

100年前の文献から読み解く 鉱石ラジオ教材の制作 その2

～AMラジオ放送開始100周年に際して～

千葉職業能力開発短期大学校 五十嵐智彦 佐藤 玲子
川口 航大 岡田 愁翔
加藤 鈴乃

1. はじめに

1925年（大正14年）にAMラジオ放送が開始され、3年後の2025年には放送開始100周年を迎える⁽¹⁾⁽²⁾。筆者らは、総合制作実習（専門課程・電気エネルギー制御科）の一環として、およそ100年前の書籍や資料を調査し、放送が開始された大正14年当時の受信機を制作することとした。

本稿では、筆者らが前号⁽³⁾にて報告した、歴史調査、ならびに鉱石検波器の制作の続報として、可変容量蓄電器（バリャブルコンデンサ）と、線輪（コイル）、空中線（アンテナ）、接地（アース）について報告する。

2. 可変容量蓄電器（バリャブルコンデンサ）

今回制作したラジオ受信機の回路図を図1に示す。受信した電波の信号から、特定の周波数の放送のみ選択する回路を同調回路という。初期のラジオ受信機の同調回路は、コイルとコンデンサの並列回路から構成される。アンテナで受信した高周波信号は、この同調回路で選択され、特定の周波数の信号のみ（すなわち、特定の放送局の周波数の信号のみ）、受話器のほうへ通ずるようにする。

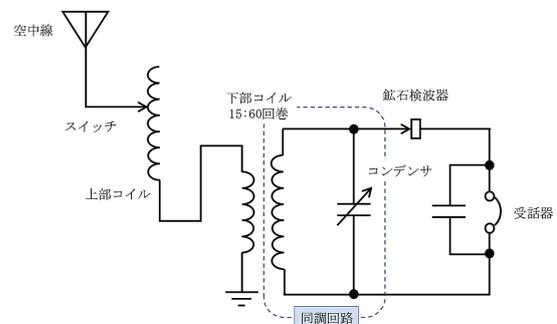


図1 制作したラジオ受信機の回路図

放送開始当時の受信機では、コイルを固定式としてコンデンサの静電容量を変化させるか、コンデンサを固定式としてコイルのインダクタンスを変化させるかのいずれかの方法により、同調周波数を変化させていた。ここで、静電容量の大きさを変化させることができるコンデンサのことを「可変容量蓄電器（バリャブルコンデンサ）」とよぶ。インダクタンスの大きさを変化させることができるコイルには、「バリオメータ」⁽⁴⁾と「バリオカップラ」⁽⁵⁾の2種類がある。バリオメータは円筒形コイルの中にこれと直列接続されたさらに小さな回転式の円筒形コイルがあり、内部コイルの角度によって、2つのコイルの結合（相互インダクタンス）が変化し、全体のインダクタンスが可変できる仕組みとなっている。バリオカップラは、磁氣的に結合された2つのコイルが並列に接続されており、その距離等を調整することで結合状態（相互インダクタンス）が変化し、全体のインダクタンスが可変できるようになってい

る。ラジオ放送草創期においては、どちらの形式も使用されたようであるが、本稿では設計がしやすいバリャブルコンデンサで同調周波数を可変する方式を採用し、バリャブルコンデンサを自作し、回路に組み込むこととした。バリャブルコンデンサの自作については、例えば、文献(6)等で紹介されており、本稿ではこれを参考に制作を行った。

図2に今回作製したバリコンの全体像を示す。図2中、青部で示したのが固定板(図3)であり、バリコン管体とは円周部の3ヵ所の軸で固定している。また、赤部で示したのは可動板(図4)であり、円の中心部にある軸を中心に回転するようになっている。中心軸にダイヤルを取り付けると、軸と同時に可動羽根が回転し、静電容量を可変させるに決めた。一般に、バリコンの静電容量は250pF~600pF程度が多いが、今回は静電容量を400pFとして作製することとした。静電容量 C は次式により求められることが知られている。

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \times n \text{ [F]} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 S は極板面積[m²]、 d は可動羽根と固定羽根の距離[m]、 n は可動羽根と固定羽根の間隙の数である。 ϵ は誘電率であり、次式により求められる。

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \quad \dots \text{式(2)}$$

ここで、 ϵ_r は比誘電率であり、空気中ではほぼ1.0である。また、 ϵ_0 は真空誘電率であり、 8.8542×10^{-12} F/mである。今回は、静電容量 C を400pF、可動羽根の半径を60mm、極板間距離 d を2.0mmとし、各値式(1)に代入すると、極板間隙数 $n=10$ となる。したがって、固定羽根6枚、可動羽根5枚とした。材質はアルミ板とした。

今回作製した可変容量蓄電器を図5に示す。可変容量蓄電器の筐体部分は、極板間の電氣的絶縁を容易とし、かつ機構を観察しやすくするためにアクリル板を用いた。

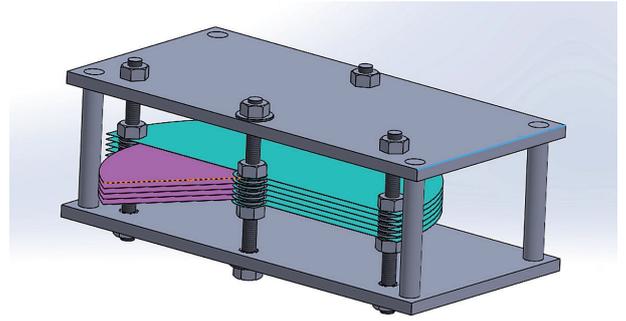


図2 バリコンの構造 (3DCADモデル)

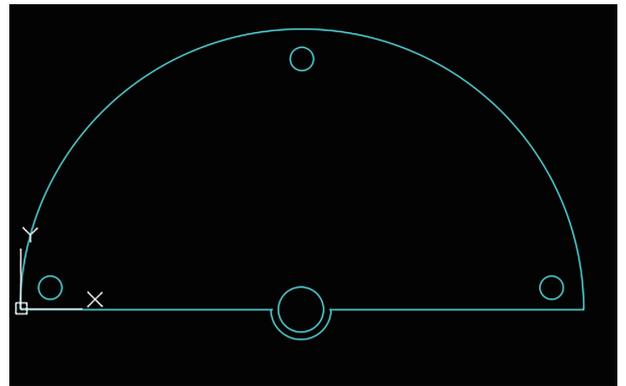


図3 固定板の構造

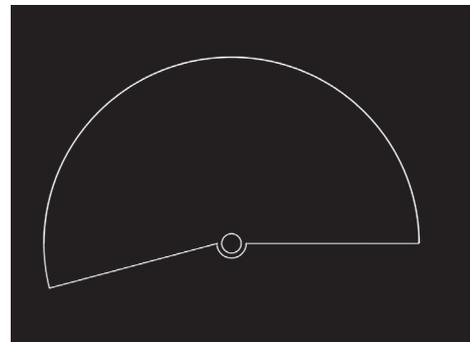


図4 可動板の構造



図5 自作した可変容量蓄電器

3. 蜘蛛巻線輪（スパイラルコイル）

放送開始当時の受信機に採用されたコイルには、コンデンサと比較して、極めて多くの形状の物がある⁽⁷⁾。これは、コンデンサと比較して、精密な機構が必要なく、生産も容易であったためと考えられる。また、当時の受信機は、コイルが筐体外部に露出して配置されていたり、筐体内部が見える構造になっていたりするものが多く、意匠的な美しさについても考慮し、コイルの構造には細心の注意がはられながら設計されたためであると考えられる。また、文献(8)には、大正15年当時よく用いられているコイルとして、以下のものが挙げられている。

- 1) ソレノイド・コイル（単層圓筒型）
- 2) スパイダー・コイル（蜘蛛の巣型）
- 3) ハネカム・コイル（蜂の巣型）
- 4) バンク巻コイル（俵積型）
- 5) バスケット型コイル（籠型）

同文献には、補足説明として、普通に用いられるのは、1)～3)の型であり、特に3)は高周波チョークや中間周波トランスに主として用いられるとある。その理由として、『回数を多くしても割合に場所を多く取らぬからです』としている。

本制作では、スパイラルコイル（スパイダーコイルともいう）を題材として作製した。今回作製した上部コイルを図6および図7に示す。本受信機の回路は、図1に示したとおりであるが、本機では上部コイルと下部コイルの2つのコイルを使用している。上部コイル・下部コイルともに絹巻線を用い、レーザ加工機で切り抜いた木製の型枠に巻いて作製した。上部コイル（図6）は、アンテナと内部の回路のインピーダンスマッチングを取るために用い、20回ごとにタップ切り替えできるように引き出し点を設け（図7）、これを120回まで巻いたものである。使用する際は、導電性クリップによって最も感度が良いタップを探しながら受信をする。下部コイル（図8）はコンデンサと一体となって同調回路を構成し、所望の周波数を選択するために使用するものである。1次側巻線と2次側巻線を同時に巻き始め、



図6 自作した蜘蛛巣線輪（上部コイル）

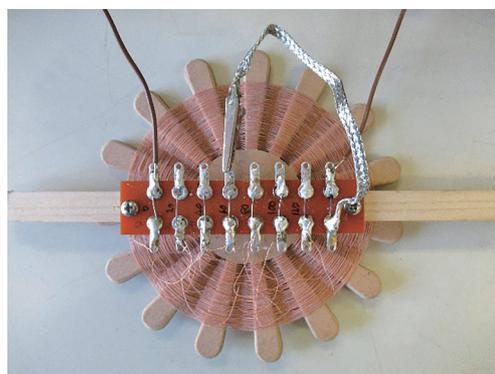


図7 上部コイルの裏面



図8 自作した蜂巣線輪（下部コイル）

1次側を15回、2次側を60回巻とした。

コイルに使用した電線は、絹巻線（線径0.15 mm）のものである。絹巻線は、電線の周りの絶縁被覆として、極めて細かい絹糸が使用されているものである。コイルとして完成したときの色合いが良く、古い受信機の再現にはよく適合するが、比較的入手が困難で、例えば、秋葉原駅周辺の電気街にあるラジオ関連の店舗でごくわずかに扱われている程度である。

4. 空中線（アンテナ）

鉱石ラジオには、空中線(アンテナ)と接地極(アース)が必要である。アンテナとアースは、受信性能を大きく左右することになるので、慎重に作成する必要がある。

AMラジオ用のアンテナとしては、電界により動作するものと、磁界により動作するものがある。電界により動作するものとして最も基本的なものはダイポールアンテナである。図9の左側がダイポールアンテナの模式図である。これは、2本の長さの等しい金属棒を同一線上に並べたもので、このアンテナ長の半分の長さの波長の電波を受信するときに、最も効率よく機能するものである。図9の右側に示す、モノポールアンテナの場合は、1本の金属棒を設置に置き換えたもので、基本的な仕組みはダイポールアンテナと同様である。特に、AMラジオ放送の電波は垂直偏波であるため、基本的には大地に対して垂直にモノポールアンテナを設置することが望ましい。しかし、電波波長は数100mであり、その波長に相当したアンテナを垂直方向に設置することは困難である。そこで実際には、逆L型アンテナやT形アンテナが好んで用いられた(図10)。文献(10)では、『空中線の感じは、接地点から測つた空中線水平の部分までの平均の高さで定まります。之高い程よく感じます。水平部は単に波長を延ばす為であつて、感じには餘り影響しません』とあり、基本的には水平部の長さよりもその高さのほうが重要であるとされる。水平部の長さについては、数mから10数m程度とされることが多いようである⁽⁹⁾。このようなアンテナの場合は、木や住宅の外壁等を用いて電線を水平に渡し、逆L型アンテナの場合はその一端に、T型の場合はその中点にはんだ等で給電線を接続したうえで、室内に引き込む構造となっている⁽¹¹⁾。さらにより効果的に受信するために、水平に渡す電線を3~5本平行に配置し、それを給電点で接続することで、多線式アンテナを構成するとよいとしている文献がある⁽⁶⁾。これは、アンテナと大地間の静電容量を増大させ、アンテナに流れる電

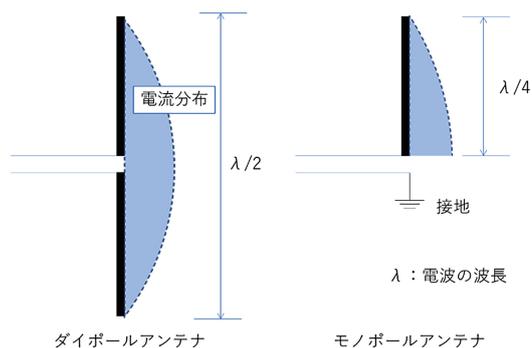


図9 ダイポールアンテナとモノポールアンテナ



図10 逆L型アンテナとT型アンテナ

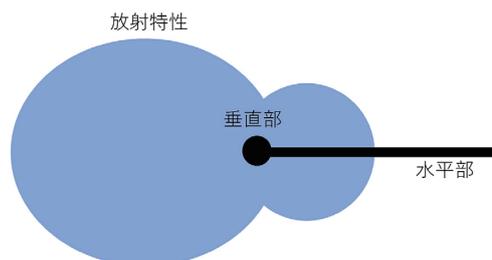


図11 逆L型アンテナの指向性⁽¹²⁾

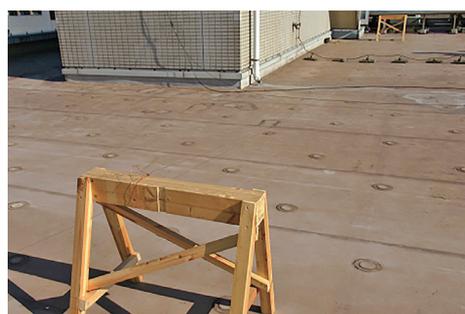


図12 アンテナの架設 (本校の屋上)

流を増大させることができるためである⁽¹²⁾。

T型アンテナの場合、水平方向においては無指向性と考えられるため、アンテナを張る方向について考える必要はない。一方、逆L型アンテナにおいては、図11に示すような指向性を有し、アンテナの水平部分の銅線が張り出しているのと逆方向で最も感受する電波が多くなる⁽¹²⁾。したがって、アンテナの水平部を送信所の反対方向へ向けるとよいといえる。

実際に筆者らが架設したアンテナを図12に示す。このアンテナは、地上6階建て校舎の屋上部分に、直径1.6mmの裸軟銅線を水平方向に配置したものである。これは、逆L型アンテナであり、構造としては極めて簡素なものである。筆者らの試行でも、アンテナの高さが高い程入感する信号が大きくなる一方、水平部の長さは、さほど厳密に検討する必要はないようであった。

文献(8)には、『電燈線アンテナ』が当時販売されていたという記述がある。これは、配電線の1本の電線から固定コンデンサを経て、ラジオのアンテナ端子に接続するもので、配電線をアンテナの代用とするものであるが、万が一非接地側に接続してしまった場合は、焼損のリスクがあり、推奨できないとしている。また、現代においては、電子機器のノイズのために、これを用いるのは困難であると思われる。

5. 接地極 (アース)

現代のラジオではバーアンテナが用いられることが多いため、必ずしも接地を必要とはしないが、放送開始当時は前述のとおり、モノポールアンテナをベースとしたアンテナが採用されることが多かったため、必然的に接地が必要となる。

接地極の施設については、例えば文献(13)には、次のようにある。

『水道の設けのある都會では、装置から室の隅を通過して、水道口まで持って来て、水道の蛇口のもとを、ヤスリ紙か磨き砂で磨いて、これに五六回堅く巻きつけておけばよい』

ただしこれは、当時の水道管が鉛管であったために可能であった方法で、現代ではその多くが塩化ビニル管に置き換わってしまい、水道管によって接地が有効に取れるとは考えにくい。また、続けて以下のような記述がある。

『かやうに接地として利用すべきものゝない場合には、どうするかというと、なるべく、厚さ五厘以上、二尺四方ぐらゐの銅板、亜鉛板ならば、その倍もあるものを、地下數尺のところ埋め、その一端に銅



図13 接地板埋設のようす

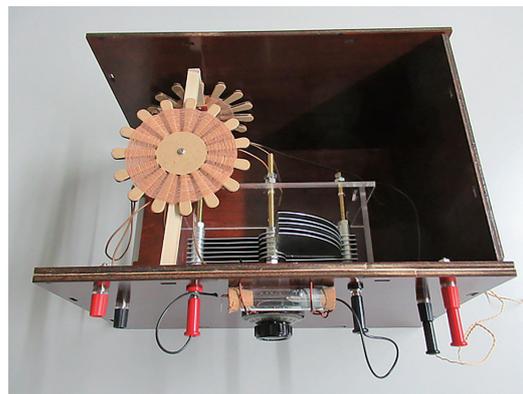


図14 制作したラジオ受信機 (上面)



図15 制作したラジオ受信機 (正面)

線をハンダ付けにするのである。尤も、濕地で、少し掘ると水の湧くやうなところならば、浅くてもよく、乾いたところならば、深くなければならない。要するに、銅板が地中の水につかるのが理想であるが、それほどでなくても、濕つたところであればよい。尚、銅板の周圍に木炭の粉を入れると大地との接続が一層よくなる。』

上記のようにすることにより、接地極を施設することができる。また、これとは異なる方法として、『接地容量網 (カウンターポイズ)』という方法もある⁽⁹⁾。これは、大地が乾燥していたり、岩石が多かっ

たりするなどの理由により接地が取れない場合に用いられる方法で、大地と平行に電線を張り、その大地間静電容量を介して大地と電氣的に接続されることを期待したものである。ただし、筆者らの実験では、あまり有効な効果は確認できなかった。

実際に作製した接地極を図13に示す。このように湿った地面に30～60cm程度の穴を掘り、そこに細かく砕いた木炭を敷き詰め、その上に電線をハンダ付けした銅板を配置した。さらにその上に砕いた木炭をかぶせ、最後に土を埋め戻して、その上から十分に水をまくことで、接地極として使用できるようになる。

8. 制作したラジオ受信機

制作したコイル、コンデンサ、鉱石検波器等を組み合わせ、図1に示す回路図に従って、実際にラジオ受信機を制作した。制作した鉱石ラジオ受信機を図14および図15に示す。選局は、正面パネルに取り付けられたバーニヤダイヤルによってバリコンの可動板を動かすことによる。受話器としては、放送開始当時はハイインピーダンスのマグネチックヘッドホンなどが使用されたようだが、現在では入手困難であるため、セラミックイヤホンで代用した。実際に本校（千葉県千葉市中央区）にて聴取した結果、594kHzのNHK第一放送（JOAK）が良好に受信できることが確認できた。また、天候が良く、アンプやブースタを用いた場合には、639kHzのNHK第二放送（JOAB）、810kHzのAFN東京放送局も混信はあるものの感受することができた。

9. まとめ

本稿では、AMラジオ放送の歴史を調査して、さぐり式鉱石ラジオを再現した。ラジオを構成するコンデンサ・コイル・鉱石検波器を試作し、それらを構成要素として放送開始当時のラジオ受信機を再現した。本機によりAM放送を受信したところ、NHK第一放送が良好に感受できた。

今後は、鉱石検波器の安定度を向上させ、より安

定した受信が可能となるよう検討したい。

また、本制作の取組結果の一部を動画としてまとめ、電気学会が主催する「パワエレ動画コンテスト2021」に投稿したところ、最優秀賞を受賞した⁽¹⁴⁾。ご協力いただいた関係各位にお礼申し上げたい。

<参考文献>

- (1) 岡部匡伸：「ラジオの技術・産業の百年史 大衆メディアの誕生と変遷」，勉誠出版，2021
- (2) NHK放送文化研究所編：「20世紀放送史 資料編」，NHK出版，2003
- (3) 五十嵐智彦，佐藤玲子，加藤鈴乃，川口航大，岡田愁翔：「鉱石ラジオ教材の制作 その2～AMラジオ放送開始100周年に際して～」，技能と技術，2022年2号，2022
- (4) アーティスト小林健二の道具や技法：「ヴァリオメーターの製作について」，<http://ipsylon.jp/2016/05/02/crystal-set-parts2-2/>（令和4年4月4日閲覧）
- (5) アーティスト小林健二の道具や技法：「ヴァリオカップラーの製作について」，<http://ipsylon.jp/2016/05/03/crystal-set-parts3/>（令和4年4月4日閲覧）
- (6) 濱地常康：「真空管式無線電話の実験」，誠文堂，大正13
- (7) 小林健二：「ぼくらの鉱石ラジオ」，筑摩書房，1997
- (8) 原田三夫：「高級ラヂオの製作と原理」，誠文堂，大正15
- (9) 松平道夫，酒井忠毅：「ラヂオの實地製作法」，文陽堂，大正15
- (10) 門岡早雄：「放送無線聴取機組立の標準」，財団法人科学知識普及の會，1925
- (11) 奥中恒一：「實用無線電話の解説」，弘文社，大正14
- (12) 財団法人電気通信振興会：「入門 アンテナおよび電波の伝わり方」，財団法人電気通信振興会，平成19
- (13) 原田三夫：「誰にもわかるラヂオの製作と原理」，誠文堂，大正14
- (14) ポリテクカレッジ千葉：「鉱石で半波整流回路作ってみた」，https://www.youtube.com/watch?v=wVEdUy0B_eU&t=88s