

ものつくりの原点を見直す

—ゲルマニウムラジオ製作を通して—

井上祥史*・佐々木幸一*・久坂哲也**・重松公司**

(2004年12月6日受理)

1. はじめに

現在の40歳以上の男性の多くは、小学校図画工作・中学校技術やその他の時間で、ゲルマニウムラジオ（以下、ゲルマラジオ）やトランジスタラジオの製作を経験してきている。しかし、現在の大学生以下の多くの青年は、ラジオ製作を行った経験を持たない。あるいは製作した経験があるとしても、パーツを半田付けするだけのキットの組立である場合が多い。

このようなキット組立の場合、トランジスタを使った電池式のラジオが多く、動作原理や回路は複雑である。そのため、動作などの説明を殆ど受けず、実体配線図に基づいてパーツを配置し半田付けを体験したということに留まることが多い。さらに悪いことに、組み立てたラジオは数百円で市販されているラジオと比較しても選局性能や音質そしてパワーが劣る場合が多いので、電池の寿命が尽きると忘れ去られ葬り去られるケースが多い。せっかくの製作体験が、その後の探求意欲や課題解決の動機付けに有効に生かされているとは言い難い。

これに対してゲルマラジオは、長いアンテナで受けた放送局からの電波をエネルギー源とする無電源ラジオなので、ラジオ放送されている限り聴取することができる。また、必要最低限の回路であるため、電磁波・共振回路・ダイオードの働きとエネルギー変換を原理から素朴な形で実感することができる。いくつかの高等専門学校では、日用品で作ったアンテナやコイルそしてコンデンサによるゲルマラジオの製作を総合学習の時間などで行い、工夫することで電波や共振の性質を身を持って体験している^{1,2)}。

このような特徴を持つゲルマラジオを、授業や実験の説明例題として幾度か取り上げたところ、ゲルマラジオ製作に興味を示す者が増えてきたので、回路動作の理解やものづくり意識の動機付けを期待して、製作をする機会を与えることにした。

2. ラジオ作成とアンケート調査

2. 1 ラジオ作成

ゲルマラジオ製作に参加したのは、本学部の中学校理科と技術科の1年生それぞれ5名と中学校理科の3年生2名の計12名である。学生達に渡したパーツリストを表1に、回路図を図1

* 岩手大学教育学部 技術教育講座

** 岩手大学教育学部 理科教育講座

に示す。1セット1,500円で、市内の電気パーツ店から15セットを用意した。

予め著者らが製作してみたところ、部品点数約10点、半田付けおよそ10箇所、孔開けはおよそ7箇所の作業量で、ほぼ1時間前後で製作可能であった。試聴した結果、受電用変圧器を持つ鉄筋コンクリート建物の電灯線にはラジオ放送信号が含まれていなかったため、試聴するには屋上から約10mのアンテナ線と地面からのアース線を実験室内に引き込む必要があった。製作の当日、学生に用意させたのは小さなプラスチックケース（およそ4 x 5 x 3 cm程度）である。部品と回路図を渡して、電磁波とアンテナの役割の簡単な説明を行ったあと、回路の機能を次のように説明した。並列共振回路で同調するとインピーダンスが上がり、イヤホン側に電流が流れる。さらにダイオードの整流作用、可聴周波数などを説明し、最後に部品の機能の説明を行った。ゲルマラジオを作るのは全員初めてであり、半田付け未経験者が1人、電気ドリル未経験者が3人ほど居たので、それぞれの扱い方を説明してから製作に入った。作業は、各自が回路図を見ながら持参したケースに自由に孔開けとねじでパーツを配置し配線していくもので、特に困難な点はないが、ゲルマニウムダイオードの半田付け時の放熱には留意して作業するよう指示した。図2(a), (b)に完成したゲルマラジオと内部の配線例を示す。

表1 ゲルマラジオ部品表

回路部品	機能	回路外部品	機能
抵抗 1/4 W 470 k Ω	イヤホン並列	イヤホンジャック	
コンデンサ22, 100 p F	V C並列, A C絶縁	端子	アンテナ, アース
ゲルマダイオード 1 N60	黒カソード	ラグ板 6 P	配線端子
ポリバリコン 200 p F	可変容量	100Vソケット	A Cアンテナ用
コイル 360 μ H			
クリスタルイヤホン	可聴音変換, 高周波パスフィルタ		

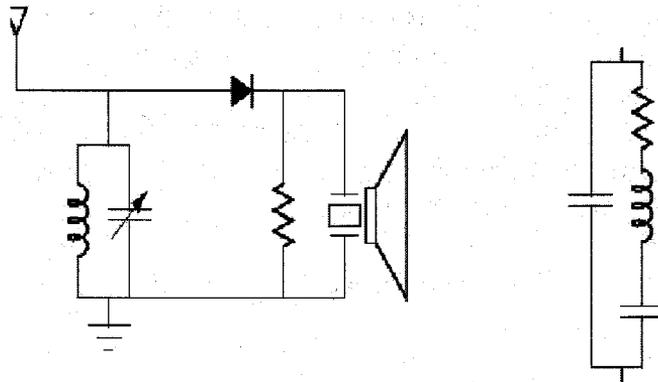


図1 回路図とクリスタルイヤホンの等価回路

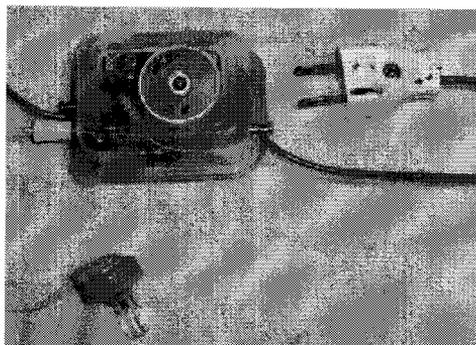
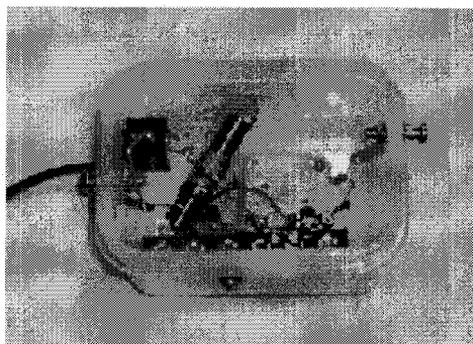


図2 (a) 完成したゲルマラジオ外観



(b) 内部の配線

2.2 アンケートの構成

製作が完成して試聴できるまで当初の予想より遙かに長い時間を必要とした。この理由を明らかにするため、学生達にアンケート調査を行った。

製作時間に及ぼす影響を様々な側面から調査するために、調査項目を回路理解、素子特性理解、作業スキルと自己評価に大別した。アンケート項目の概要と省略名を表2に示す。この表に掲げた項目の他に、家庭で試聴した電波環境や工夫した点、そして感想などの自由記述項目がある。

表2 アンケート項目の概要 (一部省略)

分類	項目番号	省略名	質問項目
回路理解	q 1	アンテナ	アンテナとアースがコンデンサになり、ゲルマラジオに電流が流れることは理解できましたか。
	q 2	共振理解	受信周波数に一致するようバリコンの容量を変えるとイヤホン側に電流が流れる理由は分かりましたか。
	q 3	整流理由	音声信号を取り出すためにダイオードで片側整流を行う理由は分かりましたか。
	q 4	音声信号	イヤホンは高い周波数に追従しないので音声振動が取り出せることは理解できましたか。
素子の特性	q 5	コイル芯	コイルの芯のフェライトの役割は考えてみましたか。
	q 6	バリコン	バリコンの構造は予想できますか。
	q 7	ダイオード	シリコンではなくゲルマダイオードを使う理由は分かりましたか。
	q 8	イヤホン	クリスタルイヤホンの構造は予想できますか。
作業スキル	q 9	部品配置	部品配置について考慮したことは何ですか。優先順位を付けて下さい。
	q 10	ドリル操作	電気ドリルは操作したことはありますか。
	q 11	バリ取り	皿もみ、バリ取りなどを行いましたか。
	q 12	半田付け	半田付けの経験はありましたか。
	q 13	失敗原因	半田付けでうまく行かなかったところがあるとしたら、どこでしたか。
自己評価	q 14	実体配線	実体配線と回路図との対応はうまくイメージできましたか。
	q 15	重点項目	この製作で最も時間がかかったところはどこですか。
	q 16	完成時間	完成するまでどれくらい時間がかかりましたか。

3. アンケートの分析と考察

3. 1 自由記述と製作時間

自由記述欄では、「思った以上にクリアな音声で驚いた」、「聞こえたときには感動した」、「同様なものを再度作成したい」など全体的に製作経験を肯定的に評価していた。

表3は製作に要した時間と人数の分布である。数値データである製作時間は最も短いものを5に、長いものを1に規格化して分析に用いた。

表3 完成までに要した時間と人数

時間(hr)	2	3	4	5	6
人数	2	1	1	5	3

3. 2 主成分分析

分析にあたり、表2の項目の中から評定尺度に向かないと考えられるq5, q8, q9, q11, q13, q15の各項目を除外した。残りの10項目では、最も評価の高いものを5とする5段階評価の形式とした。分析は岩手大学情報メディアセンターのSASを用いて行った。得られた結果は、標本が少ないため信頼性に乏しいものと考えられるが、参加した学生の製作意欲が高いことを反映して、ある程度有意な傾向を読みとることができると考えられる。

はじめに、相関行列による主成分分析を行った結果、3つの主成分(固有値1以上)が抽出された。また、第3主成分までの累積寄与率が80.5%であることから、第3主成分まで採用することにした。第3主成分までの固有ベクトルを表4に示す。

表4 主成分分析の固有ベクトル (各固有値に属する因子を太字で示した)

項目	省略名	第1主成分	第2主成分	第3主成分
q1	アンテナ	0.34	0.29	-0.29
q2	共振理解	0.42	-0.21	-0.23
q3	整流理由	0.38	-0.22	0.07
q4	音声信号	0.41	-0.30	-0.11
q6	パソコン	0.38	0.11	-0.02
q7	ダイオード	0.40	-0.12	0.08
q10	ドリル操作	0.21	0.03	0.64
q12	半田付け	0.17	0.30	0.44
q14	実体配線	0.09	0.49	-0.46
q16	完成時間	0.15	0.62	0.17
固有値		4.36	2.04	1.66
累積寄与率(%)		43.6	64.0	80.5

各主成分における固有ベクトルの符号と絶対値の大きさに注目すると、第1主成分は回路及び素子の働きを理解しようとする論理指向、第2主成分は作業能率を上げ実体配線をイメージする作業工程の立案指向、第3主成分は過去の技術経験を指向しているものと理解することが

できる。このうち、第2主成分の作業工程には、製作時間と実体配線イメージが大きなウェイトを持っていることがわかる。簡略化した記号を配置している回路図から実際の部品配置や実体配線をイメージするには、(a)素子記号の理解・(b)信号の流れ・(c)導線の等電位性の理解・(d)配線の集中化または合理化・(e)回路外部品の配置、の各ステップを踏む必要があるため、特に低年齢層では負担の大きい思考作業の一つである。このため電気回路のビギナー雑誌では必ず部品の大きさに比例した実体配線図が例示されている。

3. 3 相関係数

次に、各項目間の相関係数の検定を行った(表5)。製作時間に影響する要素を分析するために、製作に要した「完成時間」(q16)に着目すると、「半田付け」の経験(q12)が製作時間に直接影響することの他に、回路理解や実体配線をイメージできることと製作時間が短いことには関連性が見られる。このように、第2主成分の作業立案に実体配線の項目が大きなウェイトを持ち、製作時間と実体配線のイメージが強い相関関係を持つことは、大学生であっても3.2の(a)–(e)にわたる思考訓練の場を過去の教育で与えられてこなかった証であるということが出来る。

表5 各項目間の相関係数(相関が認められたものは太字で示した)

	アンテナ	共振理解	整流理由	音声信号	バリコン	ダイオード	ドリル操作	半田付け	実体配線	重点項目	完成時間
アンテナ	1	0.63*	0.16	0.50†	0.46	0.62*	0.07	0.20	0.54†	-0.34	0.51†
共振理解		1	0.70*	0.94**	0.58†	0.70*	0.11	0.09	0.10	-0.45	-0.05
整流理由			1	0.77**	0.74**	0.51†	0.37	0.23	0.03	-0.24	-0.03
音声信号				1	0.51†	0.75**	0.21	0.17	-0.03	-0.48	-0.16
バリコン					1	0.47	0.29	0.23	0.28	-0.17	0.41
ダイオード						1	0.50†	0.11	-0.10	-0.71	0.20
ドリル操作							1	0.49	-0.35	-0.52†	0.36
半田付け								1	0.06	-0.14	0.51†
実体配線									1	0.41	0.50†
重点項目										1	-0.08
完成時間											1

Pearson's correlation coefficient test, **: $p < .01$, *: $p < .05$, †: $p < .10$, $N=12$

また、表5から「アンテナ」からのエネルギー流入の理解(q1)もまた製作時間と大きい相関を持っていることがわかる。エネルギーの流れと変換に関する因果関係を理解することは、実体配線図のイメージ(d)の信号の流れを把握していること(配線の合理化)に繋がるものと考えられる。また「アンテナ」からのエネルギー(q1)と並列「共振」の原理(q2)の相関係数は0.63で、エネルギーの流れを理解している者は、その後のエネルギーの分配についての因果関係についても関心を示していることを表している。さらに「共振理解」(q2)とq3, q4, q7(検波と音声信号変換)の間にはそれぞれ0.7以上の相関が認められるため、第1主成分の論理的理解を指向するには、因果関係を理解すると同時に、音声振動を得るための各

素子の働きも理解していることを表していると考えられる。このことは回路全般の働きについて論理的に理解を深める教育を行うためには、個々の素子の機能にも配慮して解説をしていく必要があることを示しており、両者は相補的な関係にあると考えられる。

3. 4 製作上の留意点

次に、「部品配置」(q 9) および「重点項目」(q 15) から具体的な製作活動について検討した。項目 q 9 は、部品配置に当たって最も配慮したことを、以下の細目から優先順位をつけて答えさせる項目である。表 6 に、この優先順位の結果を製作時間毎にまとめた。

表 6 完成までに要した時間と部品配置の優先順位

時間(hr)	2	3	4	5	6
優先順位*	43251 23145	43521	23451	13425 21435 24315 43125 14235	13425 51342 32154

*左から順に以下の各細目の優先順位となっている

1. 信号の流れ 2. 操作のしやすさ 3. 部品の大きさ 4. 工作のしやすさ 5. 見た目

この結果を見ると、2時間で試験まで完成させた者(いずれも3年生)は3、4の項目、すなわち部品の幾何的な配置と工作が容易になる工夫を意識して製作していた者が多いことがわかる。信号の流れや外観に捕らわれることなく、作業効率に留意して短時間のうちに製作することに集中していたことが読み取れる。あるいは信号の流れを既に理解していて製作効率を高めたことも考えられる。その反面、4-6時間を要した者は信号の流れや操作性に留意して慎重に作成した場合が多い。じっくり回路を理解し、その後の利用まで考慮に入れて、たとえ時間がかかっても多くのものを学び取ろうとする姿勢が見える。このことから、少なくとも初めての分野の製作課題を与える場合に、スキル重視の立場だけでは、論理的思考力の形成には不十分であると言えることができる。

製作に最も時間を要した所を問うた「重点項目」(q 15)の回答の記述に最も多かったのが「1箇所に集中して配線する」「いも半田」というキーワードで共に4件であった。素子の太い線、コイルの細線などをどこにまとめて半田付けすれば最も合理的かという課題は、等電位性の理解を必要とすると同時に、スキルにも影響されるため、実行に移すまでに多くの時間を必要としたものと思われる。

これらのことから、「ものづくり教育」を行うためには、(1)工作法と工作法が要求する思考力、(2)製作の流れを組み立て予見・設計、(3)対象物の特性理解、(4)因果関係の理解、(5)効率化への合理的な工夫、などの諸点を考慮して教育目標を設定する必要があることを示している。そして経験やスキルそして理解力に応じて、工作法や製作の流れなどを細かく指示したり、総合的な論理思考力を養うために製作課題を選択するなど、ものづくり教育の柔軟な展開が求められる。

4. おわりに

講義の途中で説明に使ったゲルマラジオを実際に製作させてみて、現在行われている中学校・高等学校の教育現場での製作経験の不足がもたらす影響の大きさを窺い知ることができた。回路を読みとって自由に設計し製作の工夫をすることは、順序立てて物事を処理していく力を養う貴重な場であり、ものつくりの原点である。因果関係や素子の働きについての適切な解説を加えることにより、論理的な思考力や課題を解決する意欲を養うことができる。成長の各段階でこのような適切なものづくり課題を与えていれば、大学での履修目的や修学意欲に現状との乖離が生ずることは少ないであろう。小中高の教育課程にもものづくり課題の目的を明確に位置付ける必要があると思われる。

謝辞：SAS解析にあたり理科教育の八木一正教授に多くの助言を戴きました。深く感謝いたします。

参考文献

1. 東京工業専門学校電子工学科小池・阿津研究室HP
<http://www2.tokyo-ct.ac.jp/~d/index.files/KasaRadioHP/Index.htm>
2. 杉木優子「物理授業におけるラジオ製作」(『日本理化学協会』研究発表論文集、第18巻、1996) pp.258-259。