

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～

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

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⁾。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、2023年以降、順次AMラジオ局がFM放送に移行する動きもあり⁽³⁾、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、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年当時の受信機を制作することとした。これは、当時の回路を復元することで、放送開始当時の音声や雰囲気を再現しようという試みである。受信機としては、当時もっとも普及していた「探り式鉱石ラジオ」を題材とし、構成部品である、「蓄電器（コンデンサ）」、「線輪（コイル）」、「検波器」を自作することによって作製した。本稿では、当時の受信機やその技術についての文献調査を行うとともに、必要な要素部品についての基礎検討を行い、多少の知見を得たので、報告する。放送開始100周年に際して、ラジオ工作に興味を持った方の参考になれば幸いである。

2. 放送史と受信機の歴史の概略

はじめに、ラジオ放送ならびに受信機に関する歴史を概観する。電磁波の発見は、1864年のマクスウェルによる理論的な予言に端を発し、1889年にヘルツによって実験的にその存在が実証された。1895年に、マルコーニによって無線電信機が発明され、その後、1920年には、世界最初のラジオ放送局であるKDKA局が米国で誕生した⁽⁴⁾。これは、電磁波の実験の実証からわずか30年という驚異的なスピードであった。日本においては、1925年（大正14年）に最初のラジオ放送局である東京放送局（現・NHK第一放送 JOAK）が誕生している⁽²⁾⁽⁵⁾。米国での放送開始からわずか5年後に放送を開始できた背景には、1923年の関東大震災が影響している。関東大震災では、通信インフラが壊滅的に破壊されたことから首都圏の通信網はまひし、救援を手配することも難儀する状態であった。震災直後には、横浜港停泊中の「これあ丸」が、銚子局、潮岬局との通信に成功し、第一報を打電した記録がある⁽⁶⁾。また、陸上の通信設備（通信省中央電信局）の状況をまとめた文献には、震災当日（9月1日）から翌日にかけての悲惨な様子が、次のように記録されている⁽⁷⁾。
『震災と同時に東京中央電信局が使用に堪へないことを知り、直ちに芝公園内逓信官吏練習所で假局を開始する目的で、一日午後種々の準備をなしたが、

此處も二日早曉類焼し、最初の計畫が晝餅に歸したのは甚だ遺憾であつた。翌二日取敢えず郊外に於て通信連絡を取る方針に出で、線路經過地の關係上先づ火災に無難であつた千住局で大阪、名古屋、仙臺の各地それ應急通信連絡の途を開くことが出来たのである。此れ實に二日午後十一時であつて、殘炎尚巷衢に満ち、炎熱末だ去らず、到る處危倶を以て蔽はれた眞最中のことである。かくの如くして辛じて樞要都市との通信を行ふことを得るに至つた』

以上のように、震災を契機に電信電話による通信網の整備が大きく注目され、その1つとしてラジオ放送も開始される運びとなったわけである。

ラジオ放送としては、その1925年（大正14年）3月1日、東京放送局（JOAK）からの試験放送を経て、3月22日に仮放送として開始された。同年中に大阪放送局（JOBK）、名古屋放送局（JOCK）も追って開局し、主要都市において放送が始まることとなった⁽⁵⁾。翌1926年には、日本放送協会として統合されることとなり、全国あまねく放送が受信できるような体制づくりが要請された。この政策の一環として特筆されるのは、「全国鉱石化計画」である⁽⁸⁾。これは、鉱石ラジオのような簡素な受信機であっても全国で受信可能となるように、送信所の建設と出力の増強をおこなっていくというものである。この計画のもとに各都市に送信所が建設されたが、その後の真空管ラジオの普及により、微弱な電波であっても十分に聴取できるようになったことから、実際にはこの計画の完成をまたずして、その目的を達成した。その後、有線・無線による全国ネットワークの構築、短波放送による海外向け放送の開始を経て、ラジオは急速に普及した。

次に、受信機の歴史について概観する。放送開始当時最も使用された受信機は、「鉱石ラジオ」と呼ばれるもので、全聴取者の7割を占めた⁽¹⁾。これは、真空管等を用いた増幅回路を一切持たず、鉱石と金属針の接触時に生ずる整流作用によって検波を行う、最も簡易な形式のものである。しかし、この方式は、小型のマグネチックヘッドホンを駆動するのが精いっぱい、複数人でラジオを聞くことはできなかった。同時期の高級ラジオとして、真空管を

用いた「ニュートロダイン方式」、あるいは現在でも広く普及している「スーパーヘテロダイン方式」も使用された⁽⁹⁾。しかしこれらの受信機は、真空管のフィラメントの加熱に直流電源が必要であり、しかもフィラメントを加熱するA電池（低い電圧で、大きな電流容量が必要）、プレート・カソード間に印加する電圧をつくるB電池（高い電圧で、電流容量はそれほど大きくなくてよい）、バイアス電圧を作るC電池（電圧・電流ともに小さい）の電圧の異なる3種類の電池を管理する必要があった。A電池、B電池はラジオ商店で定期的充電する必要があり、購入にしても維持管理にしても手間と費用がかかるものであった。真空管を使う形式としては、「レフレックス式」があり、これは1つの真空管で高周波増幅と低周波増幅を同時に行う方式であった⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。この方式は、検波を鉱石によって行うものが多かったようである。「再生式」は、正帰還をかけることにより利得を稼ぐ方式であるが、これは発振して振動電流が流れてしまうと妨害電波を生じ、隣家では放送を受信できなくなってしまうことから、放送開始からしばらくの間はその使用が法令で制限されていた⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

その後、昭和3年頃にヒータを交流電源によって加熱できる交流式真空管が登場し、電灯線からの電源の供給が可能となり、これによって受信機を構成する「エリミネータ式」が登場するに至って、真空管ラジオが本格的に普及していくこととなった⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

3. 再現する鉱石ラジオ

今回、筆者らが題材としたラジオ受信機は、さぐり式鉱石ラジオであって、文献中から最も標準的で簡単に再現可能であると思われるものを検討した。その結果、文献（13）に挙げられている次の受信機を題材とすることとした。題材とするラジオ受信機の回路図を図1に示す⁽¹³⁾。また、実際に筆者らが制作したラジオ受信機の正面写真と背面写真をそれぞれ図2、図3に示す。本受信機は、上部コイル、下部コイル、可変容量蓄電器（バリコン）、鉱石検

波器から構成され、外部に空中線（アンテナ）、接地（アース）、受話器（イヤホン）を接続する。上部コイルは、アンテナと回路のインピーダンスマッチングを取るために用いられる。下部コイルは、可変容量コンデンサと一体となって同調をとるとともに出力団により高い電圧を出力するためにトランス構造となっている。検波は鉱石検波器により行う。

これらの部品は、イヤホン以外は基本的に入手困難であることから、全て自作することとした。

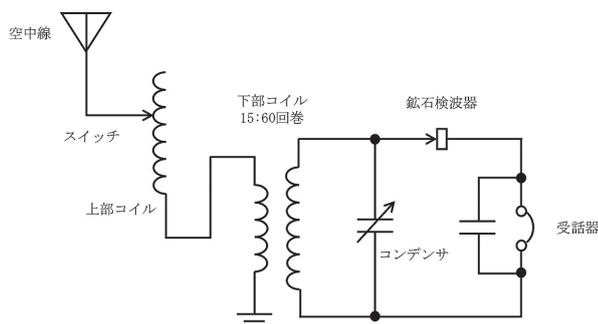


図1 題材とするラジオ受信機の回路図⁽¹³⁾

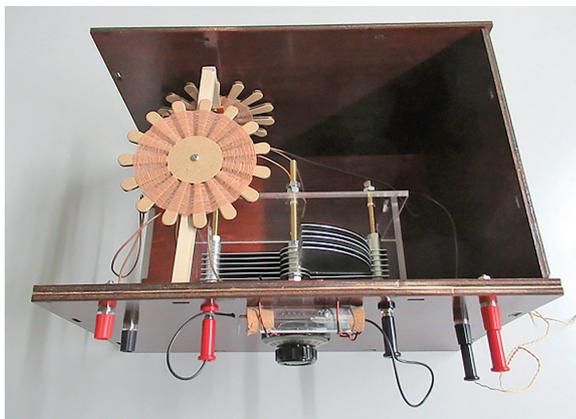


図2 制作したラジオ受信機（上面）



図3 制作したラジオ受信機（正面）

4. 鉱石検波器

鉱石検波器は、鉱石ラジオにおける要となる部品であり、この検波器の性能が鉱石ラジオ全体の性能を大きく左右するものである。鉱石検波器は、方鉛鉱などの天然鉱石に金属針を接触させる構造のもので、電気信号の検波に用いられる。検波とは、受信した高周波の電気信号から音声信号を取り出すことであるが、電気的には一方の方向のみに電気を通じる、「整流作用」によって達成できる（包絡線検波）。現代において最も普通に用いられているのはダイオードであるが、ショックレーらによってPN接合によるシリコンダイオードが開発される以前には、高級な受信機には真空管が、廉価で簡易的な受信機には鉱石検波器が、それぞれ使われていた。実際に鉱石検波器を自作してみると、いかにも安定性が悪く実際にこのようなものが使用されたというのがにわかに信じがたくなってくるが、文献⁽¹⁴⁾には、当時の鉱石検波器の重要性について伺い知ることができる記述が、次のようにある。

『鑛石の一片は極めて些細なるものに過ぎざれども、全世界に於いて之をラデオ（ママ）用検波器として、文化の恩恵を享受する者の數に想到せば、容易に其重要なるを理解し得可く、啻（ただ）に之を我國內のみについでみるも、その經濟的價値は輕視し得可きものに非ざるを知る可し。（ただし、（）は筆者注）』
このように、鉱石検波器は当時重用されていたことが分かる。しかし、その一方で、

『尚鑛石検波器の發見以來、幾多の研究者ありたるに拘らず、其理論に關しては、未尚確定する所無きは、他の多くの複雑なる無線通信に於ける現象が理論的に解決せられたるに比し、誠に奇異の現象と言はざるからず』

とある。鉱石検波の原理的な解明は、多くの研究にもかかわらず、現在に至るまで達成されてはいないようである。古くは、鉱石表面（絶縁体膜）と接触針の間に生ずる電界が絶縁破壊電圧を超えることで電子雪崩のような機構により整流特性を示すという「電圧破壊」によるという説や、針と鉱石に流れる

微弱な電流が発生する熱による「熱的破壊」による説なども検討されたようであるが⁽¹⁵⁾、現代において支持されているとはいいがたい。また、ショットキー効果により説明できるとするものもあれば⁽¹⁶⁾、それを不足とみる文献⁽¹⁷⁾もあり、定説をみない。おそらくは、ダイオードの出現によって、鉱石検波の原理的な解明を待つことなく産業的な価値を失ってしまったため、それ以上の研究価値がなくなってしまったのであろう。結局のところ、なぜ鉱石によってこのような現象がおきるのかが解明されていない以上、試行錯誤的な実験によるノウハウの習得以外に高性能な鉱石検波器を入手する方法がないのが現状である。

前述のとおり、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り、試行錯誤的なノウハウの習得が必須である。具体的には、鉱石表面のどの位置に金属針をあてるかによって、検波器として全く動作しない場合もあり、金属針をあてる位置を『探し』ながら決めていく必要がある。そのため、このようなものは「探し式鉱石検波器」と呼ばれた。探し式検波器はラジオ受信機の草創期に広く採用されたもので、調整桿（かん）と呼ばれるつまみがあり、このつまみが金属針と連動し、つまみを回すことによって鉱石と針先の接触点を調整できるようになっていた。その後主流となった「固定式鉱石検波器」は、ガラス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。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、交換ができるようになっていた⁽¹⁾。

鉱石検波器を作製するうえで、鉱石の選定は非常に重要である。文献によれば、方鉛鉱（図4）が一般的とされる⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾が、黄鉄鉱⁽¹⁸⁾（図5）、珪素や硫化鉄⁽¹⁹⁾などでも整流作用が得られる。筆者らは確認していないが、紅亜鉛鉱を用いると方鉛鉱以上に良好な性能が得られる場合があるとされる⁽⁸⁾⁽¹³⁾。



図4 方鉛鉱



図5 黄鉄鉱



図6 紅亜鉛鉱（天然・写真の赤い部分）



図7 紅亜鉛鉱（人工）

大正15年のラヂオ年鑑⁽²⁰⁾によれば、当時の鉱石検波器に採用された鉱石について、次のような記述がある。

『逓信省電気研究所では、（中略）其の調査主任であつた現工科大学教授工學博士鯨井恒太郎氏は「黄鉄鉱」「黄銅礦」「紅亜鉛礦」「方鉛礦」以下五種の鑛石の検波器として使用し得られることを發見した。其の後（中略）遂に數百種の鑛石の中から「紅亜鉛礦」と「斑銅礦」と組合はせたものゝ感度鋭敏にして理想的検波器であることを發見しこれに對する特許を得た。』

紅亜鉛鉱では、方鉛鉱や黄鉄鉱のように金属針を

あてる構造ではなく、黄銅鉱⁽⁸⁾や班銅鉱⁽¹³⁾など別の金属と接触させることで、検波性能が得られるという。紅亜鉛鉱は、米国以外の産地がない希少鉱石であって、方鉛鉱や黄鉄鉱と比較すると入手がやや難しい(図6)⁽⁸⁾。紅亜鉛鉱には人工的なものもあり、これはポーランド産として市場に出回っている⁽²²⁾(図7)。

接触針は、文献によって最適とされるものが異なる例が散見される。金属であれば種類は問わないとされつつも、ニッケル線⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾や銅線⁽⁹⁾、鉄線⁽⁹⁾、タングステン線⁽⁸⁾などが挙げられている。また、マンドリンかバイオリンのEスチール線を用いるとよいとする文献もある⁽¹⁸⁾。筆者らも、銅、鉄、アルミニウム、銀、白金等、各種の金属で試行したが、タングステンの針で、安定した性能を示すことを確認した。

今回自作した鉱石検波器を図8に示す。鉱石検波器の整流特性を検討するため、ファンクションジェネレータに鉱石検波器と負荷抵抗(1MΩ)を直列に接続し、入力電圧として100mV_{p-p}、1.0kHzを与えたときの負荷抵抗の端子電圧を測定した。その結果を図9に示す。同図より負の電圧が出力されていないことから、逆方向電圧が阻止されており、整流作用が生じていることが確認できた。

しかし、前述のとおり鉱石検波器の動作は極めて不安定であり、継続的な使用にあたっては繊細な調整が必要となる。一部の文献には、鉱石表面を研磨したものよりもへき開面をそのまま使用するほうがよいという記述がある⁽¹⁸⁾。一方で、筆者らの実験では、鉱石表面を紙やすりにて研磨した場合、やすりの番手によって検波性能が異なる傾向があることが確認できた。やすりの番手を変えた場合の鉱石検波器の電流-電圧特性(以下、I-V特性という)を図10に示す。このグラフは、半導体アナライザDCA75(Peak Electronic Design)を用いて、測定したものである。この結果より、番手が小さいほど(すなわち表面が粗いほど)順方向特性は向上する様子が確認できる。その一方、逆方向を阻止する性能は、番手が大きいほど(表面が平滑であるほど)性能が向上することが確認できる。以上の結果を総

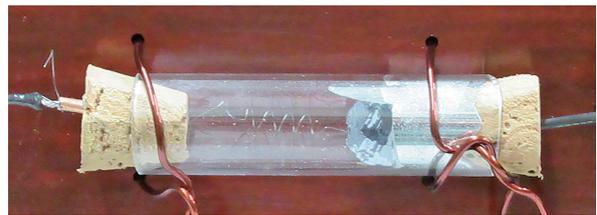


図8 自作した鉱石検波器と方鉛鉱

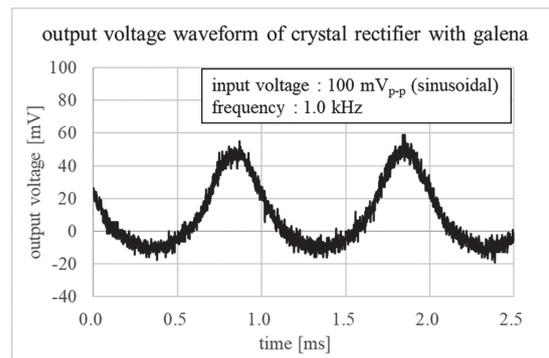


図9 鉱石検波器による整流現象の検証

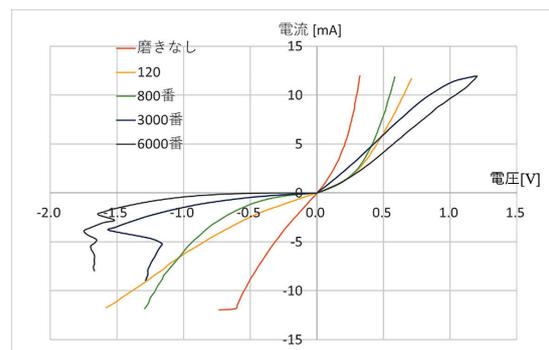


図10 研磨面の粗さによる検波性能の比較

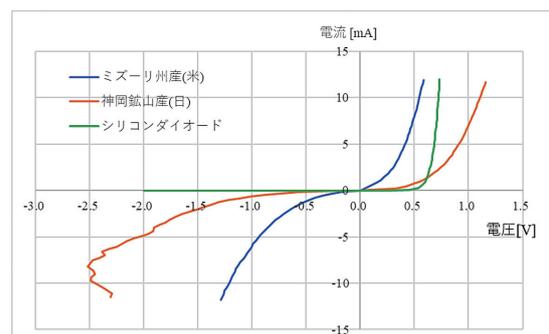


図11 サンプル(産地)による検波性能の比較

合的に検討すると、800番程度のやすりで研磨したものが、最も検波器として優れていると考えられる。また、番手が大きく、表面が平滑であるほど、風や振動の影響を受けやすく、検波器としての安定性が低下する様子が確認できた。したがって、鉱石表面

は800番のやすりによって研磨して使用することとした。

また、一部の愛好家の間では、鉱石の産地によって性能が大きく異なることが知られている⁽²¹⁾。そこで、今回入手できたアメリカ合衆国ミズーリ州産出のものと岐阜県神岡鉱山産出のものの2種類の方鉛鉱について、I-V特性の比較を行った。実験結果を図11に示す。同図より、産地によりI-V特性に違いがみられるといえる。ミズーリ産のものは、順方向特性が優れているものの、逆方向阻止特性は劣っていることが確認できる。一方、神岡産のものは、順方向特性はミズーリ産のものよりも劣っているものの、逆方向阻止特性は優れていることが分かる。鉱石ラジオは0.2~0.3V程度の極めて低い電圧で使用するため、本サンプル品においてミズーリ産のものの方が鉱石ラジオに適していると考えられる。この検波性能の違いが何に起因しているのかは不明だが、おそらくは不純物の含有の程度であると考えられる。例えば、文献(19)によると、産地によって含有成分が異なることが報告されている。

また、文献によると、鉱石検波には次の性質があるとされる⁽²²⁾。

- 一、**鉱石は永久に使用出来るものと思っ**てはいけません。時々新しいものと**取更える必要**があります。
- 二、**鉱石は時々掃除**しなければいけません。それにはアルコール或いはベンジンで洗へばよいのであります。但し、石油は禁物です。
- 三、**鉱石を取扱ふ場合決して直接に指を触**れてはいけません。必ずピンセットを御用ひなさい。
- 四、**鉱石の良好な表面を探しあてたならば**當分、そのまゝ**接觸針を動かさず**に置いて聴取なさい。聴取の度毎に**接觸部をかへる必要**はありません。
- 五、**鉱石の良好な表面でも、長くその一**点のみ用ひていると不良になります。その場合には又別の点を探るのです。そして新しい**接觸點**を用ひている間に、またもとの点が**良好に復活**します。
- 六、**接觸針の尖端がさびてゐたりせぬ**様常に注意しなければなりません。

七、**接觸針は始終同じの物**を用ひてはいけません。時々其尖端を少しく切るか、又は新しい針と**取更える必要**があります。

八、**鉱石との接觸は軽い方が良好の**効果を表はすのであります。

そのほか、筆者らの試行の結果、次のような点に注意した方が良いでしょう。

- ①方鉛鉱の**鉱石サンプル**は、不純物が少ない物のほうが**良好な性能**が得られやすいようである。筆者らの手持ちの**サンプル**では、手で軽く触っただけで、ぼろぼろと崩れるほど**もろい**サンプルのものが、最も**性能が良好**ようであった。
- ②**鉱石の表面**を針で探るときは、**表面を傷つける**ことの無いよう注意する。傷が多くなつたときは、研磨などにより傷を除去すること。
- ③**良好な性能**が得られた**接觸点**では、一度針を離し、再び同じ位置に針をあてても、前回と同様に**良好な検波性能**が得られやすい。
- ④**鉱石表面**を、800~1000番程度のやすりを使って研磨した場合に**良好な検波性能**が得られることは前述のとおりであるが、番手が大きくなるほど、安定性が悪化するという傾向もある。番手が大きく表面が平滑に加工された**サンプル**では、軽微な振動でも針の**接觸点**が移動してしまいやすいことも、その原因の一つであると推測できる。
- ⑤**黄鉄鉱**の場合、平滑な表面ではよい**性能**が得られることはまれである。筆者らの試行では、2つの結晶の境界部分で、非常に安定した**検波性能**が得られた。性能面では方鉛鉱に劣るが、**安定性・再現性**は方鉛鉱をしのぐほどであった。

以上、**鉱石検波器**に関する文献調査の結果と筆者らの実験から得られたノウハウについて紹介した。**鉱石検波器**は、その動作が極めて不安定であり、上記には再現性が悪い事象もあると思われるが、今後の実験結果の蓄積により、より精度を増した結論を得ていきたいと考えている。

ラジオ受信機を組み立てて実際に聴取しようとする際、万が一感受できなかつた場合に、それが**鉱石検波器**の不安定な動作に起因するものなのか、それともその他に原因があるのかが特定しにくいという

問題がある。したがって筆者らは、市販されているゲルマニウムダイオード（例えば、1N60など）も別途用意し、ゲルマニウムダイオードを検波器として取り付け、正常に感受できることを確認したのちに、鉱石検波器に取り換えて接触点の調整を行った。

5. まとめ

本稿では、ラジオ放送開始100周年に際し、当時の受信機を再現することを目的として、その歴史を調査するとともに、鉱石ラジオに用いられる鉱石検波器について調査と検討を行った。その結果、鉱石検波器については、方鉛鉱およびタングステン針を用い、その表面は800番の紙やすりで研磨することによって、比較的安定な鉱石検波器を得られることが分かった。

続報にて、コイルとコンデンサ、および空中線（アンテナ）と接地（アース）についての検討結果を報告する。

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) 放送事業の基盤強化に関する検討分科会：「AMラジオ放送のあり方に関する取りまとめ」, 総務省HP, https://www.soumu.go.jp/main_content/000642385.pdf (令和4年3月31日閲覧)
- (4) 高橋雄造：「ラジオの歴史 工作の<文化>と電子工業のあゆみ」, 法政大学出版, 2011
- (5) 日本放送協会：「放送50年史 資料編」, NHK出版, 1977
- (6) 田原啓祐：「関東大震災後における通信事業の復旧と善後策」, 通信総合博物館 研究紀要, 第4号, pp10-pp36, 2013
- (7) 稲田三之助：「震火災による有線及無線電信電話の被害」, 電気學會雑誌, Vol.43 No.424, pp845-858, 1923
- (8) 小林健二：「ほくらの鉱石ラジオ」, 筑摩書房, 1997
- (9) 奥中恒一：「實用無線電話の解説」, 弘文社, 大正14
- (10) 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
- (11) 原田三夫：「高級ラヂオの製作と原理」, 誠文堂, 大正15
- (12) 岩城良次郎：「商品のライフサイクル—オーディオ用真空管の技術史を事例として—」, 一橋大学研究年報, 自然科学研究, vol.18, pp1-14, 1978
- (13) 奥中恒一：「最新ラヂオ受信機の組立と部分品の作り方」, 弘文社, 大正14
- (14) 小山和二郎：「検波用方鉛礦の化學的研究」, 電気學會雑誌, Vol.49 No.489, pp450-515, 1929
- (15) 中原裕一：「検波用鑛石の電氣的破壞機構に就いて」, 電気學會雑誌, Vol.69 No.734, pp381-382, 1949
- (16) 宮田聰：「半導體の整流作用」, 電気學會雑誌, Vol.62 No.645, pp223-226, 1942
- (17) 川上正光：「電子回路V」, 共立全書, 昭和33
- (18) 濱地常康：「真空管式無線電話の實驗」, 誠文堂, 大正13
- (19) 高橋清, 伊藤司郎：「方鉛礦の微量成分について—東北日本内帯および西北海道鉛床区の方鉛礦—」, 地質調査月報, vol.12, 10号, pp783-798, 1961
- (20) 「ラヂオ年鑑 (1926年度)」, 誠文堂書店, 大正14
- (21) Kanzaki Radio Shack：「Crystal Radio & Germanium Radio」, <http://home.att.ne.jp/lemon/kanzaki/newpage6.html>, (令和3年11月12日閲覧)
- (22) 松平道夫, 酒井忠毅：「ラヂオの實地製作法」, 文陽堂, 大正15