

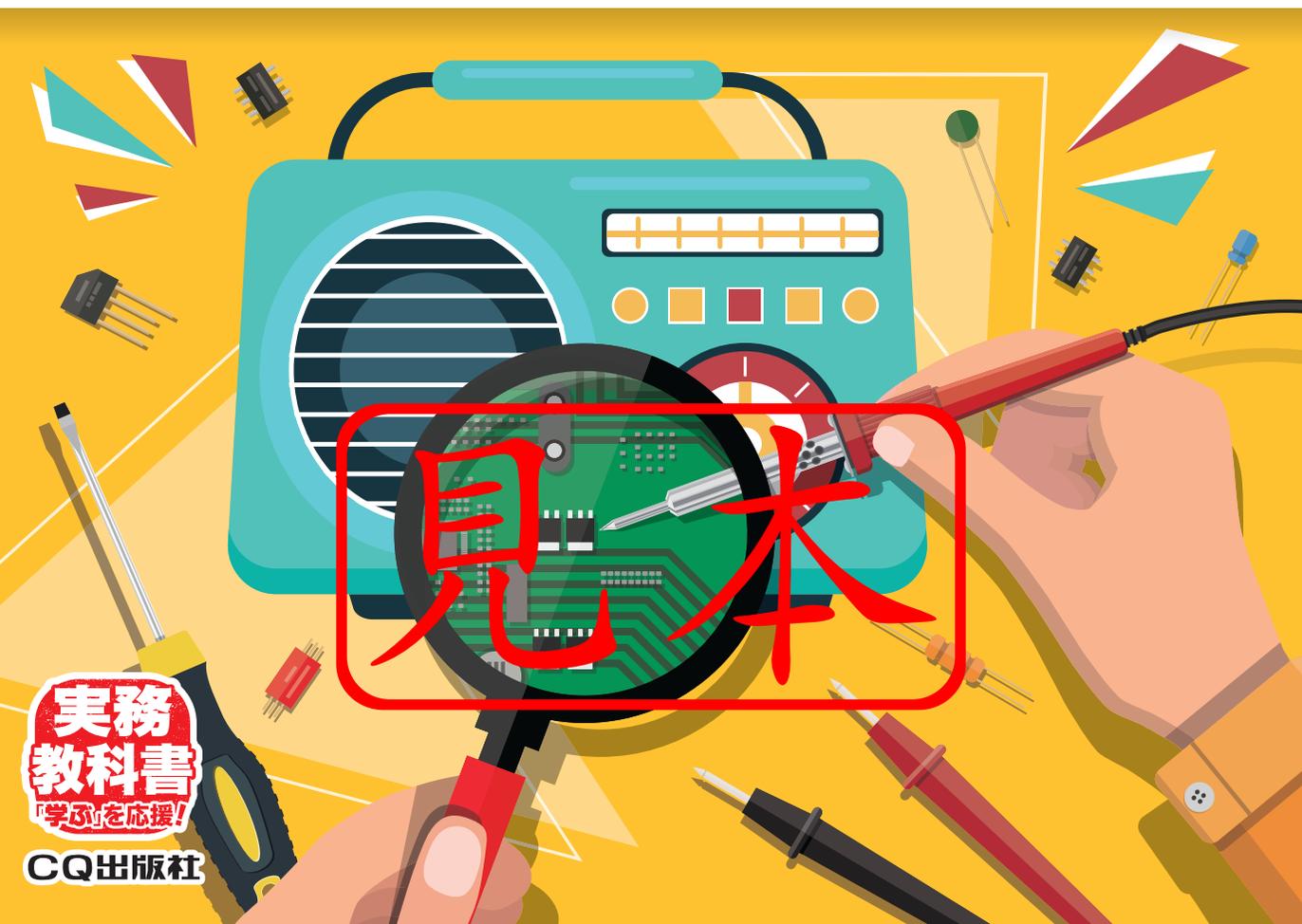
研究や実務に役立つエレクトロニクスの参考書

2025
Autumn
No.172

トランジスタ技術 SPECIAL

すべての電子回路はラジオに通ず! 物理現象と回路の橋わたし

電波とくふうの ラジオ回路



見本

実務
教科書
「学ぶ」を応援!

CQ出版社

部品入手難時代の ラジオ回路製作のコツ

足立 克 Masaru Adachi

近年はSDR(Software Defined Radio)やDSP(Digital Signal Processing)ラジオが登場したことで、かつてよく使われていたアナログ方式のラジオが徐々に影を潜め、使用する部品も入手しにくくなってきました。

アナログ方式のラジオはAM/FMを問わず、放送の仕組みや原理、受信方法を理解する上で非常に役に立ちます。SDRは受信した電波をデジタル的に数値化してから、計算によって信号を処理しますが、アナログ方式のラジオで復調の原理を理解しておけば、数値計算により音声信号が得られる過程を理解しやすくなります。

近年、パー・アンテナやバリコン(可変コンデンサ)など(写真1)、製作のかぎとなる部品が入手しにくくなっており、それを理由に製作を諦めてしまう人も少なくありません。こうした現状を鑑み、部品の自作やジャンク品の活用など、これからのラジオ製作でできることを考えてみます。

実験を始める前に：アナログ方式のラジオには2つの種類がある

アナログ方式のラジオには2つの種類があります。ゲルマニウム・ダイオードや1石/2石のトランジスタで作れる「ストレート方式のラジオ」と、6石スーパー・ラジオに代表される「ヘテロダイン方式のラジオ」です。

● ストレート方式のラジオ

アンテナ・コイルで受信した電波を、そのまま検波するか、または増幅してから検波する方式のラジオです(図1)。混信を受けやすいという欠点がありますが、回路構成が簡単で、ラジオ受信機の原理を学習するのに適しています。

ゲルマニウム・ラジオ(写真2)は、電池を使わずに、アンテナ・コイルで捕らえた電波のエネルギーだけでセラミック・イヤホンを鳴らすことができるラジオで

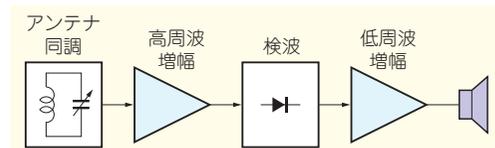


図1 ストレート方式のラジオの構成例

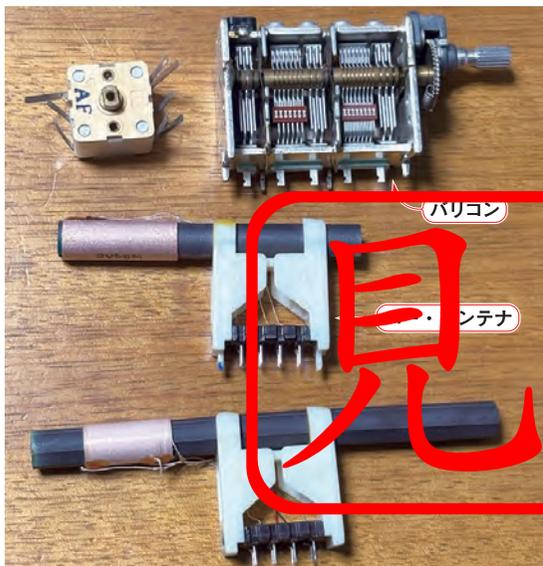


写真1 パー・アンテナとバリコン

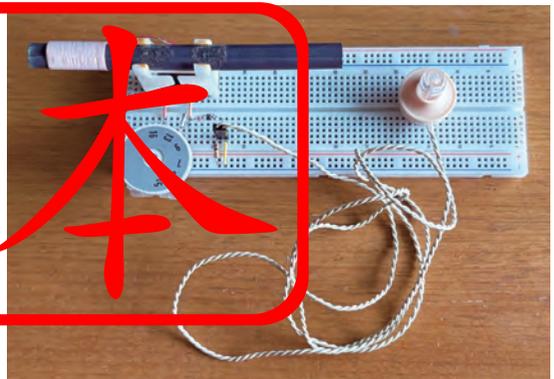


写真2 ゲルマニウム・ラジオ

見本

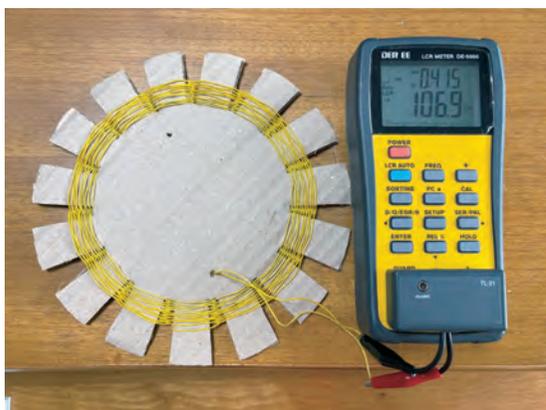


写真3 スパイダ・コイル

段ボールで作った巻枠に、導線を巻いた(ここではホームセンターなどで売られている一般的なリード線を使用。被覆の外側から測定した太さは1mmでいどだった)。直径約15cmの巻枠に導線を22回巻いた状態で、約107μHのインダクタンスが得られた

きなインダクタンスが得られます。パー・アンテナはこの性質を利用して、アンテナ・コイルを小型化したものです。

従ってアンテナ・コイルには、必ずしもパー・アンテナを使用する必要はありません。例えばトイレット・ペーパーの芯のような筒状の巻枠(まきわく)にエナメル線を巻いたものでも構いませんし、段ボール箱のような四角い巻枠に巻いたものでも構いません。アンテナ・コイルの面積が広いほど、放送局から送られてくる電波の磁束がたくさん鎖交するため、ラジオの感度が良くなります。

写真3に示すスパイダ・コイルは、花形の巻枠に導線をクモの巣状に巻いたもので、古くからラジオ用のアンテナ・コイルとして使われています。直径が約15cmの巻枠に導線を22回巻いた状態で、約107μHのインダクタンスが得られます。

筆者の環境で試したところ、このアンテナ・コイルと、図3の回路(最大容量が270pFのポリバリコンを使ったストレート方式のラジオ)で、NHK第1上野(1161kHz)とCBC放送(1485kHz)を受信できました。より低い周波数を受信したい場合は、必要に応じて導線を巻き足します。

● スパイダ・コイルの巻き方のポイント

スパイダ・コイルに導線を巻く際は、羽根と羽根の間を縫うように、導線を前後させながら巻きます(図4)。また、巻枠は、必ず羽根の枚数が奇数になるようにします。そうすることによって、導線を1層巻いたとき羽根に対して導線が自ずと前後に交差するようになります。

このように導線が羽根を縫うように巻くには、線間容量を小さくするという重要な意味があります。

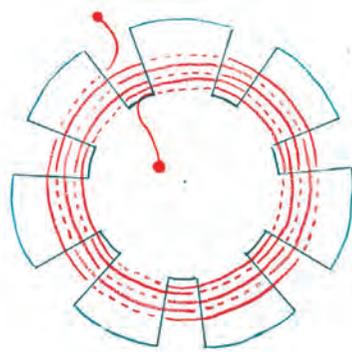


図4 スパイダ・コイルの巻き方
奇数枚の羽根に対して、羽根と羽根の間を縫うように導線を巻いていく。隣接する巻線の間隔を広げることによって、線間容量を小さくしている

コイルの巻線(まきせん)は、密着させて巻くと意図せぬ静電容量が生じてしまいます。これを線間容量と言います。線間容量が大きくなると、コイルと共振してしまうため、高い周波数で共振させることができなくなります。スパイダ・コイルは、これを防ぐために、隣接する巻線の間隔を広げて線間容量を減らせるように工夫された、ラジオ専用のコイルです。

また、巻枠を大きくすると、コイルに鎖交する電波の磁束が増えるため、感度が良くなります。このスパイダ・コイルを用いてNHK第1放送を受信したところ、パー・アンテナより優れた感度が得られました。

実験② バリコンを使わない
μ同調方式の実験

- 静電容量が固定ならインダクタンスを変えればいい
アンテナ・コイルで受信した電波は高周波電流となり、アンテナ・コイルのインダクタンスと、バリコンの静電容量を共振させることによって大きく増強されます。この増強された高周波電流をダイオードで検波し、その振幅成分を取り出せば音声信号が得られます。ゲルマニウム・ラジオは、音声信号で直接セラミック・イヤホンを鳴らします(図5)。トランジスタを使ったストレート・ラジオは、共振によって増強した高周波電流を、さらにトランジスタで増幅してからダイ

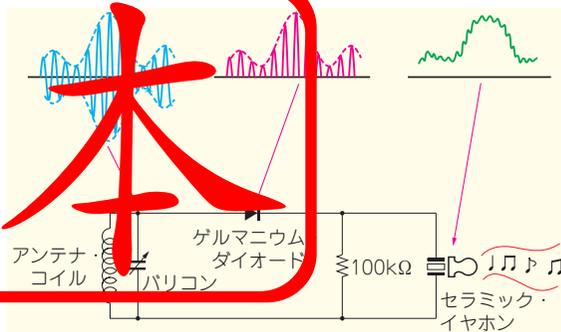
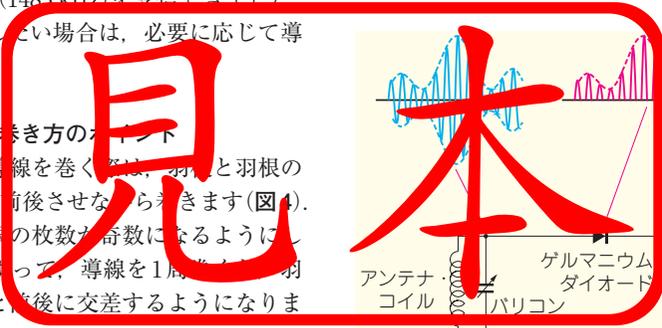


図5 ゲルマニウム・ラジオの原理
同調回路で電波を受信し、検波して、セラミック・イヤホンを直接鳴らす

タッチLCD式DSPラジオ

安田 仁 Jim Yasuda

本稿ではワンチップDSPラジオICとESP32マイコンを使ったタッチ式LCDラジオの製作を紹介します(写真1)。

DSPラジオIC Si4735

ワンチップDSPラジオIC Si4735(Skyworks Solutions)は、長波/中波/短波/FMが受信できて、FMラジオにデジタル・データを埋め込むRDS(Radio Data System)やデジタル音声出力が可能です。

2008年ごろに最初のファームウェア・バージョンB20がリリースされ、その後C40、D60とバージョンアップが行われました。D60はプログラム・パッチ機能が追加され、SSB(Single Side Band)受信機能などの機能拡張バイナリが公開されます。

2021年4月にシリコン・ラボラトリーズがワイヤレス、クロック事業を手放したため、現在はSkyworksからデバイス入手可能です。

● Si4735の特徴

下記の周波数帯が受信できます。

長波：153 k～279 kHz

中波(AM)：520 k～1710 kHz

短波：2.3 M～26.1 MHz

FM：64 M～108 MHz

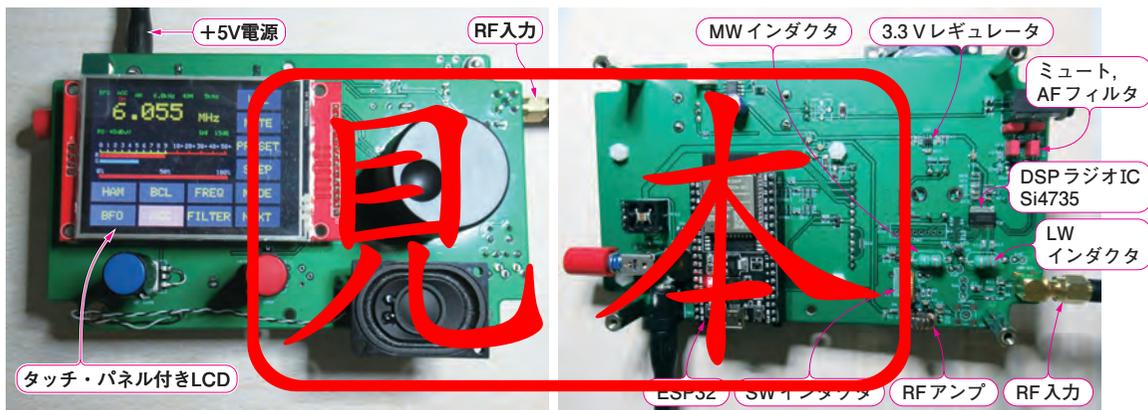
Si4735の内部ブロック構成を図1に示します。

24ピンSSOPまたは20ピンQFN(3×3mm)が入手できますが、SSOPのほうが使いやすいでしょう。

I²CまたはSPI経由でコマンドを送って選局などを制御するので、マイコン制御が必須となります。ブロック図に示すように、前段はアナログ処理でベースバンドに変換したあと、A-Dコンバータ以降はデジタル処理されます。RCLK端子には32.768kHzのクロックが必要なので、水晶振動子が発振器を用意します。また、RF入力部にはIC内部に構成されたキャパシタと同調するインダクタを用意します。選択フィルタやFMステレオ復調、RDS復調はDSPを使った処理ですので、適切な設定を行えば高性能なラジオが構成できます。

● PU2CLR Si4735ライブラリとパッチ機能

マイコンからI²Cを使ってSi4735の制御を行います。制御方法やコマンドの詳細は、“AN332 SI47XX PROGRAMMING GUIDE”に記載されています。



(a) 部品面

(b) はんだ面

写真1 製作したタッチ式DSPラジオ基板…ESP32マイコンとDSPラジオICで作れる

3端子ラジオICによる AMラジオ回路

加藤 高広 Takahiro Kato

● 内部はシンプルな構成のストレート式

ストレート式はシンプルなので、入門用にはもってこいです。ストレート式ラジオといえば、再生検波を使って感度と選択度の向上を図ったものが一般的です。昔のラジオでいうところの並4ラジオ^(*)のようなものです。わずかな能動素子(真空管)でよく聞こえるようにするには再生式の検波^(**)は必須だったからです。その反面、再生の扱いが面倒で受信放送を変えるたびに最適状態に調整するわずらわしさがありません。

ここでは、実用性を目指してICを使ったストレート・ラジオを採り上げます。

3端子ラジオICとは

● 3段の高周波アンプを内蔵

実用的なストレート・ラジオのICとして3端子型ラジオがあります。3端子ラジオICを使うと再生式ラジオとは違って操作は単純で、聞きたい局に合わせるだけです。それでもなお高感度なのは、IC内部に高周波増幅が3段入っていて、しかもゲインのあるトランジスタ検波回路を採用しているからです。

簡単ながらAGC(Automatic Gain Control:自動利得制御、受信したラジオ局の電波の強弱をなるべく同じ音量に調整する)機能を持っているのも特徴です。放送局間の音量差が緩和されて実用的な性能が得られます。

● 元祖はフェランティ・セミコンダクターのZN414

写真1は市販の3端子ラジオIC(再生式ラジオのオリジナルは英国のフェランティ・セミコンダクター社

(*) 並4ラジオ:3極管3本+整流管1本で構成されたラジオ。3極管の後に5極管が発明されたので、3極管=普及クラスという意味合いで「並」という言葉が使われた。

(**) 再生式の検波:検波管(初段)の出力を同調回路(アンテナ・コイル)に戻して再び増幅し感度を上げた検波方式。正帰還なので発振しやすいため調整が容易ではない。

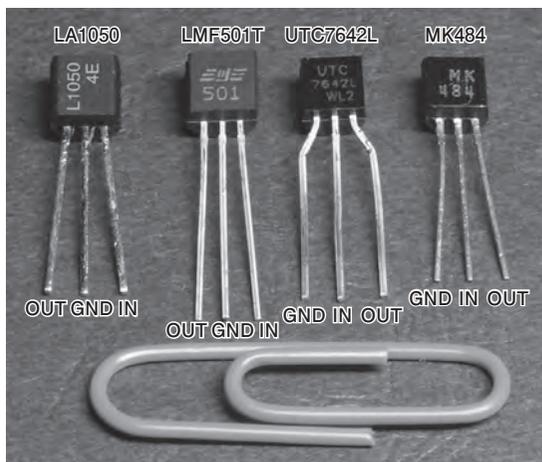
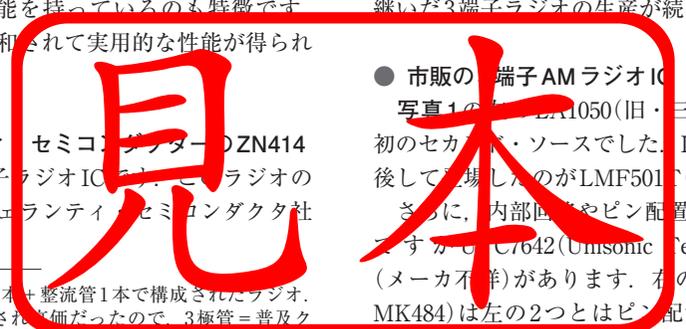


写真1 市販の3端子AMラジオICと端子機能
オリジナルのフェランティ社Z414は入手できなかったが4種類が入ってきた。左の2つと右の2つは端子の並びが異なる。図3の回路図ではどれも安定に動作する

で、1970年代に登場したICチップZN414がオリジナルです。筆者は香港製のラジオ付き腕時計で見たのが最初です。当時の香港は英国領だったので、欧州の電子部品が見られるアジアでも珍しい地域でした。フェランティ社はすでになくなっていますが、設計を受け継いだ3端子ラジオの生産が続いています。

● 市販の3端子AMラジオIC

写真1のLA1050(旧・三洋電機)はZN414の最初のセカンド・ソースでした。LA1050の生産中止と前後して登場したのがLMF501T(旧・ミツミ電機)です。さらに、内部回路やピン配置に少し違いがあるようですが、UTC7642(Unisonic Technologies)とMK484(メーカー不詳)があります。右の2つ(UTC7642およびMK484)は左の2つとはピン配置が異なります。写真に示すような足の並びになっています。



AM/FM/短波対応 ワンチップDSPラジオ

加藤 高広 Takahiro Kato

ラジオの製作においては、製作の仕方や調整のいかんによってはかなりの性能差が現れることがあります。しかしここで扱うDSPラジオは部品のレイアウトがとても簡単な上、基本的に無調整なので、誰が作っても同じような高性能が得られます。

その代わり入念なチューニングで追い込んで高性能化して、ほかに差を付けるというようなマニアックな味付けはほとんどできませんが、実用品を作るには最高のICです。2013年に登場した、比較的新しいチップです。

DSPラジオIC Si4825を使う

● AM/FM/短波(SW)に対応

Si4825-A10(Skyworks Solutions)はCMOS構造でできたDSP^(*)ラジオ用ICです(写真1)。同社からは各種のDSPラジオICが登場していますが、もっともベーシックなICです。

AM放送だけでなく、短波放送(SW)、FM放送をすべてカバーします。受信バンドの基本は41バンドです。短波のワイドとナロー・バンドの切り替えを含めると、合計で59バンドもあります。

デジタルなDSPラジオでありながら、可変抵抗器(VR)を使いアナログ感覚で選局操作ができます。ただし受信周波数はデジタル的に飛び飛びです。AM放送(中波)は全世界対応で、9kHzステップだけでなく米国の10kHzステップの選局もできます。また、短波SW帯は2.3MHz~28.5MHzを多数のバンドでカバーし、選局が容易に行えるよう考えられています。

(*) DSP: Digital Signal Processing。デジタル信号処理。アナログ信号をA-D変換でデジタル数値化してから数値演算処理により信号処理する。アナログ部品を使わずにフィルタや復調などの回路機能を数式的に実現できる。処理後にD-A変換してアナログ信号に戻すことができる。

(*)2 IQ: 同相(in-Phase)信号と90°位相(Quadrature-phase)信号の意味で、位相打消し形式でイメージ・リジェクション・ミキサ回路に使うことが多い。DSPを使った受信機では一般的に使われている。

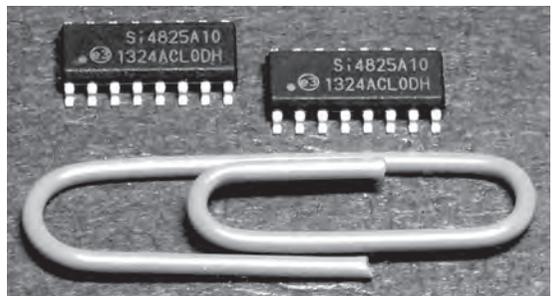


写真1 DSPによる信号処理で復調するラジオIC Si4825-A10
常識だったバリコンやIFTが必要ないだけでなく、面倒なトラッキング調整もいらない。まったくの無調整で中波帯、短波、FMまで広くカバーするラジオが作れる。パッケージは表面実装型だが、ピンの間隔は1.27mmなので比較的容易にはんだ付けできる。

FMも世界各国対応でワイド・バンド仕様になっています。

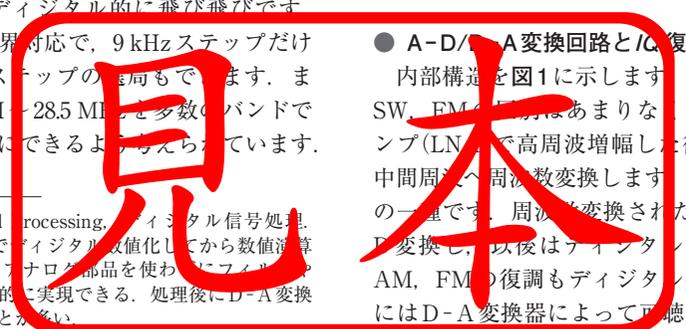
● 200円そこそこ

これだけの機能を持ちながらわずか16ピンの小さなチップであり外付け部品が少ないうえ、なんといっても無調整で済むことが最大の特徴でしょう。多くの特許でガードされているのでセカンド・ソースは登場しないものと思われます。しかし価格は十分こなれていて、単品が200円で購入できました。

● A-D/A変換回路とIC復調用DSPを内蔵

内部構造を図1に示します。ハードウェア的なAM、SW、FM検出はあまりなくて、ロー・ノイズ・アンプ(LNA)で高周波増幅した後、ミキサ回路で低い中間周波へ周波数変換します。スーパーヘテロダインの一種です。周波数変換された受信信号は直ちにA-D変換し、以後はナインタン信号処理になります。AM、FMの復調もデジタル処理で行われ、最終的にはD-A変換器によって可聴周波数のアナログ信号に変換されて出力されます。

低い周波数への変換するときには発生しがちなイメージ混信が心配されますが、これはIQ^{(*)2}信号によるイ



第7章 FMもAMと同じ回路で検波する

無電源で動く FMラジオの製作

早川 槇一 Shinichi Hayakawa

ゲルマニウム・ラジオは電源を必要とせず、簡単な回路から音が出ます。検波デバイスは必ずしもゲルマニウム・ダイオードである必要はないので、本稿では、電源を必要とせず動作するラジオを無電源ラジオと呼ぶことにします。

ここでは、FM放送を聴くことができる無電源ラジオの製作例を紹介します。アンテナの調整や外部アンテナ接続端子の調整、検波回路の調整にはNanoVNAを使いました。小型＆安価なベクトル・ネットワーク・アナライザ(VNA)を使用することで、追加するべき部品の定数にアタリを付けて、効率良く性能を求めることができます。

無電源ラジオとは

製作した無電源ラジオの外形を写真1に、使用した部品を表1に、回路を図1に示します。古くから知られる無電源ラジオと同様に、コイルとコンデンサで並列共振回路を構成したものです。

アンテナとして、ロッド・アンテナを組み合わせて

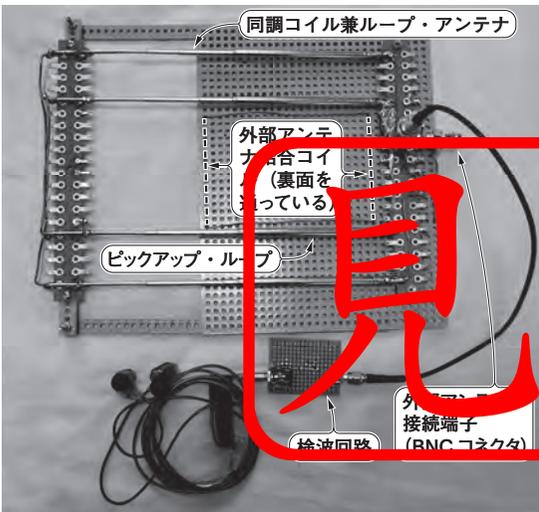


写真1 製作した無電源ラジオ

作ったループ・アンテナを用います。外部アンテナを接続することも可能で、例えば室内では受信電力が弱い場合などに室外に置いたアンテナを接続すると、補助的に使用できます。

同調コイルはループ・アンテナと兼ねています。同調コイルと、ループ・アンテナのインピーダンス・マッチングをするためのピックアップ・ループ、および外部アンテナと疎結合させるためのコイルの3つを磁気結合しています。

● コイルのインダクタンスを変化させて目的の局の周波数に同調させる

コイルのインダクタンス、あるいはコンデンサの静

表1 無電源ラジオに使用した部品

部品名	型番・定数	参考価格	入手先
ロッド・アンテナ	ANT-5BNC	350円	千石電商
ダイオード	1SS106	120円	秋月電子通商
コンデンサ	5 pF, 10 pF	10~50円	一般的なもの
インダクタ	270 nH	10~50円	一般的なもの
BNCコネクタ	B-014IF	130円	秋月電子通商
ラグ板	L-3522-20P	880円	千石電商
SMAコネクタ	S-063-49-TGG	150円	秋月電子通商
イヤホン	VSD3S	1,920円	一般的なもの
イヤホン・ジャック	MJ-352W-O	100円	秋月電子通商

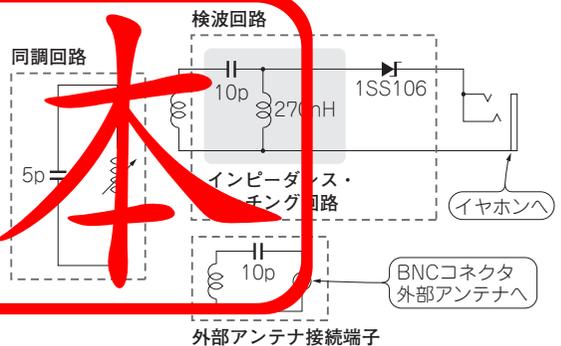


図1 無電源ラジオの回路…LC素子の定数はNanoVNAを使用して調整した

ラジオ用アンテナの設計&製作

中山 大輔 Daisuke Nakayama

電波を空間に出し入れするしくみ

● アンテナとは何か

アンテナ (Antenna) の語源はラテン語の「昆虫の触角」です⁽¹⁾。ラジオにとってアンテナは、空間を伝わってきた電波を高周波の電気信号に変える役割を持っています。アンテナに送信機や受信機をつなぐことで、送信側のアンテナが高周波電気信号を電波に変え、電波が空間を伝搬し、受信側のアンテナで電波を高周波電気信号に変換することで無線通信ができます(図1)⁽²⁾。

電波は電磁波の一種です。電波は電波法で「3 THz以下の電磁波」と定義されています。私たちが目で見ることのできる可視光や、夏に肌を黒くする紫外線、ヒータが発して周りを暖かくする赤外線も電磁波の一種です。電波を発信するには、出力する電界強度を微弱無線局の規定以下に抑えるか、電波を発信するための免許を取得する必要があります⁽³⁾。

ここでは、アンテナにより空間に電波を送信したり受信したりするしくみについて説明します。

● 電波を送信するしくみ

電波は図2のように電界と磁界の組み合わせで伝搬していきます⁽⁴⁾。空間中で変化する電界は磁界を発生させ、同様に、変化する磁界は電界を発生させることが物理現象として知られています。つまり、一度電界の変化か磁界の変化を発生させると、次に電界と

磁界の変化が発生して、遠くに伝搬していきます。変化する電界や磁界を作る源は交流信号から発生させることができます。つまりアンテナは、交流信号を「変化する電界か磁界」にうまく変換する装置、というわけです。

図3(a)のような交流信号源につながった平板コンデンサを考えます。コンデンサに交流電圧を加えると、平板の間に変動する電界が生まれます。この電界が空間に出やすいように平板を開くと、空間に変化する電界が出来上がるので、電波が放射されます。これがダイポール・アンテナの基本的な動作原理です。

また、交流信号源につながったコイルも、空間中に変化する磁界を発生させることができ [図4(a)]、これによって電波が放射されます。これがループ・アンテナやバー・アンテナ(フェライト・ロッドに電線を巻いたもの)の動作原理です。

● 電波を受信するしくみ

受信側のアンテナも構造は同じで、逆の動作をします。ダイポール・アンテナの場合は、遠方から飛んできた電波の電界成分を受けると、その電界の強さに比例した電圧が端子に現れます [図3(b)]。ループ・アンテナやバー・アンテナの場合は、遠方から飛んできた電波の磁界成分をコイルで受けると、変動する磁界の強さに比例した交流電圧が発生します [図4(b)]。

アンテナは基本的に、送信性能が良ければ受信性能も良いです(アンテナの可逆性)。具体的には、送信インピーダンスと受信インピーダンスと等しい、アンテナ

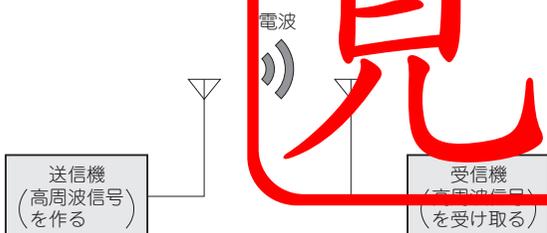


図1 無線通信では送信機と受信機がアンテナを介して電波を受け渡す



図2 電波は電界Eと磁界Bが伴って伝搬する

回路の素①:AMとFM… ラジオ放送の送信機のしくみ

加藤 高広 Takahiro Kato

ラジオ放送にはAM放送とFM放送があります。音声や音楽をデジタル・コード化して送るデジタル・ラジオも登場していますが、主流はいまでもAMとFMです。それぞれの仕組みと特徴を簡単におさらいします。

ラジオ放送の送信機のしくみ

● AM放送とは

1930年代から始まったAM放送は簡単な仕組みのラジオでも受信できることから、災害時の情報伝達用

として今でも有効な手段と考えられています。

AM放送は、音声の変化を電波の強さの変化として載せる形式です。図1のようにマイクロホンで捕らえた音声信号で高周波信号(=電波のもと)の振幅を変えます。この作用を変調と呼び、AMラジオは振幅変調(Amplitude Modulation: AM)された電波から元の音声を取り出す(復調という)電子機器です。

日本では、531 k~1602 kHzの中波(MF)帯域を使った放送がAM放送と呼ばれていますが、もう少し周波数の高い短波放送もAM変調を使っています。

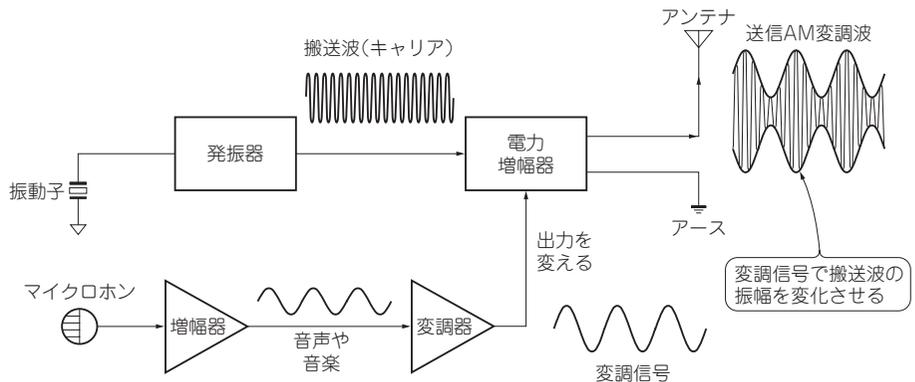


図1 AM送信機のしくみ

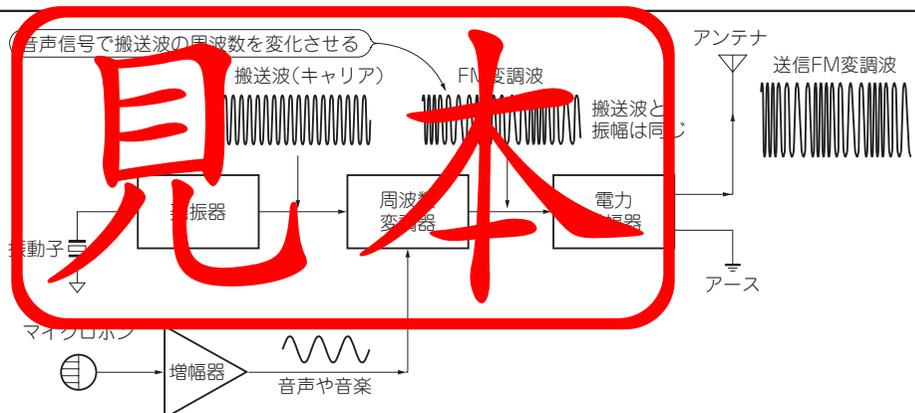


図2 FM送信機のしくみ

見本

全国NHK固定 6石AMラジオ回路

北川 裕理 Yuri Kitagawa

中波(AM)放送とりわけNHKは、受信可能エリアが極めて広く、市街地のみならず過疎地を含めて全国あまねく情報を届ける役割を担っています。近年、民放ラジオ局のFM移行準備が進められるなかにあっても、NHKはAM放送を堅持します。

AMラジオは用途をシンプルな放送受信に特化することにより、省エネという決定的優位性を持ちます。小容量電池で長時間動作するので、平常時はもちろんのこと、災害時に大活躍します。さらに太陽電池充電と組み合わせることで、長期間の停電でも半永久的に受信可能です。

ここでは、入手容易な汎用部品で構成する6石AMラジオを紹介します。

6石ラジオの構成

本稿で紹介する6石ラジオのブロック構成を図1に、回路を図2に示します。特徴は以下の5点です。

- (1) 単同調ストレート方式
- (2) 高周波2段増幅
- (3) 両相ダイオード検波
- (4) 完全対称トポロジの音声増幅
- (5) 能動素子はすべてNPNバイポーラ・トランジスタ

AMラジオはカバー・エリアが広いので、使用する地域の放送周波数に固定した単同調方式が適します。ここでいう単同調とは周波数が固定であるという意味

に加え、周波数フィルタリング機能を高周波フロントエンドのLC共振1カ所でまかなうという意味も込められています。周波数変換やトラッキング調整などが不要なので、入門者でも安心して製作に取り組みます。

強電界地域はもちろんのこと、放送局のカバー・エリアの境界付近でも感度良好に受信できるように、高周波増幅を2段構成とします。増幅回路は伝統的なエミッタ接地式とし、寄生発振を防止するためベース回路に直列抵抗110Ωを挿入しました。あるいは発振に強い構成として、エミッタ接地とベース接地を組み合わせたフォールデッド・カスコード式を採用することも可能です⁽¹⁾。

AM復調は、ダイオードを2本直列に用いた両相検波回路です。正負両相の音声信号が得られるので、後段のプッシュプル回路を差動モードで直接駆動できます(第14章を参照)。

音声増幅段は、完璧な上下対称性にこだわりました。非対称ひずみを相殺するとともに、回路トポロジや基板実装でエレガントさが際立ちます。

使用するトランジスタはすべて入手性のよいNPNタイプとしました。高周波増幅から音声ドライバ段まで、国民的トランジスタ2SC1815(東芝)です。さらに、最終段のプッシュプル増幅も2SC1815に統一することも可能ですが、電力的に余裕のあるSS8050(オンセミ)を使いました。バイポーラよりも電界効果トランジスタ(FET)の音質が好みという方は、2N7000(オンセミ)

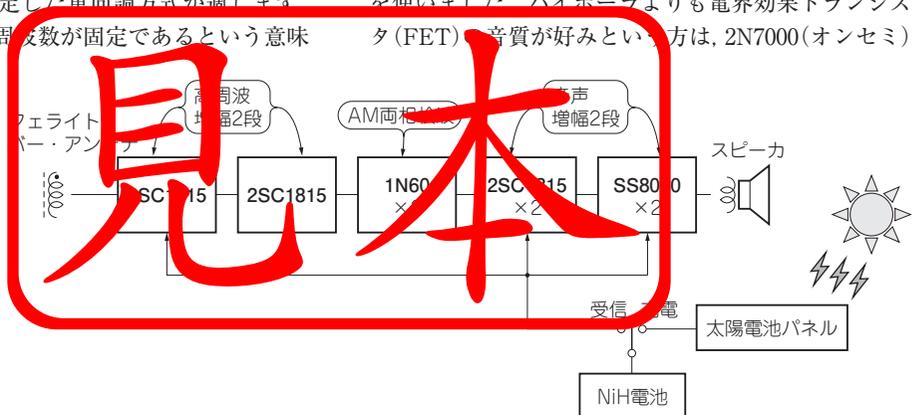


図1 6石AMラジオのブロック・ダイヤグラム

ダイレクト・コンバージョン方式 AMラジオ回路

荒川 悦雄/三谷 竜平/佐藤 俊太郎/深澤 龍雅/白山 新治/中川 実/矢島 里歌/大山 晴生

ラジオの回路は、長年にわたって研究された結果、ほぼ最適な構成が考えられています。しかし、実用性の高いラジオはそれなりに回路規模や部品点数が多く、簡単に作ることは難しくなります。

部品点数が少なく簡単に作れることを前提に、できるだけ現行部品で感度の良いラジオを作れないかと検討した結果のアイデア・ラジオ回路を紹介します。
(編集部)

ダイレクト・コンバージョン方式によるAM復調の原理

単純な回路構成で部品数が少なく、組み立てが簡単であることを目指したAMラジオを製作するにあたり、復調はダイレクト・コンバージョン方式としました⁽¹⁾。ダイレクト・コンバージョン方式は、三角関数の積和の公式で原理を理解できます。

● ラジオ放送の電波を数式で表してみる

アンテナは複数のラジオ放送の電波を同時に受信しています。ここで、 m 局あるAM放送局($i=1\sim m$)からの電波を受信したときの電圧信号をそれぞれ $v_1, v_2, \dots, v_k, \dots, v_m$ とします。これらを全部同時に受信したアンテナからの電圧信号 v_{in} は、その地域の全放送局からの電圧信号の重ね合わせとなっているので、 v_{in} は次のように表されます。

$$v_{in} = \sum_{i=1}^m v_i \dots \dots \dots (1)$$

これら電圧信号のうち、聴取したいAMラジオ放送局からの電圧信号 v_{AM} を、式(1)の v_k とした信号とします(すなわち $v_k = v_{AM}$ とする)。この v_{AM} は、搬送波の周波数 f_{RF} 、初期位相 α_{RF} 、音声信号 v_{MIC} を使って次式で表せます。

$$v_k = v_{AM} = (C + v_{MIC}) \sin(2\pi f_{RF}t + \alpha_{RF}) \dots \dots (2)$$

ここで C は v_{MIC} がないときの搬送波の振幅です。ラジオの「選局」とは、 v_{in} から f_{RF} の電圧信号 v_k だけを取り出すことです。また、ラジオの「検波」とは v_k から v_{MIC} を取り出すことです。この2つの過程は、

順々に担っています。それに対し、ダイレクト・コンバージョン方式では選局と検波を同時に行います。

● ダイレクト・コンバージョン方式とは

ダイレクト・コンバージョン方式では、アンテナからの電圧信号 v_{in} と局部発振器からの電圧信号 v_{LO} を掛け合わせることで復調します(図1)。この出力信号 v_{out} を、イヤホンやスピーカなどのオーディオ機器から音声の電圧信号 v_{MIC} として出力します。

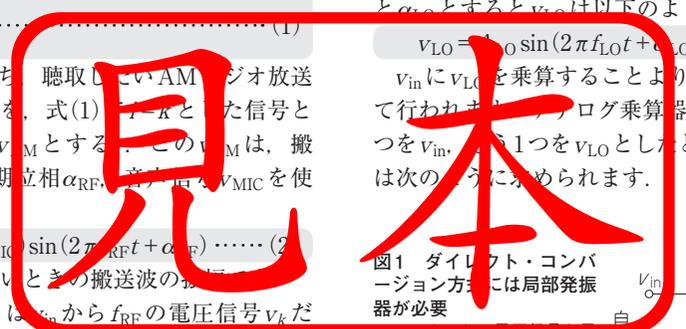
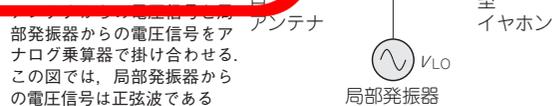
この原理を数式で説明します。

ダイレクト・コンバージョン方式では、 v_{AM} と同じ周波数の電圧信号 v_{LO} を発生する局部発振器(Local Oscillator)を必要とします。局部発振器からの電圧信号が正弦波の場合、周波数と初期位相をそれぞれ f_{LO} と α_{LO} とすると v_{LO} は以下のように表せます。

$$v_{LO} = v_{LO} \sin(2\pi f_{LO}t + \alpha_{LO}) \dots \dots \dots (3)$$

v_{in} に v_{LO} を乗算することより、選局と復調がまとめて行われます。アナログ乗算器の2つの入力のうち、1つを v_{in} 、もう1つを v_{LO} としたとき、出力電圧信号 v_{out} は次のように求められます。

図1 ダイレクト・コンバージョン方式には局部発振器が必要



宇宙ラジオの製作に挑戦

中山 大輔 Daisuke Nakayama

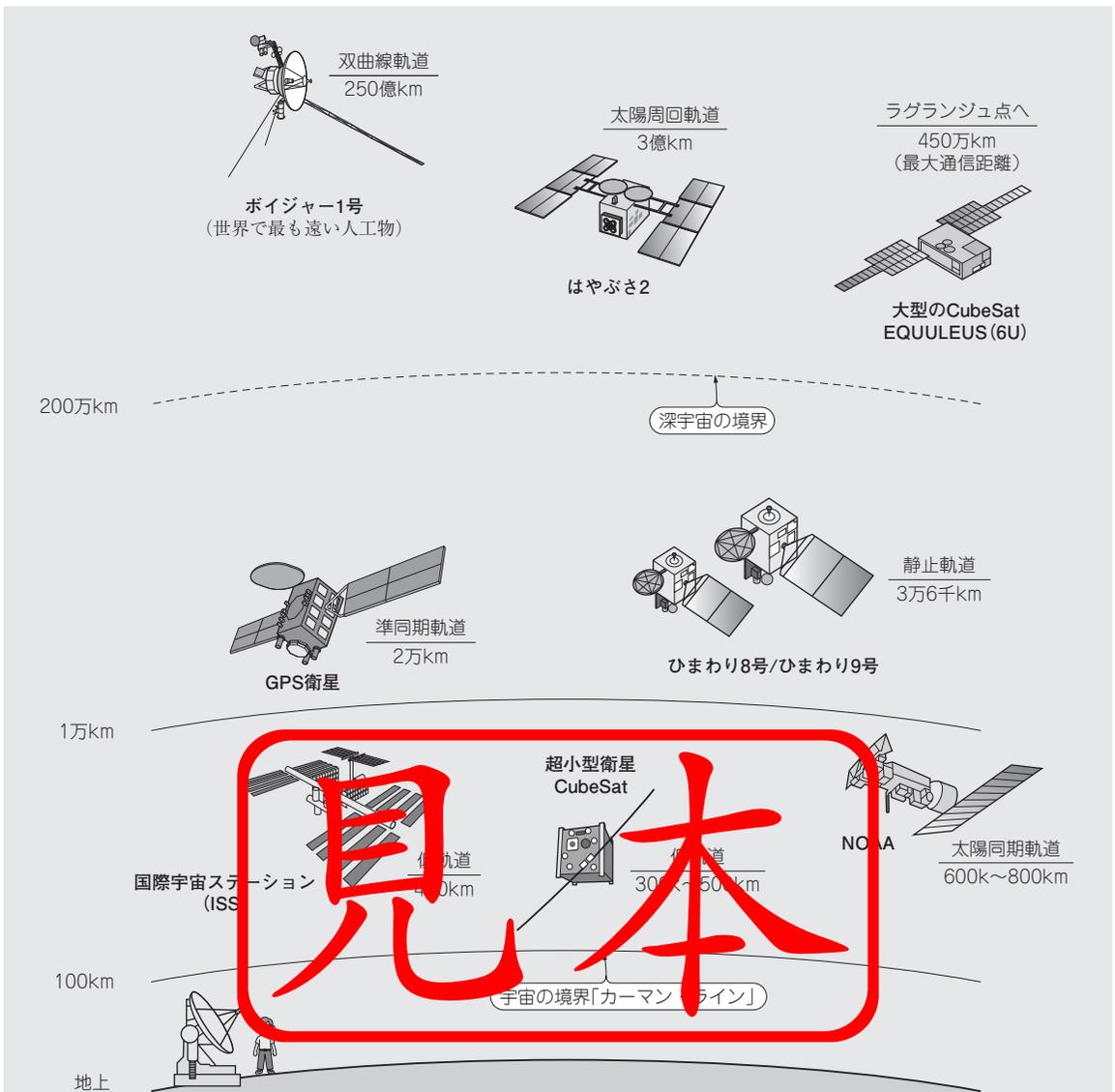


図1 宇宙からの電波は超身近…年間2000機を超える人工衛星が打ち上がって地球に電波を届けている

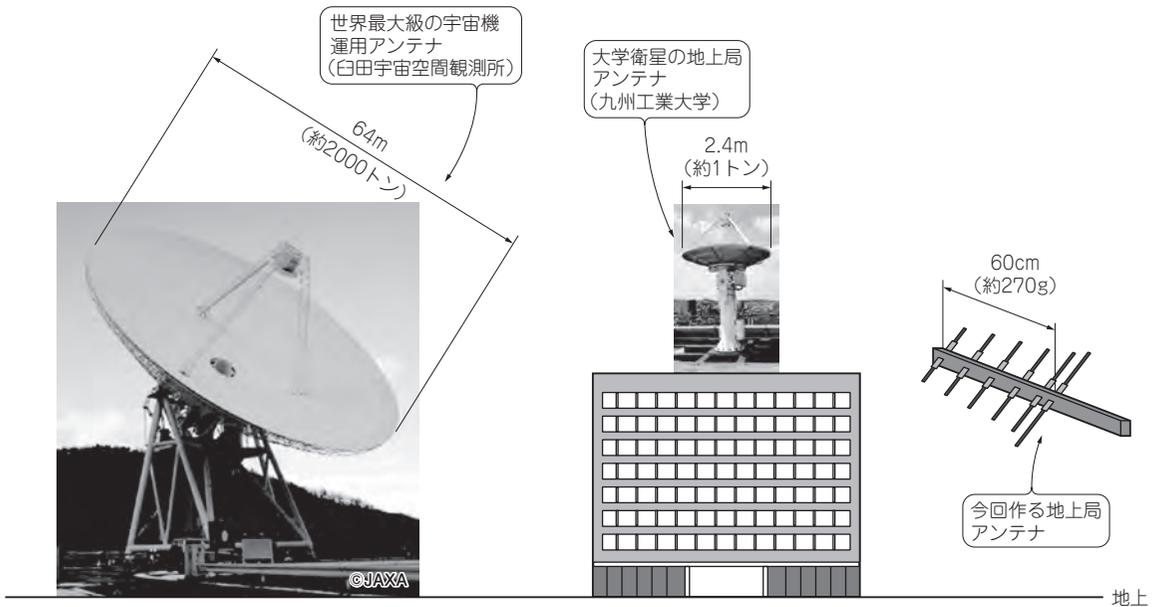


図2 人工衛星と通信するアンテナ…受信だけなら手軽に作ることも可能!

実は身近な宇宙からの電波

宇宙からの電波はもう随分と身近な存在です(図1)。天気予報で雲のようすが見られるのは気象衛星のひまわりが地球を撮影して、宇宙から電波で画像を送っているからです。GPSをはじめとした衛星測位システムは人工衛星からの電波で位置を測定しています。

さらにスケールの大きい話では、はやぶさが小惑星から帰って来られるのは、はやぶさが太陽の向こう側、3億km離れたところからでも電波を使って地球と通信ができるからです。また、地球から最も遠い人工物体であるボイジャー1号は打ち上げから約半世紀が経っており、その距離は約250億kmに達していますがいまだに通信ができています。この距離はおよそ地球と太陽の距離の160倍以上で、途方もなく遠い距離に思えます。

もっと遠くを見てみると、人工物でなくても、電波を出している天体もあります。その最も遠いものは宇宙の果てから飛んでくる宇宙背景放射で、これも電波の仲間です。

挑戦すること・宇宙からの電波を受信する「宇宙ラジオ」の製作

宇宙からの電波を受信しようとするとき、非常に大きな地上設備が必要になることがあります。例えば、はやぶさ2との通信には長野県の白田にある日本一大きな宇宙通信用パラボラ・アンテナを使っています。これは直径64mもある超巨大なアンテナです。

比較的の信号強度の強い信号であれば、これよりも簡単な設備で受信できます。GPS衛星からの電波はスマートフォンのような小さな端末で受信できます。これは人工衛星側が100W程度のかかなり強い電波を出してくれているからです。

第4部では、私たちでもできるような宇宙からの電波を受信する「宇宙ラジオ」を製作します。大学生が開発した人工衛星が発しているたった0.1Wの電波を受信してみます。宇宙からの微弱な電波を受信するものですが、それほど大きな機材は必要なく、読者の皆さまでも十分に試せます。アンテナのスケールを図に示すと図2のようになります。かなり小さい設備ですがこれでも十分に人工衛星からの電波を受信できます。

● 宇宙からの電波の周波数

人類はこれまでに1万機以上の宇宙機を打ち上げたと言われていいます。もちろんもう電波を発射していない古い衛星なども含まれるので、すべての物体が電波を出しているわけではありませんが、特に有名な衛星が発している電波の周波数を表1に示します。

低い周波数の電波は地球の周りを取り囲む電離層で反射・吸収されますので、100MHz以上の高い周波数が使われています。最近では伝送データの大容量化などで10GHzを超えるような高い周波数もよく使われるようになりました。

● 受信の難易度は周波数で変わる

1GHzを超えるようなマイクロ波と呼ばれる電波の受信は、アンテナの製作、受信機の製作ともに難易度

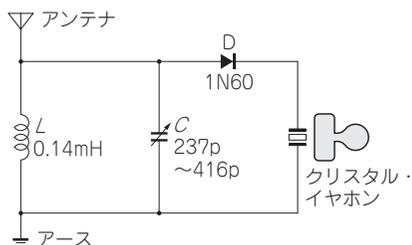
コンデンサやコイルまで手作り… ゲルマニウム・ラジオ実験

J11XMN 荒川 悦雄 Etsuo Arakawa

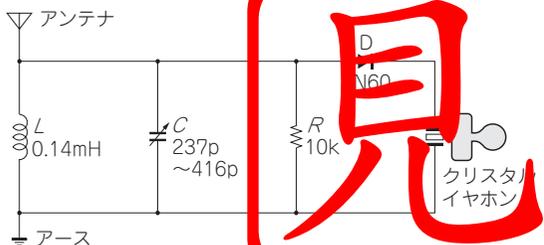
基本的なラジオの受信回路といえば、LC共振とダイオード検波を使うゲルマニウム・ラジオです。ダイオードやイヤホンは市販品を使うとして、LやCは身近な材料で作ることができそうです。実際に、LやCから手作りしてゲルマニウム・ラジオを製作してAM放送を受信してみます(表1)。 **〈編集部〉**

表1 今回ゲルマニウム・ラジオで受信できたAMラジオ放送

ラジオ放送	周波数	送信所	送信出力	聴取地からの方角と距離
NHK東京第1放送	594 kHz	NHK 菫蒲久喜ラジオ放送所	300 kW	北北東に43 km
NHK東京第2放送	693 kHz	NHK 菫蒲久喜ラジオ放送所	500 kW	北北東に43 km
AFN Tokyo	810 kHz	米軍放送送信所 東京(和光)	50 kW	北東に13 km
TBSラジオ	954 kHz	TBSラジオ 戸田送信所	100 kW	北東に19 km



(a) 2あり



(b) 2あり

図1 LC並列共振を使ったゲルマニウム・ラジオの回路
アンテナとアースはそれぞれ10mのビニル電線を張った(第15章のコラム3を参照)。イヤホンは水晶が理想だが、現実的にはセラミックを使う

並列共振LCゲルマニウム・ラジオの実験

● よくあるゲルマニウム・ラジオ

高校物理の教科書⁽¹⁾には、図1(a)のような回路が載っているのですが、実際に作ってみます。共振回路に並列に10kΩを入れた図1(b)の回路も試します。

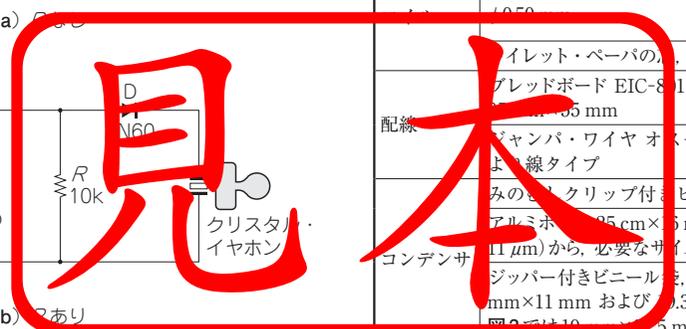
使用した部品を表2に、製作したゲルマニウム・ラジオを写真1に示します。抵抗Rがないことは抵抗値が∞の抵抗が接続されているとみることができます。

● 自作コイル

コイルは、線径φ0.5mmのエナメル線を外径φ40mmの紙製の筒(トイレト・ペーパーの芯)に巻き付けて製作しました。インダクタンスの調整機構をもたせることはできませんが、コイルの巻き幅のバリエーションを1cmから30cmまで変えた13個を製作し、適宜、交換して使用しました。インダクタンスはLCRメー

表2 コイルとコンデンサを自作するゲルマニウム・ラジオに使った材料

部品	部材	数量
ダイオード	ゲルマニウム・ダイオード 1N60	1個
コイル	エナメル線(第2種ポリウレタン電線), φ0.5mm	1巻 (100mや300gなど)
	トイレト・ペーパーの芯, φ40mm	数本
配線	ブレッドボード EIC-811(E-CALL), 長さ55mm	1枚
	ジャンパ・ワイヤ オス-オス100mm, 線タイプ	数本
コンデンサ	みのりクリップ付きビニル被覆線 アルミホイル 2.5cm×5m(中村, 厚さ1μm)から、必要なサイズを切り出す	2枚
	ジッパー付きビニル袋, 図2では16.5mm×11mm および10.3mm×12mm, 図2では10.3mm×12.5mm	2枚
イヤホン	セラミック・イヤホン CE-012N(アイコー電子), プラグなし1.2mケーブル付き	1個
抵抗	炭素皮膜抵抗 1/4 W, 10kΩ	1本



保存版 電波の基礎知識

小宮 浩 Hiroshi Komiya

電波は波だと言われても、私たちに直接見たり感じたりできません。しかし、身の回りには私たちが見ること、感じる事、聞くことができる波もあります。波はさまざまな性質をもち、その多くはすべての波に

共通しています。

ここでは、人が感じることができる波を思い浮かべることから始め、波の性質を把握します。見えない電波(高周波)を理解する助けとします。

1-1 波が振動し伝わるイメージ

静かな池の水面に小石を投げ入れてみます。「ポシヤ」という水の音とともに、波の模様、波紋の広がりが見えるはずですが、

● 水の波が伝わるようす

水面を波紋が広がっていくようすを図1に示します。

- ① 石が水面に落ちると、水が押し下げられ、凹みができます。
- ② 凹みの周囲は盛り上がりますが、水面の各点にはそれらを平らにしようとする力が働きます(この力は表面張力や重力によって生じる)。
- ③ 水面は平らになるように動くのですが、慣性によって平らになっても止まらずに行き過ぎて、中央は高くなり、その周囲は低く、そのまた周囲が高くなります。
- ④ このような動きを次から次へと繰り返します。
- ⑤ その結果、石を投げ込んだところを中心に波紋が広がり、波が伝わります。

このように、波という現象は時間とともに周りに伝わっています。速さと時間と距離の関係は決まっています。しかし、水面に浮く葉の動きからわかるように、媒質である水のものは、つり合いの位置で上下するだけで、流れているわけではありません。

● 音の波が伝わる

他に小石を投げ入れると水の波が見えましたが、「ポシヤ」という水の音も聞こえます。音は物体の振動に

注1：正確には、水面の波は上下するだけの波(横波)ではなく、縦波も混ざって楕円運動しますが、ここでは電磁波の横波イメージのために「上下振動が伝わる」とします。

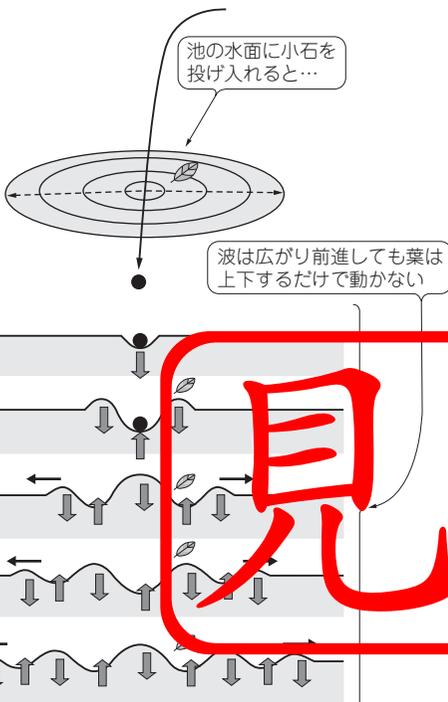


図1 池の水面を波が伝わるようす

このPDFは、CQ出版社発売の「トランジスタ技術SPECIAL No.172」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 <https://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/MSP/MSP202510.html>
購入方法 <https://www.cqpub.co.jp/order.htm>

CQ出版社

見本