBank	LTE/4G 4,800	—	LTE/4G 48,400 3G 37,000	LTE/4G 5,800	LTE/4G 14,500	LTE/4G 39,300 3G 78,900	—	LTE/4G 13,700	LTE/4G 126,500 3G 115,900
WIRELESS CITY PLANNING	—	—	—	—	—	—	BWA 63,000	—	BWA 63,000
合計	LTE/4G 18,300	LTE/4G 124,500 3G 104,400	LTE/4G 48,400 3G 37,000	LTE/4G 42,500	LTE/4G 31,900	LTE/4G 149,100 3G 150,100	BWA 126,500	LTE/4G 33,300	LTE/4G, BWA 674,600 3G 291,500

図 1.5 各世代との周波数割り当て
(2018年8月 携帯電話・全国 BWA に係る電波の利用実態調査の評価結果 総務省)

2. 基地局アンテナ

携帯電話の各世代での要求と周波数の追加に合わせて、基地局アンテナも大きく進化している。本稿ではアンテナの世代毎にその機能の変遷と進化を記述する。

2-1 第 1 世代

1979年に商用化された自動車電話システムでは、非常に広いサービスエリアの単一セル方式がとられた。23区内は11局、13セルで構成されていた。アンテナは都市部を除き山頂などに取り付けられサービスエリア半径は10kmにおよび、アンテナは金属素子を使用したオムニアンテナ(無指向性アンテナ)が使用された。

周波数	800MHz
エリア構成	超大ゾーン(大都市/中小都市方式)
水平面	オムニが多数
偏波	垂直偏波
ダイバーシチ	スペース
チルト+制御	固定
アンテナ構成	単周波
外観形状	オープン
アンテナ素子	金属ダイポール

2.2 第1世代その2

周波数	800MHz
エリア構成	大ゾーン
水平面	オムニ, 120°
偏波	垂直偏波
ダイバーシチ	スペース
チルト+制御	固定
アンテナ構成	単周波
外観形状	オープン
アンテナ素子	金属ダイポール

1988年に携帯電話の導入などによる加入者の急激な伸びに対応するためにサービスエリアは半径5kmとなったが当初はオムニアンテナが使用されていた。1990年になると更なる加入者の増加に対応するため大都市ではサービスエリアは半径1.5kmとなり3セクタが導入された。セクタ化にあわせアンテナも120°ビームアンテナが導入された。

2.3 第2世代

周波数	800MHz, 1.5GHz
エリア構成	3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	120°, 180°, オムニ
偏波	垂直偏波, 垂直水平偏波共用
ダイバーシチ	スペース
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御
アンテナ構成	単周波, 2周波数共用, 1面, 2面収容
外観形状	FRP レドーム, チルト給電部別置き
アンテナ素子	プリント基板ダイポール

1993年よりデジタル方式(PDC)のサービスが開始され、1994年より1.5GHz帯の使用が日本国内において開始された。二つの周波数を使用することからアンテナ設置場所の確保のため2周波共用アンテナも導入された。また、エリア構成も都市部ではセクタ構成が主流となった。

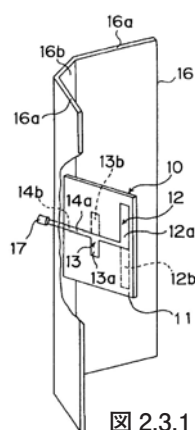


図 2.3.1 2周波共用アンテナ

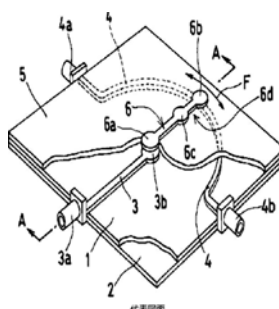


図 2.3.2 位相器



図 2.3.3 基地局

2.4 第3世代

周波数	800MHz, 1.5GHz, 2GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ
偏波	垂直偏波, 垂直水平偏波共用
ダイバーシチ	スペース, 偏波
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御
アンテナ構成	周波数共用, 1面, 2面収容
外観形状	FRP レドーム, チルト給電部別置き
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

2001年より第3世代であるIMT-2000が開始され、周波数としては2GHz帯が追加された。置き換え需要から、従来の2周波共用アンテナと同サイズで3周波共用アンテナが開発され使用され始めた。更に、スペースダイバーシチだけでなく偏波ダイバーシチも導入され、アンテナ設置スペースの削減が図られるようになった。この先は設置スペースの関係で、徐々に偏波ダイバーシチが主流となることになる。

また、セクタ間の干渉低減要求から3セクタの場合は120°ビームから90°ビームに移行して行ったのもこの世代である。

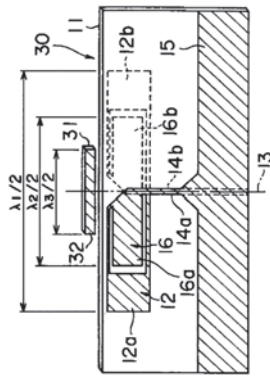


図 2.4.1 3周波共用アンテナその1

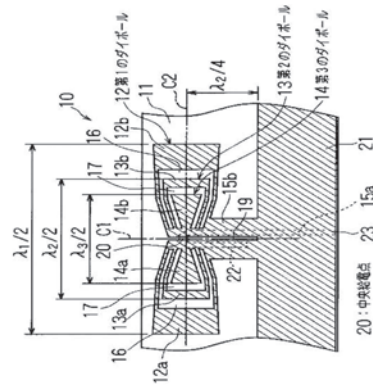


図 2.4.2 3周波共用アンテナその2

2.5 第3.5世代

周波数	800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直偏波, 垂直水平偏波共用
ダイバーシチ	スペース, 偏波
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

2.6 第3.9世代

周波数	700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直水平偏波共用
ダイバーシチ, MIMO	偏波 ダイバーシチ→MIMO
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

3.5世代, そして3.9世代であるLTEにかけて, 更に周波数(700MHz, 1.7GHz)が追加され, 4周波, 5周波アンテナが開発されることになる。また, 第3世代から導入が始まった偏波共用アンテナが主流となり, 周波数共用と偏波共用の両方の特性を持たせた素子および素子構造が開発された。また, 多数の周波数がアンテナ内に内蔵されることからIM回避も大きな課題となった。

アンテナチルトにおいては給電部(位相器)が駆動モーターと制御部とともにアンテナ内に内蔵され, チルト制御のインターフェイスにもAISGと呼ばれる国際規格が徐々に導入された。



図 2.6.1 偏波共用アンテナ (給電部内蔵)



図 2.6.2 5周波偏波共用アンテナ (給電部内蔵)

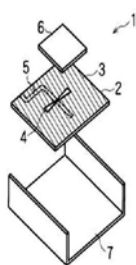


図 2.6.3 偏波共用スロットアンテナ

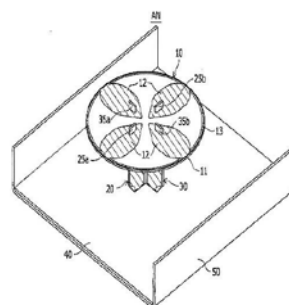


図 2.6.4 偏波共用ダイポールアンテナ

2.7 第4世代

周波数	700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz 3.4GHz, 3.5GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直水平偏波共用
MIMO	偏波, MIMO
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

第4世代は2015年からサービスが開始され、より高い周波数(3.4GHz, 3.5GHz)が追加された。MIMO数についても多値化の傾向が強くなり、アンテナの複雑さが増すこととなった。(SBMは2012年の3.9世代についても4Gと表記している。)

また、当社では携帯基地局アンテナで最初となる、メタマテリアルを使用したアンテナを商品化している。特徴として偏波共用でありながら通常のアンテナと比べて1/4以下の細径化を実現するとともに、水平方向の低サイドローブ化を実現している。

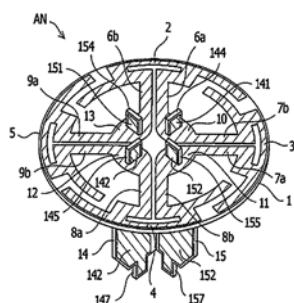


図 2.7.1 広帯域偏波共用ダイポールアンテナ



図 2.7.2 メタロッドアンテナ

2.8 第5世代

周波数	700MHz, 800MHz, 1.5GHz, 2GHz, 1.7GHz 3.4GHz, 3.5GHz, 3.7GHz, 4.5GHz, 28GHz
エリア構成	6セクタ, 3セクタ, 2セクタ, オムニ, ビーム可変
水平面	60°, 120°, オムニ, 90°, 45°
偏波	垂直水平偏波共用
MIMO	偏波, 2~4MIMO, マッシュアップMIMO
チルト+制御	可変チルト, 各社独自制御, AISG, ビームフォーミング
アンテナ構成	周波数偏波共用, 1面収容, ビームフォーミング
外観形状	FRP レドーム, 給電部内蔵, 無線機内蔵
アンテナ素子	プリント基板 ダイポール, スロット+無給電

2020年からサービスが開始される第5世代では、より多くの周波数と広い帯域が、今まで割り当てられた周波数の延長線上にあるSUB6帯(3.6GHz~4.6GHz)と準ミリ波である28GHz帯が追加された。

SUB6帯が追加されたことにより従来型アンテナは更に高度な周波数共用偏波共用アンテナとなるとともに、ビームフォーミングアンテナの採用が開始された。

準ミリ波である 28GHz 帯は、ケーブル損失の問題から無線機内蔵が必須となり、さらに伝搬損失を補うためにビーム幅を狭めているため、エリア構築のためにはビームフォーミングアンテナ機能が必要になる。

今後、更に高い周波数としてミリ波帯 (39GHz, 73GHz) の割り当てが検討されており無線機が内蔵されたアンテナが必須となり、さらに多くの素子が内蔵されたビームフォーミングアンテナになると考える。

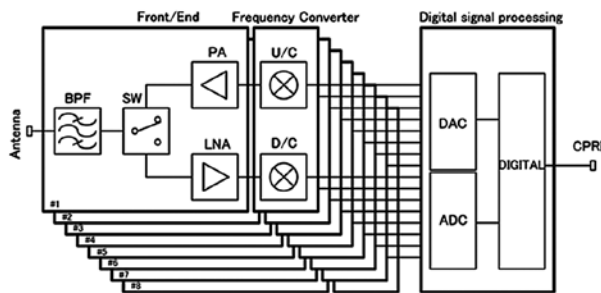


図 2.8.1 ビームフォーミングアンテナ構成

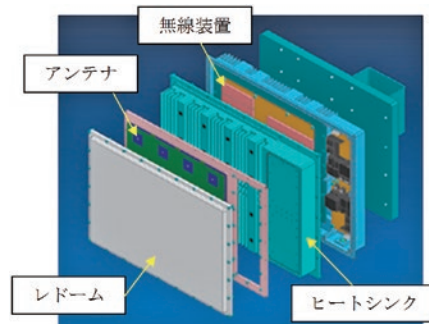


図 2.8.2 ビームフォーミングアンテナ構造

2.9 第6世代

今まで以上に高周波化が進み 300GHz 以上のテラヘルツ波の使用も現実味を帯びてくる。この周波数帯になると一体型というよりも IC と同様に生成される可能性も高く、アンテナの製作方法が一変する可能性もある。

3. む す び

弊社、電気興業は携帯電話の黎明期より、基地局アンテナを事業者の皆様様に供給させて頂きました。今後も最先端の研究開発を進め 5G そして 6G においても、アンテナ分野そして通信分野全般において社会に貢献していきたいと考えます。

創立70周年記念特集記事②

固定通信の取り組み

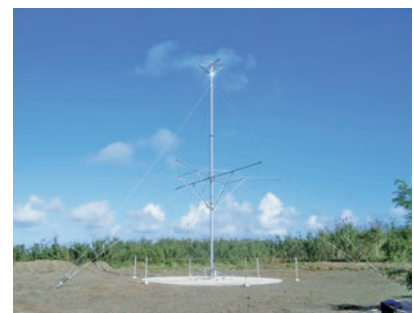
機器統括部 固定通信技術開発部 星野 誠一

当社の固定通信は、主に固定無線局を総称しているが、当社が取り扱う固定無線局は、超長波からミリ波まで幅広い周波数帯域にわたり、様々な用途に対してアンテナや周辺機器を製品化してきた。

大規模アンテナとしては、当社創業の源である依佐美送信所や平成初期に納品した海上自衛隊えびの送信所の VLF アンテナ、1999 年に納品した郵政省 (現総務省) の LF 標準電波アンテナなどが挙げられる。これらは、高さ 200m を超えるアンテナであるが、波長に対しては非常に微小なアンテナである。

短波帯通信分野では、1952 年に清瀬・布佐気象通信所に納入したアンテナが、当社独自開発の第 1 号である。その後、コニカルモノポールやログスパイラルアンテナ、LP アンテナなどの広帯域アンテナの製品化を行い、防衛庁 (現防衛省) や官公庁などへ数多く納品してきた。近年、短波通信は縮小傾向にある一方、国際通信を対象として、短波帯の伝搬特性を生かしたデジタル通信の導入が検討されている。

一般通信分野の主力製品である VHF 帯や UHF 帯のアンテナは、昭和 27 年 6 月に朝日新聞社に納品した VHF 帯高利得無指向性アンテナが、



コニカルモノポールアンテナ