

ラジオ受信機の鉱石検波器に関する調査

Investigation of Crystal Detector of An Old Model Radio Receiver

五十嵐 智彦^{*1}

IGARASHI Tomohiko

要約 筆者は、総合制作実習（専門課程）の一環として、放送が開始されたおよそ 100 年前の書籍や資料を調査し、放送が開始された大正 14 年当時の受信機を再現した。その過程で、無線通信草創期から昭和初期にかけての鉱石検波器に関する文献を収集し、それをもとに実際の鉱石検波器を制作した。本稿では、鉱石検波器に係る文献から、鉱石検波器の技術の歴史的な進展について調査し、明らかにした。また、鉱石検波器の制作に係る技術情報を整理したので報告する。

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⁾。AM ラジオ受信機は、非常に簡易な構造であり、手軽に組み立てができることから、電子工作の入門として、しばしば用いられてきたものである。また、AM ラジオ局が FM 放送に移行する動きもあり²⁾、現在は AM ラジオ受信機工作を楽しむことができる最後の機会でもある。

筆者らは、令和 3 年度の総合制作実習（専門課程）の一環として、放送が開始されたおよそ 100 年前の書籍や資料を調査し、放送が開始された大正 14 年当時に使用された「鉱石ラジオ」を制作した。これは、当時の文献を基に回路を復元することで、文献や資料映像からでは感じることができない放送開始当時の音質や雰囲気再現しようという試みである。この取り組みについては、文献^{3), 4), 5)}にて報告しているので参照されたい。

本制作にあたっては、鉱石ラジオの最も重要な構成部品である「鉱石検波器」について、広範囲な文献調査と実験を行った。そこで本稿では、文献調査の結果を筆者の実体験も交えながら紹介し、鉱石検波器の歴史的な変遷とその性能及び栄枯盛衰の歴史について明らかにする。本記事が、ラジオ放送 100 周年に際して、ラジオ工作を楽しもうとされる方の参考になれば幸いである。

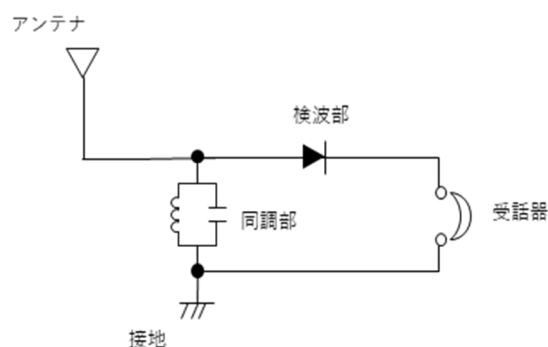


図 1 ラジオ受信機の原理図

2 鉱石ラジオと鉱石検波器の名称

最も簡易な形式のラジオ受信機の原理図を図 1 に示す。一般に、ラジオ受信機は「アンテナ」で信号を受信し、「同調部」で特定の周波数の電波信号を選択する。その後、「検波部」において高周波信号から低周波である音声信号を取り出し、「受話器（スピーカ）」で電気信号を音声（空気の振動）に変換する。以上のような原理によりラジオは動作している。もっとも簡単な構成のラジオの場合、「検波部」にはダイオードが用いられ、その整流作用によって検波が行われる。

「鉱石ラジオ」とは、検波部に「鉱石検波器」を採用したラジオのことをいうが、歴史的な経緯のために「鉱石ラジオ」、「鉱石検波器」という言葉の定義には揺らぎがある。狭義の「鉱石ラジオ」とは、鉱石検波器に化学的な処理が行われていない天然鉱石がそのまま用いられているものをいう。天然鉱石としては、方

*1 電気エネルギー制御科

Department of Electrical and Energy Control

鉛鉱、黄鉄鉱、紅亜鉛鉱が有名⁶⁾で、これらの天然鉱石に細い金属針を軽度の圧力をもって接触させる構造となっている。この構造の鉱石検波器は、明治時代から盛んに開発され、昭和初期くらいまで広く用いられた。広義の鉱石ラジオとは、鉱石検波器に天然鉱石のみならず、人工鉱石⁷⁾すなわちゲルマニウムやシリコンなどの純度を高めるためにこれを化学的に精製し、単結晶としたものが用いられるものを含むものである。これらは具体的には「点接触ダイオード」といわれるもので、現在でもゲルマニウムダイオードといえば、ゲルマニウムの点接触型のものをさす。これは、昭和初期以降、シリコンのP型/N型半導体による「接合型ダイオード」が主流になるまで広く普及していたものである。現在では、一般呼称として「鉱石ラジオ」といえばこのゲルマニウムダイオードが検波器として用いられたものをさすことがあるが⁸⁾⁹⁾、ゲルマニウムダイオードを用いたラジオを特に「ゲルマニウムラジオ」とよび、狭義の鉱石ラジオと明確に区別する例もある¹⁰⁾。本稿では、以降は狭義の鉱石ラジオ、鉱石検波器を対象とする。

3 鉱石検波器の構造

鉱石検波器は方鉛鉱などの天然鉱石に軽度の圧力をもって金属針を接触させるものである。これらの構造は極めて簡単なものであるので比較的容易に再現することが可能であるが、その動作は極めて不安定なものである。それは、鉱石表面のどの位置に金属針をあてるかによって、検波器として動作したり全く動作しなかったりすることから、金属針をあてる位置を『探り』ながら絶妙な加減で決めていく必要がある。そのため、このようなものは「探り式鉱石検波器」と呼ばれた。探り式検波器の鉱石の写真を図2に示す。図のように方鉛鉱が金属片に埋め込まれ、方鉛鉱の表面部分のみが上面に露出するようになっている。これを検波器のホルダに挿入し、上部から金属針をあてて検波を行った。その後主流となった「固定式鉱石検波器」は、管内に鉱石と接触針が封入されており、金属針と鉱石の接触点が最適な点から動くことの無いよう、金属針と鉱石がともに固定されていた。固定式鉱石検波器の写真を図3に示す。このように、鉱石が露出せず、ラジオの検波用ホルダに着脱可能なようになっていた。しばらく使用して性能が低下したときには、検波器ごと取り外し、新品と交換ができるようになっていた¹⁾。



図2 探り式鉱石検波器 (方鉛鉱)



図3 固定式鉱石検波器

表1 感度優秀なる成績表 (抜粋)¹¹⁾

鉱石名	感度 (平均値)
紅亜鉛鉱	87
鋭錘鉱	85
方鉛鉱	75
黄鉄鉱	64

表2 紅亜鉛鉱と他鉱石と組合せたる検波器の感度表 (抜粋)¹¹⁾

鉱石名	感度 (平均値)
黄銅鉱	100
班銅鑛	100
方鉛鉱	94
黄鉄鉱	80

4 鉱石の種類と性能

鉱石検波器に用いる鉱石としてどれが優秀なのかは文献により異なるが、例えば明治44年の鳥瀉の文献¹¹⁾には、表1および表2のような報告がある。この鉱石の感度表の作成については、文献中次のような記述がある。

『横山工学士が東京大学に行きまして色々調査研究いたしました鉱石が約三百種類—五百何十種といふのであります。其中室内の様な近距離実験で感ずることになったのが五十七個、内結晶が悪いとか、或は小さいとか、外国産で貴重であるとか云ふことで実用になら

ぬものを差引き四十六個丈が無線通信に使い得るであらうといふことで選び出されたのであります。それを銧子の無線電信局に持つて往きまして最後に得る銧石を選出することができたのであります。(旧字体、および変体仮名は筆者が改めた、以下同)』

このようにして試験された結果、鳥潟は、『紅亜鉛銧対班銅銧或は黄銅銧が最も鋭敏で最も使いやすいといふことが分かったのであります。』

と結論している。なお、紅亜鉛銧と他の銧石を組み合わせる場合は金属針を用いることなく2種の銧石を接触させることで検波器を構成できるとのことである¹¹⁾。

一方、紅亜鉛銧は米国の一部でしか産出せず⁶⁾、産地が限定されていることから他の銧石と比較して入手が困難であり、ラジオ放送開始当時の一般人向け書籍には、紅亜鉛銧を積極的に使用した工作記事は少ないようである。例えば、奥中恒一はその著書¹²⁾の中で『近頃、街に売つて居る銧石の中で、方鉛銧(ガレナ)が多くあるやうです。そして他の銧石に比べると値も一番安いやうですし、手に入り易いから方鉛銧で沢山です。』

と述べている。また、濱地常康¹³⁾は紅亜鉛銧と他銧石を組み合わせたものが最も感度が良いとしつつも、『通常実験に使用する検波器は、方鉛銧の結晶面を表面多くかき終わらしたるものに、マンドリン或はヴァイオリンのEスチールを用いるのが良い。』

と書いている。このように、研究や産業目的では、紅亜鉛銧と黄銅銧または班銅銧を接触させたものが用いられる一方、一般用途としては、方鉛銧が最も手軽に用いられていたようである。また、方鉛銧と比較して紅亜鉛銧は少々取り扱いが難しかったという記述もある。例えば、文献¹⁴⁾には、

『紅亜鉛銧では少し許り電圧を加へてやる方がよいが、金属と接触するものは殆ど其の必要を見ない』とある。また、文献¹³⁾には、紅亜鉛銧の感度が最もよいとしつつも、

『此の場合には僅かの空電に依つても直ちに接点の感度が鈍るから、常に調整する必要があるが、方鉛銧黄鉄銧を用ゆるのであれば、空電等に依つて感度の鈍ることが少ないのである。』

とある。このように、紅亜鉛銧を使用した銧石検波器は経時変化が大きく、またバイアス電圧を付与する等の回路上の工夫が必要となるため、一般向けの工作には方鉛銧が広く使用されていたようである。

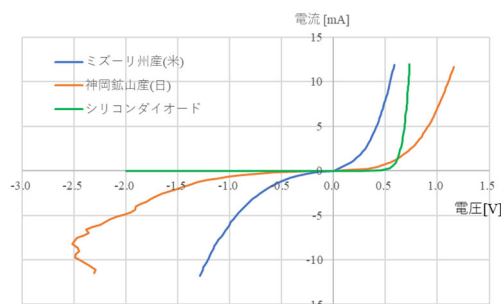


図4 方鉛銧のサンプル(産地)による検波性能

また、もう一点注意しなければならないのは、その個体差による検波性能の相違である。文献¹¹⁾には、『此所に注意せんければならないのは、天然銧石のことです。只紅亜鉛銧、班銅銧、黄鉄銧、方鉛銧と申しましてもその産地により又各塊片に依り其感度が大に違ふのであります。』

とある。この現象については、筆者も確認しており、例えば、図4は筆者の実験であるが、米国ミズーリ州産の方鉛銧と、日本の神岡銧山産出の方鉛銧で、電圧電流特性を比較したものである。この結果からサンプルによって電圧電流特性が異なる様子は確認できる。

5 銧石検波器の歴史的推移

次に、銧石検波器が時代とともにどのように進化、高度化していったのかについて調査を行った。

ラジオ関係の図書として、日本放送協会(NHK)が出版する「ラジオ技術教科書」がある。この書籍は初版が昭和11年に発行され、その後改定を重ねながら平成5年まで継続的に出版されている。この書籍の「銧石検波器」の項を見ながら、銧石検波器の技術の進展をたどることにしよう。

初版の文献¹⁵⁾には、主として天然銧石を使用した銧石検波器の解説に多くのページが割かれており、『其の代表的のものに、銧物としては黄鉄銧、方鉛銧などがあり、人造の結晶物としてはシリコン、人造ガレナなどがある。』

とある。その後、昭和16年¹⁶⁾、21年¹⁷⁾にそれぞれに改定されているが、同記述はそのまま継続している。

昭和27年版¹⁸⁾でもその表現は変わるものの、『黄鉄銧や方鉛銧の様な銧石に直流電圧を加えると(中略)加わる電圧の方向すなわち正負によってその電流の流れ方が著しく相違する。』

とある。しかしながら昭和40年¹⁹⁾の改定に際しては、『純度の高いゲルマニウムやシリコンの結晶にタンゲステン等の細線を接触させ、先端の一部が結晶体中に

拡散するように処理をすると、この部分で非直線性を持つようになる。この特性を検波器として利用したものをクリスタル・ダイオード（鉱石検波器）という』となっている。この記述は、明らかに前述した「ゲルマニウムダイオード」をさしていると考えられ、このころには、鉱石検波器というゲルマニウムダイオードという認識が広く一般にあったのであろうと考えられる。ちなみに最新刊の平成5年版²⁰⁾では、

『AM 受信機の検波にはダイオードが用いられることが多い。』

となり、鉱石に関する言及は一切なくなっている。このように、当初、天然鉱石のみをさして「鉱石検波器」と呼ばれていたものが、時代を経るとゲルマニウムダイオードをも含むものの総称が「鉱石検波器」と呼ばれていたことがわかる。

6 三極鉱石について

最後に、天然鉱石を使った不思議な現象について触れておきたい。我国の無線技術者であった内田秀男氏は、昭和18年頃に真空管の三極管に増幅作用があることに着眼点を得て、同様に鉱石に2本の針を立てることで増幅作用が得られるのではないかと考え実験したところ、1Vの入力が3Vになったことを確かめたというのである²¹⁾²²⁾。これを「三極鉱石」と名付け、雑誌に発表しようとしたが出征による研究中断や研究所内の人間関係等によりかなわず、そうこうしているうちに昭和23年、ベル研究所における研究チームが「トランジスタ」として同様の構造のものを発表したということである。トランジスタの開発については文献²³⁾に詳しくあるが、三極鉱石もこれと同様の実験条件であったのではないかと推測される。ただし、実験条件等の情報が少なく、筆者も何度か文献²³⁾の実験条件を参考に再現実験を行ったが成功しなかった。

7 まとめ

本稿では、鉱石検波器にかかる文献調査を行い、その呼称、構造、性質等にかかる技術情報を整理し明らかにした。今後は得られた情報を基に検証を行いたい。

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) 「AM局の運用休止に係る特例措置に関する基本方針」, 総

務省 HP, https://www.soumu.go.jp/main_content/000864958.pdf (令和5年8月28日閲覧)

- 4) 五十嵐智彦, 佐藤玲子, 川口航大, 他：「100年前の文献から読み解く鉱石ラジオ教材の制作 その1 ～AMラジオ放送開始100周年に際して～」, 技能と技術 2/2022
- 5) 五十嵐智彦, 佐藤玲子, 加藤鈴乃, 他：「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～」, 技能と技術 3/2022
- 6) 小林健二：「ぼくらの鉱石ラジオ」, 筑摩書房, 1997
- 7) 後藤以紀：「会長挨拶について (昭和35年5月21日電気学会通常総会において)」, 電気学会雑誌 Vol.80 No.862, pp859-pp862, 1960
- 8) 岡田敏美：「ペットボトル鉱石ラジオの解体新書」, 電子情報通信学会誌, Vol.87 No.8, pp669-pp673, 2004
- 9) 加藤康弘：「鉱石ラジオ実験用アンプ回路の製作」, 小山工業高等専門学校紀要 第49号, pp105-pp108, 2006
- 10) 鈴木憲次：「ラジオ&ワイヤレス回路の設計・制作」, CQ出版社, 1999
- 11) 鳥瀧右一：「最近無線電信の進歩に就いて」, 電気学会雑誌 第276号, pp619-pp745, 明治44年
- 12) 奥中恒一：「最新ラジオ受信機の組立と部分品の作り方」, 弘文社, 大正14年
- 13) 濱地常康：「真空管式無線電話の実験」, 誠文堂, 大正13
- 14) 安藤博：「放送ラヂオ」, 早稲田大学出版部, 大正14年
- 15) 米澤與七三：「ラヂオ技術教科書」, 日本放送出版協会, 昭和11年
- 16) 松田儀一郎：「改定ラヂオ技術教科書」, 日本放送出版協会, 昭和16年
- 17) 日本放送協会：「ラジオ技術教科書上巻」, 日本放送出版協会, 昭和21年
- 18) 日本放送協会：「新ラジオ技術教科書基礎編」, 日本放送出版協会, 昭和27年
- 19) 日本放送協会：「NHK ラジオ技術教科書基礎編」, 日本放送出版協会, 昭和40年
- 20) 日本放送協会：「NHK ラジオ技術教科書 [AM/FM/PCM]」, 日本放送出版協会, 平成5年
- 21) 杉本哲：「初歩のトランジスターラジオの研究」, 山海堂, 昭和41年
- 22) 内田久子：「秋葉原, 内田ラジオでございませう」, 廣濟堂出版, 2012
- 23) 川上正光：「電子回路V」, 共立全書, 昭和33