

アンテナ・ハンドブック
シリーズ



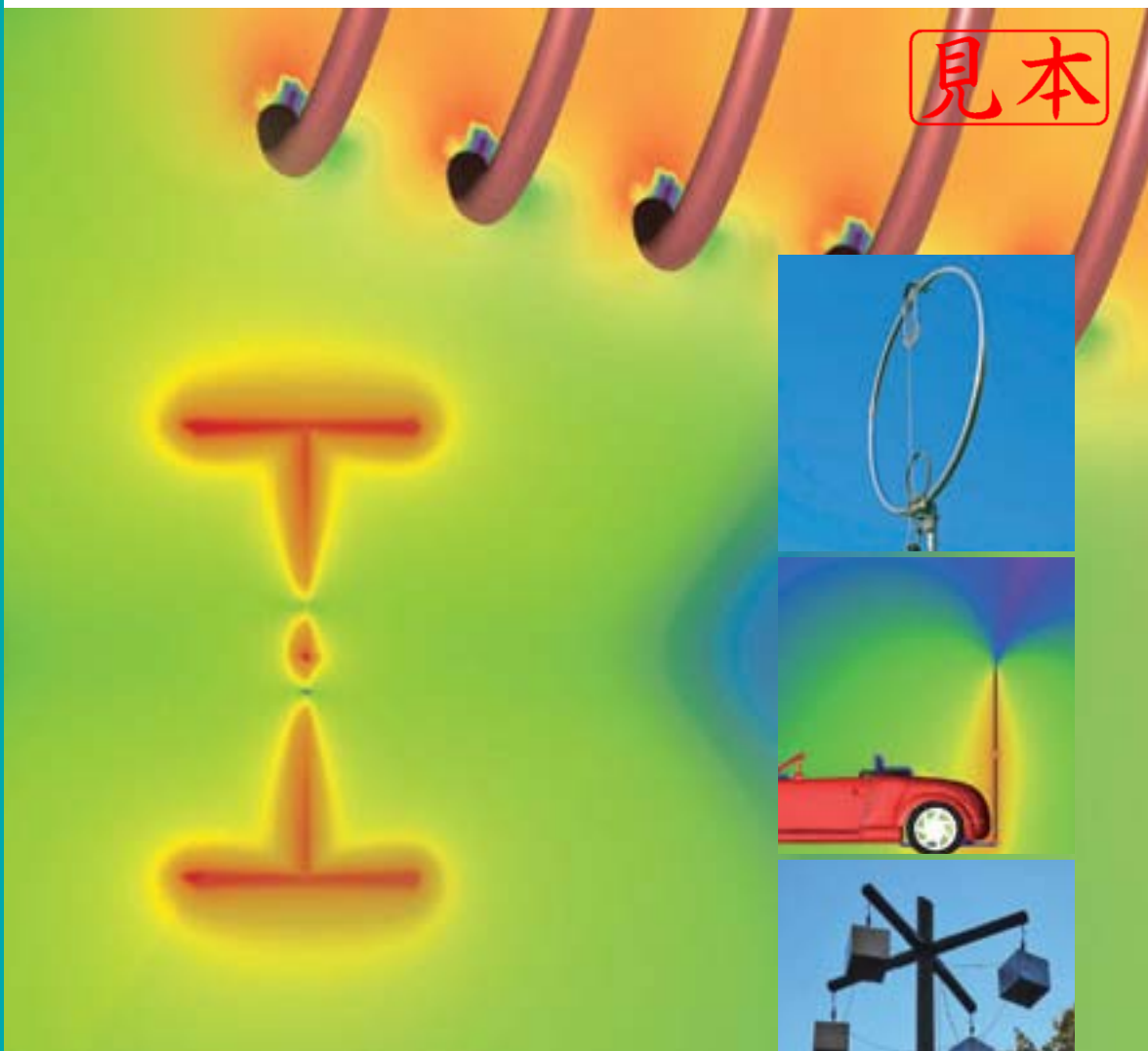
コンパクト・アンテナ の理論と実践

[入門編]

アンテナの神秘に魅せられて

JG1UNE 小暮 裕明 [共著]
JE1WTR 小暮 芳江

見本



コンパクト・アンテナの歴史

1章

コンパクトとは、フルサイズに比べて小さいアンテナにつけられる名称です。それではフルサイズのアンテナとはどんな寸法なのでしょう？ 一般には、ハムの入門アンテナの一つであるダイポール・アンテナをフルサイズと呼び、その寸法は動作周波数の波長の半分です。世界初のアンテナはヘルツが発明したダイポールですが、それは電線状ではなく、大きさも半波長より小さい「コンパクト・アンテナ」だったのです。



ミュンヘンのドイツ博物館所蔵の、ヘルツが自作したヘルツ・ダイポールの本物（著者撮影）

1-1

アンテナの元祖は「コンパクト」だった？

筆者が生まれて初めて電波というものを意識したのは、小学生のときです。自分で作ったゲルマニウム・ラジオのおかげでした。身の周りのテレビやラジオを当たり前に入れていたはずでしたが、キットが完成して放送が聞こえた瞬間、まるで空間を伝わる電気が語りかけてくるかのように感動しました。

電池が要らないというのも大いに不思議なことでしたし、電線を張っただけで電波をキャッチできるというのは、いったい誰が発見したのだろうという疑問を、ずっと持ち続けることになったのです。

マクスウェルからヘルツへ

イギリス（スコットランド）の物理学者ジェームス・クラーク・マクスウェル（1831 - 1879年）は、電磁波の存在を予言しました。そして彼の死後わずか

9年で、ドイツの物理学者ハイน์リッヒ・ヘルツ（1857 - 1894年）は、その実証に成功しました。マクスウェルは48歳で他界していますが、長生きしていればヘルツの実験成功に大喜びしたことでしょう。

写真1-1は、ヘルツが電磁波の存在を実証した送波装置です。これは誘導コイルの両端から出た導線を、ギャップを設けた小さな金属球につなげたもので、さらに導線を伸ばした先に大きな金属の球体を付けています。

誘導コイルは変圧器の一種で、出力側のコイルに高い交流電圧が現れる装置です。この高電圧によって中央のギャップに火花放電が起こり、スパークに含まれる高周波の電気が両端の金属球間を往復することで共振（共鳴）現象を発現するというしくみです。これはヘルツ・ダイポールとも呼ばれています。

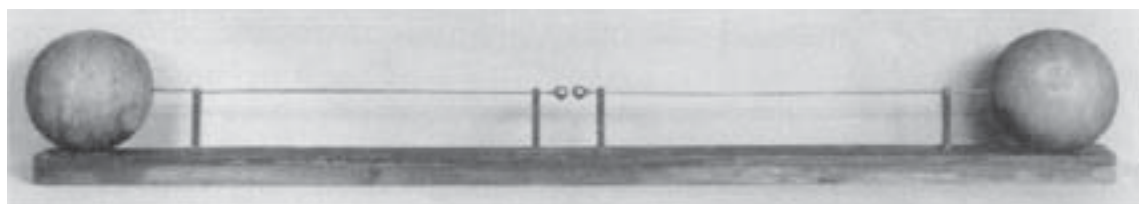


写真1-1 ヘルツが自作したアンテナの元祖、ヘルツ・ダイポール（ドイツ博物館所蔵）

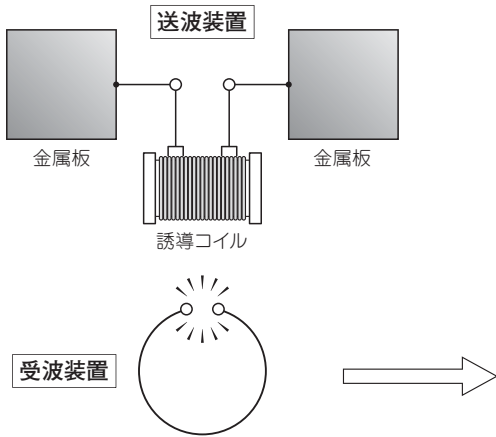
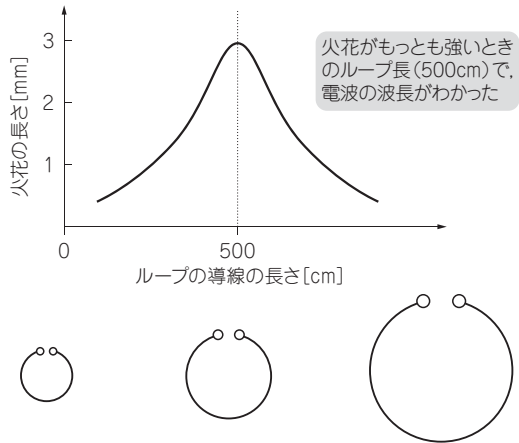


図1-1 ヘルツが作った送波装置と受波装置
1888(明治21)年ごろの実験



ヘルツの送信機と受信機

ヘルツは多くの送波装置と受波装置を自作しています。送信と言わずに送波と呼んでいるのは、まず電磁波が発生することを確かめ、それをなんとか受波することに精いっぱいだったからかもしれません。送信の「信」は通信の信ですが、無線を通信の手段として使うという発想は、少し後に登場するマルコーニたちを待たなければなりません。

図1-1は、ヘルツが作ったもう一つの送波装置と受波装置です。ここで気がつくのは、写真1-1の両端の金属球が金属板に変わっていることです。つまり、ヘルツが実験した送波装置のしくみでは、金属の球体と板は同じ役割を果たすことがわかっていたというわけです。

もう一つ気づくのは、受波装置は送波装置とは形状が異なり、ループ導線を採用しているということです。

現代のアマチュア無線では、160mバンドなどを除けば、当たり前のように送信用と受信は同一のアンテナを使います。しかしヘルツは、最初に送信と受信を別の構造のアンテナで試し、後によく同じアンテナを送受兼用にしています。おそらく彼は、さまざまな実験が進むにつれて、どこか途中でひらめいたのではないのでしょうか。

長岡半太郎の追試験

日本では、ヘルツの実験の発表からわずか1年後に、物理学者の長岡半太郎博士(1865-1950年)が追試験を行っています。『ヘルツ氏実験』(理學協會雑誌第七輯)は縦書きの論文で、明治22(1889)年

の発行です。

図1-2、図1-3はその論文の一部です。装置のスケッチは、ヘルツが1888(明治21)年に発表した実験方法の図を、長岡半太郎博士がそのままトレースしています。

図1-1では、送波装置と受波装置だけを描いていますが、ヘルツは受波装置のループの長さを変えて観測した結果、ある長さで火花がもっとも強くなることを知りました。これは、ヘルツ・ダイポールを構成する金属球または金属板の寸法や相互の距離などで決まる、特定の周波数を発生する「共振」と呼ばれる現象を確認した実験です。

図1-2では、ヘルツ発振器の片側の平板に平行に、

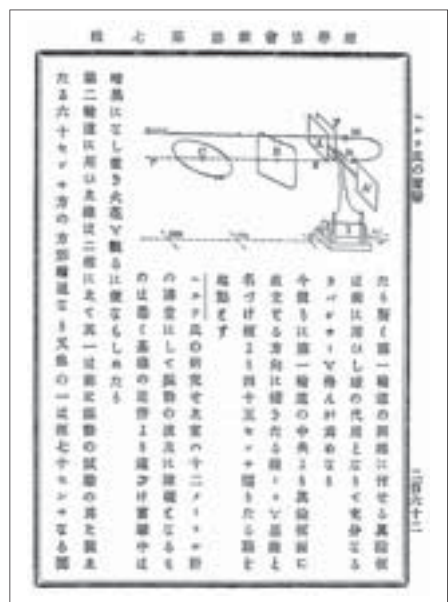


図1-2 長岡半太郎博士の論文(明治22年)

フルサイズとコンパクトの違い

ダイポール・アンテナの寸法は、動作周波数の波長の約半分です。VHFやUHF帯のフルサイズは数cmから数mの範囲なので、アママン・ハムにも向いています。一方、MFやHF帯のフルサイズ・アンテナはベランダには設置できず、コンパクト・アンテナが求められます。しかし、極端な小型化は性能を大幅に低下させるので、フルサイズとコンパクトの違いをよく知って、コンパクト化のアイデアを検証しておく必要があるでしょう。



14/21/28MHz 短縮ダイポール・アンテナ (ナガラ電子工業 DO-3B)

2-1

共振型アンテナの元祖とは？

広く使われている線状のダイポール・アンテナは、ヘルツやマルコーニの送波装置で使われた複雑な形状とは異なります。そもそも彼が金属球を両端に付けたのは、静電気の実験装置で使われていた球体から発想したからではないかと思われま（写真2-1）。

ヘルツの火花送信機は、今日の電波法ではとても容認できない、広帯域にノイズをまき散らす発振器でした。そして、この方式を受け継いだマルコーニ

が無線通信を商用化すると、世界に多くの無線局が開局されました。しかし、コヒーラー検波による受信機はすべての周波数を受信してしまうため、混信が大問題になりました。

その後、目的の周波数で共振させる共振アンテナが発明され、同調回路を用いることで、目的の信号が選択できる技術へと発展したのです。

共振アンテナの元祖

図2-1は、イギリスの物理学者オリバー・ロッジ (1851 - 1940年) の考案した共振アンテナです。ヘルツ発振器の金属球体または金属板を円錐形にしてコンデンサを形成し、中央にコイルを巻いた構造で、ヘルツが発見したように、コンデンサ(円錐)の大きさとコイルの大きさや巻き数を変えて、共振周波数を調整できるしくみになっています。

一方、ブラウン管の発明で有名なドイツのF・ブラウン (1850 - 1918年) は、アンテナの構造でLC共振させるというよりも、共振回路をアンテナに組み込むという方法を考案しています。

図2-2はブラウンの共振回路の一つで、端子Aの先には長い導線がつながります。当時のアンテナは、先端に容量(金属板)が付いていましたが、この図



写真2-1 実験装置で使われていた多くの金属球体

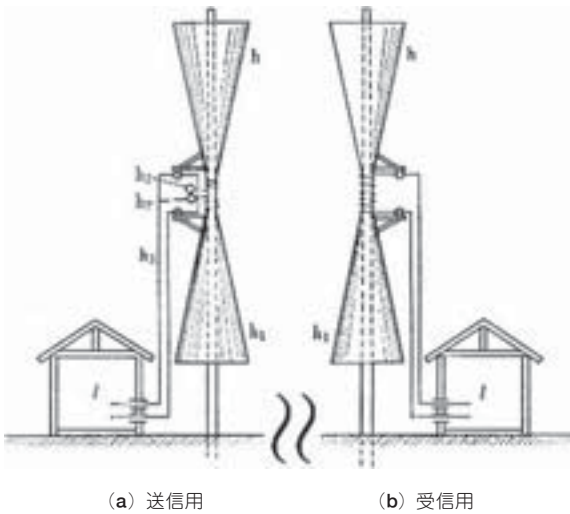


図2-1 共振アンテナ



写真2-2 ライデン瓶(コンデンサ)の一例

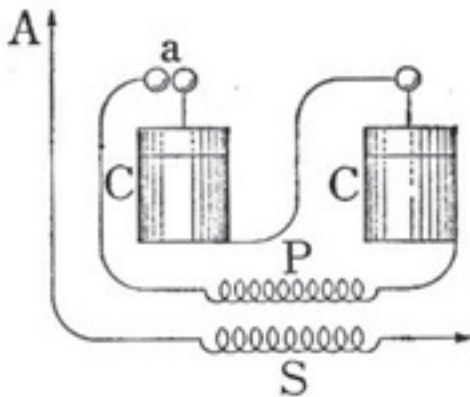
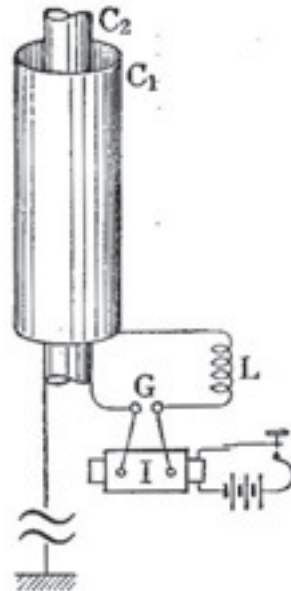


図2-2 ブラウンの同調回路の一つ

のAの先が不明なので、このとき彼がワイヤだけのアンテナ・エレメントを使っていたのかは、残念ながら不明です。

図2-2の二つのCはコンデンサです。この絵からは写真2-2のライデン^{びん}瓶を想像してしまいます。これは、ヘルツも実験用の電源として使った摩擦電気(静電気)を貯める瓶で、ガラス瓶の内側と外側に金属箔が貼ってあり、コンデンサの原型ともいえる構造です(平賀源内が復元したエレキテルにも使われていた構造)。

図2-2は、その後の同調回路に発展しますが、aの火花ギャップはヘルツと異なり、アンテナ・エレメントには接続されていません。つまり、火花ギャップはアンテナの一部というより、電磁波を発生する部品としてようやく認識されるようになったわけです。

図2-3
マルコーニの共振同軸
アンテナ(1900年)

マルコーニの共振アンテナ

マルコーニは混信に悩まされましたが、その後、同調回路を採用しています。有名な1900年の英国第7777特許は、この同調方式に関するものです。しかし、図2-1の共振アンテナを発明したロッジの特許を侵害していると訴えられました。のちにマルコーニはロッジの特許を買い取っています。1900年前後は、電波の商用化に向けて、共振アンテナと同調回路の実用化が急速に進みました。

図2-3は、マルコーニが1900年に考案した「共振同軸アンテナ」です。図のIは誘導コイル、Gは火花

フルサイズの性能限界

3章

コンパクト・アンテナの性能を評価するためには、フルサイズ・アンテナの特性値やその性能限界をよく知って、それらと比較するという方法があります。一般には、 $\frac{1}{2}\lambda$ ダイポール・アンテナを基準としていますが、仮想的な等方性 (アイソトロピック) アンテナを基準にして比較することもあります。



7エレメント八木アンテナ CL15DXX (クリエート・デザイン)

3-1

1W入力で何W放射できるのか?

電線で作る $\frac{1}{2}\lambda$ ダイポール・アンテナは、導体損の総量がわずかなので、給電線との整合さえ取れていれば、放射の効率が100%に近い理想的なアンテナです。

そこで、これをベースにしたコンパクト・アンテナは、やはり高効率を期待できますが、小型化の度合いによっては失われる性能に違いがあります。

限られたスペースで動作させるためには、何を犠牲にするのかを検討するために、まずフルサイズ・アンテナの特性値や性能の限界をよく知っておく必要があるでしょう。

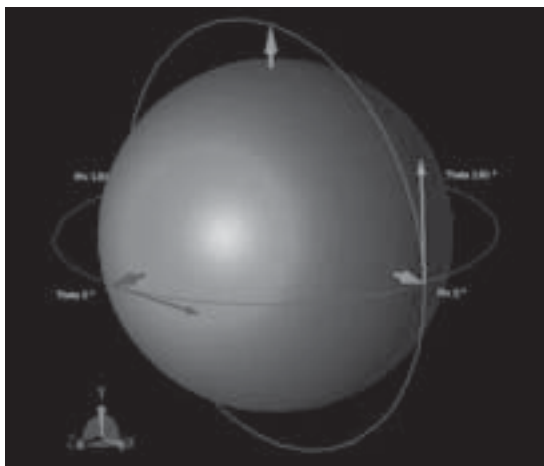


図3-1 ほぼ球体の放射パターン

アンテナの利得とは?

ある企業でアンテナ設計のコンサルティングをしていたとき、デジタル回路の技術者に「アンテナってふしぎですね。利得が2倍だと1W入力で2W出るのでですか(単なる金属なのに……)?」と問われたことがありました。

アンテナの利得はゲイン (Gain) とも呼ばれているので、ネーミングの先入観からか、増幅器の利得を思い浮かべるのかもしれませんが。しかし結論からいえば、1W入力ならば最大1Wの放射で、このときの放射効率 η は100% (1倍) です。

アンテナの利得とは、基準アンテナに比べて、特定方向へその何倍強く放射しているかという相対的な評価値です。図3-1の放射は球体ですが、この仮想的な等方性 (isotropic) アンテナに電力を加えたときは、どの方向へも等しく電力の平均値が放射されます。

この球体をゴム風船と考えれば、力を入れて手で絞ると図3-2のように飛び出ます。ここで、ある方向へ強く飛び出るけれども、電力の総量1W (風船の空気量) は変わらないことに注意してください。

図3-3は、 $\frac{1}{2}\lambda$ (波長) ダイポール・アンテナと等方性アンテナの電力放射パターンです。 P_d を $\frac{1}{2}\lambda$ ダイポール・アンテナの放射電力、 P_i を等方性アンテナ

コンパクト・アンテナの性能限界

4
章

コンパクト・アンテナとは、フルサイズ・アンテナよりも寸法が小さいアンテナのことをいいます。フルサイズは、一般に $\frac{1}{2}\lambda$ ダイポール・アンテナの寸法です。ベランダにHF帯のアンテナを設置したいアママン・ハムや、HF帯モービル・ハムのアンテナなら、コンパクト・アンテナの性能を“めいっぱい”引き出したいでしょう。



DK5CZ Chrisが製品化したマグネチック・ループ・アンテナ AMA-10D

4-1

微小ダイポール・アンテナの特性

究極のコンパクト・アンテナは、教科書に載っている「微小ダイポール」や「微小ループ」でしょう。これらを理論式で解析すると、意外にも性能の低下はわずかだというのですが……。これを信じてよいのでしょうか？

微小ダイポールのシミュレーション

2200m帯は2009年にアマチュア無線に割り当てられましたが、「135kHzは使えない」といった声も

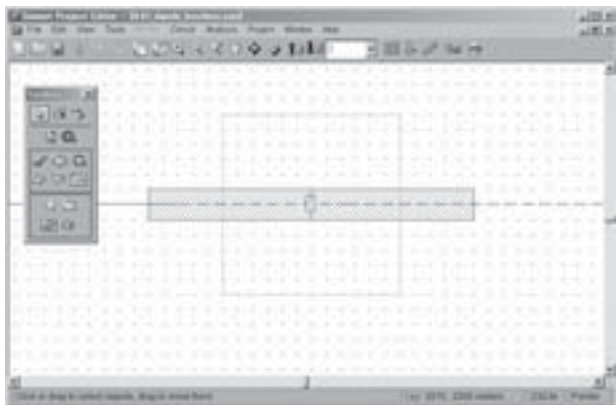


図4-1 微小ダイポール・アンテナのモデル

Sonnetを使用。広い解析空間が必要なことから、エレメントの幅を広くして離散化度を調整した

聞きます。しかし、これは極端に小型化したアンテナの性能を実証するために、最適なバンドといえるでしょう。

例えば「近傍界の電界と磁界が同相になる」と主張されている奇妙な共振型アンテナがありますが、もしそのとおりの動作であれば、2200m帯の通信距離は飛躍的に伸びるはずですが。とりわけ、シミュレーションでは確認が得られないというOMには、実験に最適でチャレンジしがいがあるバンドでしょう。

さて、「微小」とはあいまいな表現ですが、ここでは波長に比べて十分短いダイポール・エレメントを考えましょう。例えば図4-1に示すモデルのように、エレメント長22mのダイポール・アンテナは、 $\frac{1}{100}\lambda$ サイズの微小ダイポールといえます。

これは電磁界シミュレータSonnetによるモデルです。図4-2に示すように指向性利得は1.76 dBiになり、第3章で述べた微小ダイポール・アンテナの理論値と一致しました。放射パターンは図4-3に示す球座標で、 θ と ϕ (Phi)の角度に応じた値をプロットしています。少しわかりづらいですが、もっとも外側の円は ϕ が 90° で、球座標ではY-Z面上のプロットになります。そ

5
章

バンド別コンパクト・アンテナのいろいろ

第1章から第4章で、コンパクト・アンテナとは何か、動作原理や性能の限界もわかってきました。そこで本章では、先駆者たちが開拓したいろいろなコンパクト・アンテナをバンド別に調べて、運用のコツや自作のアイデアを大いに活用しましょう。



モービル・ホイップのシミュレーション・モデル
(XFDTDを使用・構設計画研究所提供)

5-1

長・中波のコンパクト・アンテナ

共振型アンテナに必要な寸法は、動作周波数の波長に連動します。一方、設置環境の制約から、長波(135kHz帯)や中波(500kHz, 1.9MHz帯)はコンパクト・アンテナを使うしかなく、極端に小型化した製作例も散見されます。なかでも135kHz帯は波長が2.2kmもあるので、タワーを利用して $\frac{1}{100}$ λサイズが精いっぱいでしょう。

MicroVert(第2章)など、同軸ケーブルを放射に利用するアイデアも $\frac{1}{100}$ アンテナと呼ばれているようですが、これらはアンテナ単体からの放射が極めて少ないので、本章では除外しています。

135kHzのコンパクト・アンテナ

135kHz帯は2009年にアマチュア無線に開放されました。波長が約2200mなので、モノポール・アンテナでもエレメント長は約550mになります。

50m高タワーに設置したT型アンテナでQRVのJA7NI 富樫OMの環境は、実に恵まれた希^{ほう}有な事例でしょう。一般的には、狭い敷地に20m高前後のタワーで、22m($\frac{1}{100}$)クラスのモノポールに底辺装荷のローディング・コイルで共振させるコンパクト・アンテナが有望です。

しかし、実際にチャレンジされているOMの報告

によれば、HF帯のアンテナ工作とはずいぶん勝手が違うようです。極端に小型化が必要なアンテナの設計は、その過程で考え込む機会が何度となく訪れ、勉強になります。

さて135kHz帯用のアンテナは、一般的な環境下で実現できる候補が底辺装荷モノポールしかないので、選択の余地はありません。その意味で設計方針に悩むことはありませんが、インピーダンスの値を得るという作業の入り口で、少し足踏みをするでしょう。

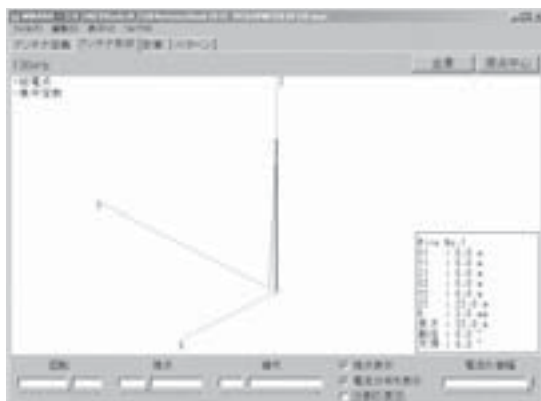
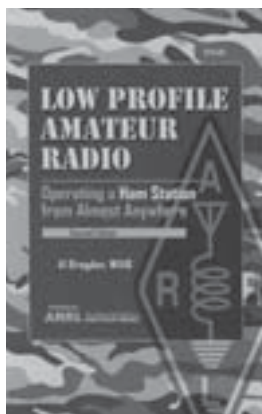


図5-1 22m長モノポール・アンテナのシミュレーション・モデル(MMANAを使用)

6 アパマン・ハムとコンパクト・アンテナ

コンパクト・アンテナは、設置できるスペースが十分とれないアパマン・ハムにこそ必須のアイテムです。HFやローバンドにチャレンジするOMは、工夫しだいで狭いスペースでもアンテナを設置できます。



W1AB Al Brogdon,
ARRL 発行



WB4KTC Robert J.
Traister, TAB Books 発行

6-1

「ロー・プロファイル」アンテナとは？

ロー・プロファイル (low profile) は、目立たないとか、小型化された、省スペースといった意味で使われます。ずばり“LOW PROFILE AMATEUR RADIO”というタイトルの本もあり、これは主にモバイル運用を前提としたリグやコンパクト・アンテナが紹介されています。

欧米の固定局は、大型アンテナの設置スペースが十分あるから、ロー・プロファイルには縁がないと考

えるのは早計のようです。現に“HOW TO BUILD HIDDEN LIMITED-SPACE ANTENNAS THAT WORK”(「限られたスペースに建てるお役立ち隠密アンテナ」とでも訳す？ hi) という本も発行されています(いずれもタイトル写真参照)。

ステルス・アンテナとは？

写真6-1と写真6-2は、“STEALTH AMATEUR RADIO”と“Stealth Antennas”というタイトルの本で、いずれもステルスというキーワードが使われています。ステルス戦闘機を思い浮かべるように、低被発見性や低被探知性といった意味で使われていますが、コンパクト・アンテナを用いて見つからないように運用するという点では、ロー・プロファイルの仲間といえるでしょう。

昔、オーストラリアを旅したときに、メルボルンの住宅街に迷い込んでしまいました。どの家も広い芝生の庭があり、手入れが行き届いたイングリッシュ・ガーデンで、HFの大



写真6-1 “STEALTH AMATEUR
RADIO”
NT0Z Kirk A. Kleinschmidt, ARRL 発行

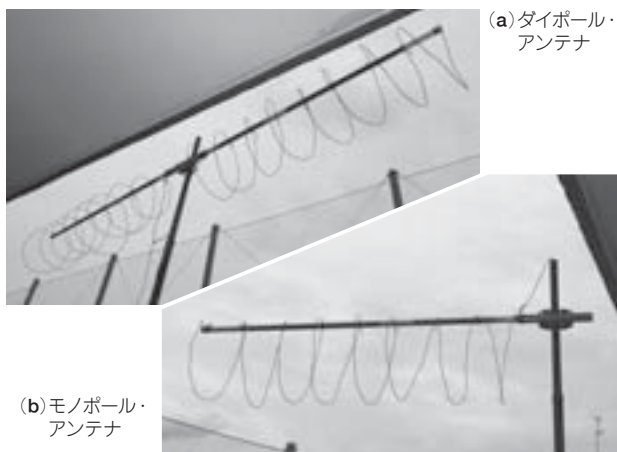


写真6-2
“Stealth Antennas”
G0KYA Steve Nichols, RSGB 発行

7 ベランダ・アンテナの実際

7
章

アパマン・ハムのなかでも、筆者のようにベランダしか使えない住環境は最悪ケース (hi) といえるでしょう。特にHF帯のQRVをあきらめきれないOMは、プラスチックがつかのるばかり。ここ一番、ベランダ・アンテナの限界に挑戦しましょう。



(a)ダイポール・アンテナ

(b)モノポール・アンテナ

超大型コイル・エレメントのアンテナ

7-1

モービル・アンテナを活用する

モービル・ホイップ・アンテナは、バンドによらず1~2mの長さが標準なので、狭いベランダに最適な寸法です。しかし、3.5MHzや7MHz用では、一般に小型コイルのQが低く、損失が大きいため放射効率 η が低下します。

車載による運用では、車体のラジアル効果(第5章)で η が向上することがわかりました。また、走行しないときには、フルサイズのラジアルを数本追加することで、やはり η はかなり改善できます。そこで、このアイデアを全面的にベランダで実現して

みることにしました。

モービル・ホイップをダイポールに

写真7-1は、第5章で述べた、モービル・ホイップを2本使ったダイポール・アンテナの給電部分です。コイルは線径が異なる二つの部分が直列接続され、給電部の近くから巻き始めた全長は約40cmです。

アンテナの全長は約1.4mですが、コイルが全長の約 $\frac{1}{3}$ なので、線状のエレメントは1m弱の底辺装荷アンテナです。XFdtdでシミュレーションしたモ

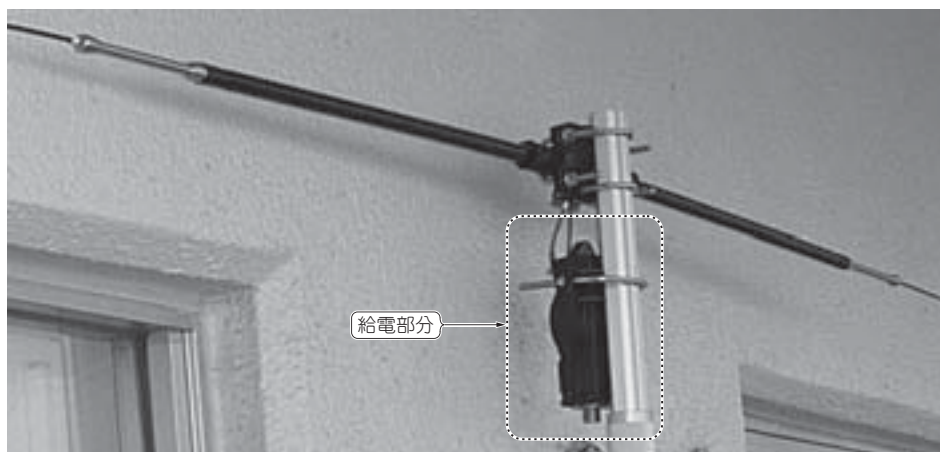


写真7-1

3.5MHzモービル・ホイップ(第一電波工業 HF80FX)を2本使ったダイポール・アンテナの給電部分

8
章

メーカー製アンテナのスペック

メーカー製アンテナは、最近アマチュア・ハム向けの小型アンテナが増えてきました。これはうれしいことですが、なかには公表されたスペック（仕様）が明らかに満たされていない製品もあるので、正しく品定めをするポイントを身につけることが求められています。



(a) アンテナ・アナライザ (リグエキスパート AA-1000) (b) スタンディング・ウェーブ・アナライザ (コメット CAA-500)

8-1

利得とは

利得という用語は、テクニカル・タームとして使われるときには、オペアンプなどのゲインまたは増幅率を思い浮かべるかもしれません。よく知られているとおり、半波長ダイポール・アンテナは2.15 [dBi]のゲインがありますが、アンテナは単なる導線なので、もちろん1W入力で1.6Wの電波が出るわけではありません。

ここで単位として使っているdBiは、第3章でも述べたとおり絶対利得 (absolute gain) を表します。絶対利得 (G_a) は、すべての方向に対して一様に電力を放射する仮想的なアンテナである、等方性

(isotropic) アンテナに対する利得です。図8-1で、 P_y を八木アンテナの放射電力、 P_i を等方性アンテナの放射電力とすれば、これらの比をdBに変換したのが絶対利得です。

図8-2は3エレメントの八木アンテナの放射パターンです (MMANAを使用)。ダイポール・アンテナに比べると片方向へ集中して放射され、理想的な半波長ダイポール・アンテナに対する利得を相対利得 (relative gain) と呼んでいます。

電磁界シミュレーションでは、得られた放射パタ

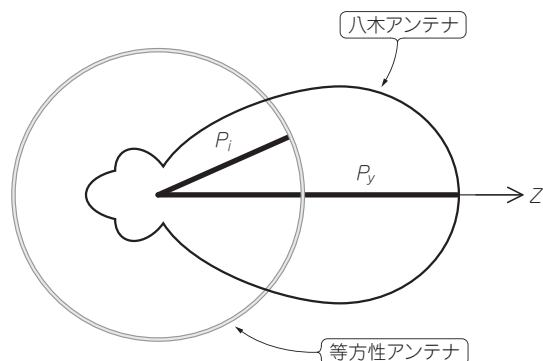


図8-1 八木アンテナと等方性アンテナの放射電力

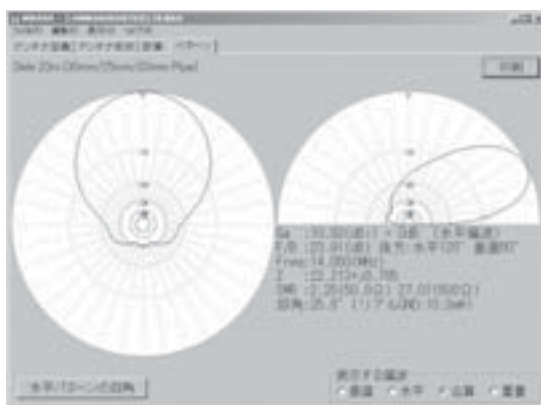


図8-2 3エレメントの八木アンテナの放射パターン (MMANAを使用)

見本

ISBN978-4-7898-1646-5

C3055 ¥2400E

CQ出版社

定価：本体2,400円（税別）



9784789816465



1923055024007

このPDFは、CQ出版社発売の「コンパクト・アンテナの理論と実践[入門編]」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/16/16461.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>

アンテナ・ハンドブック
シリーズ



コンパクト・アンテナ の理論と実践 [入門編]