

電池、ラジオ、アンプ 電子工作集成

電子工学と応用化学を基礎にした趣味と実用の工作、評論と報告

棚瀬 繁雄



Union Press

電池、ラジオ、アンプ 電子工作集成

電子工学と応用化学を基礎にした趣味と実用の工作、評論と報告

棚瀬 繁雄

ユニオンプレス

注意と御願い

本書が異なった時期に執筆された原稿から成り立っているため、記述内容に齟齬（食い違い）が認められるかも知れません。また、十分注意しましたが、誤字や脱字、内容の誤認などがあるかも知れません。それらの点に注意の上、本書をお読み下さい。

本書では、可能な限り参考文献を付けるようにしました。ただ、インターネット上の情報に関しては、URL のアドレスが変わることがありますので、注意して下さい。

本書に記載されている製作や実験の結果は、製作者や実験者の技術水準などによって変わる可能性があります。本書に記載の内容の追試や利用に当たっては、そのことをご承知下さい。また、追試や利用は自己責任で行って下さい。著者は追試や利用によって生じる損害を補償しません。

本書に記載の図、表、写真などを利用するときは、事前に、著者、又は、出版社にお知らせ下さい。

本書に掲載した社名、商品名称などで登録商標または商標は、本文中ではTM、® マークの明記はしていません。

本書に関するご質問については、本書に記載されている内容に関するのみとさせていただきます。電話でのご質問は受け付けておりませんので、必ずファックスか書面にて、下記までお送りください。

お問い合わせ先

〒 542-0062 大阪府中央区上本町西 5 丁目 1 番 6 号

ユニオンプレス「電子工作集成」質問係

ファックス 06 6763-5463

はじめに

“山は見る方向で姿が変わる。”とされています。同様に、“研究者も見る方向で姿が変わる。”ことがあります。ここで、“ことがあります。”と書いた理由は、姿が変わらない研究者がいるからです。どちらの研究者が望ましいかは別にして、著者は見る方向で姿が変わる研究者です。

“見る方向で姿が変わる。”という多面性は、趣味と仕事の中間を歩んできた著者の人生観に基づいています。人生に趣味は必要ですが、趣味だけでは生きて行けません。生きるためには仕事をする必要があります。学生時代は勉学が、また、就職後は研究業務が著者の仕事でした。更に、これらの仕事では相応の成果を要求されました。著者はその証として、論文、資料、解説などを作成し、成果を雑誌や調査報告書を通して発表しました。この発表の数は、自ら執筆したものだけでも、既に100を超えました。しかし、それらは、いずれも短編です。

著者は、2010年3月末に、それまで勤めてきた産業技術総合研究所 関西センター（前身は、通商産業省 工業技術院 大阪工業技術研究所）を定年退職しました。この頃だと思いますが、日頃からお世話になっているユニオンプレスの池田肇氏から、著者がこれまでに投稿した論文を再構成した研究論文集の出版が提案されました。このような長編の制作は著者にとって光栄で、構想を練ったのですが、「著者がこれまで行ってきた研究の成果が既に過去のものになり、再構成しても、新たな価値を生まないだろう。」との結論に至りました。

ところで、著者の専門とする技術分野は応用化学です。これまで、セラミックスや電池に関する研究に関わってきました。過去を振り返ると、小学校の4年生の頃、バケツ電池（空気亜鉛電池）を製作したことがその端緒と言えるかも知れません。また、同じ時期にゲルマニウムラジオ（ゲルマラジオ）を組み立てたことが切っ掛けで、電気分野に興味を持ちました。その後、高校生の段階までは電気工学を志望していましたが、過激な学生運動が原因で起きた、東京大学の入学試験の中止や、酷しい受験競争など、諸般の事情から応用化学に転向しました。しかし、大学の専門課程で電気工学に関する講義を受講する機会があり、その後の独学の成果もあって、電気工学や電子工学に関する活動は著者の趣味として続けられ、結果的に、二足のわらじを履くことになりました。

そのようなことになりましたが、趣味の電子工学はこれまで本業であった応用化学に関する仕事に大いに役立ちました。“芸は身を助ける。”と言うことかも知れません。更に、趣味が定年退職後の著者の活動で重要な地位を占めるようになりました。この活動の成果は既に発表されていますが、内容が断片的なもの、雑誌の趣旨に合わないものなど、未発表の原稿が著者の手元に残っています。また、応用化学に属するものを含めて、最近作成した原稿が溜まりました。これらを放置するのはもったいないので、原稿を集め、単行本として成立するよう企画しました。本書の名は、この“集め”、“成立する”に由来しています。

本書では、電池、ラジオ、アンプなどに関連した製作から、電気・電子技術に関する評論や施設訪問の報告まで、内容が多岐に亘ります。そのため、5～7つの節から成る章を4つ設けました。全体で24の節があります。本書の利用に当たっては、これらの全てを読むのも

よいでしょうが、特定の節だけに留めても構いません。いずれにしても、本書が読者の知識の巾を広げ、新たな着想に繋がることを期待しています。また、本書が皆様の活動の発展に繋がれば幸甚です。

2015 年 5 月 1 日

著者

目次

はじめに	3
第1章 電池と電源	7
第1節 電池電圧判定機の製作	8
第2節 試験用電池箱について	20
第3節 (乾電池用) 電子負荷装置の製作	22
第4節 充電式電気カミソリとニッケル水素電池	29
第5節 ニッケル水素電池の利用に関する中間報告 (その2)	33
第6節 電圧調整器の製作	39
第2章 教育と教材	41
第1節 既製の乾電池教材の現状を考える	42
第2節 乾電池キットの調達について	46
第3節 鉛蓄電池のカットモデルの製作	61
第4節 鉛蓄電池のリサイクルを考える	64
第5節 モールス電信機の製作	68
第3章 ラジオとオーディオ	77
第1節 ゲルマラジオの製作を振り返って	78
第2節 2石直結ラジオの製作	83
第3節 イヤホンプラグの使い方を考える	88
第4節 ラジオ受信機のスイッチ付きボリュームの得失を考える	91
第5節 大学における真空管アンプ製作の活動に参加して	95
第6節 バスレフ型スピーカーの使い方を考える	98
第7節 真空管保管箱の製作	100
第4章 施設訪問と未来への心構え	105
第1節 “真空館”の近況を考える	106
第2節 “真空館”の近況 (その4) 「真空館－萩原コレクション－2002年版」も完成	107
第3節 “真空館”の近況 (その6) 2011年8月8日の訪問の報告	110

第4節	三田無線研究所の現状	113
第5節	UEC コミュニケーションミュージアムの訪問	116
第6節	電子工作の永続を目指して	118
まとめ		121
著者の経歴と業績		123

第1章 電池と電源

著者は、これまで、燃料電池の材料に関する研究を中心に仕事をしてきました。これと並行して、乾電池やニッケルカドミウム電池といった実用電池にも関わってきました。ただ、実用電池との関わりは、著者の仕事よりはむしろ、趣味と実益に結び付いています。この領域に属するものを第1節から第4節で取り上げました。これらは比較的容易な電子工作です。特に目新しいものはありませんが、役に立つ機器や手法です。第5節は著者が現在使用しているニッケル水素電池に関する比較的新しい報告です。日々の使用でデータが蓄積されるので、状況を報告することにしました。電子工学の分野における技術革新の結果、多種多様な（直流）電源が手頃な価格で市販されるようになったこともあり、最近では電源を自作する機会が減りました。このような状況の下、電源に関する製作は最後の第6節だけになりました。内容的にはありふれたものですが、意外に使える手法かも知れません。

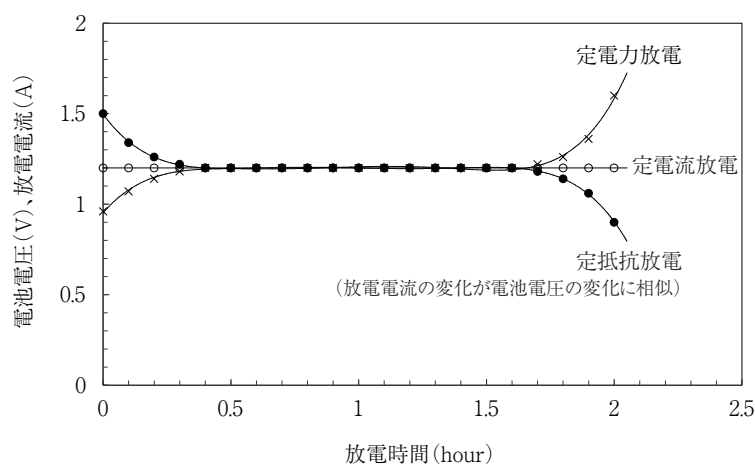
第1節 電池電圧判定機の製作

ちょっとした工夫で大きな効果

はじめに

乾電池は便利な電源ですが、そこから取り出せる（電気）エネルギーに限界があります。このエネルギーの大きさの一つに Ah（アンペア・アワー）で表される容量があります。例えば、電池を 1 A の電流で放電した場合、仮に 1 時間放電できたとすると、この電池の容量は $1 \text{ A} \times 1 \text{ 時間} = 1 \text{ A 時} = 1 \text{ Ah}$ になります。この容量を決めるための試験が容量試験です。この試験における放電の条件は、実際には定抵抗放電、定電流放電、定電力放電の 3 つがあります。

これらの場合の電流と時間の関係を図 1 に示します。定抵抗放電では所定の大きさの抵抗（負荷抵抗）を繋いで電池を放電します。負荷が簡便で安価な方法です。放電の初期は電池の電圧が高いため負荷抵抗を通して比較的大きな電流が流れ、時間の経過とともに電圧が低下すると電流が減少します。電池の電圧が予め決めた値（放電終止電圧、0.8 ～ 1.0 V）まで低下したとき、電池の放電を停止します。定抵抗放電における放電の形態（モード）は電池の実際の使用条件に近いのですが、時々刻々変化する電流を積算（積分）して容量を決定する必要があり、電池の研究分野ではあまり使われません。これと異なり、近年では電子負荷装置の普及に伴って定電流放電が多用されるようになりました。この放電では電流が一定ですから、放電の開始から終了までの時間が分かれば、電池の容量を簡単に計算できます。また、特殊な場合として、定電力放電があります。この放電では電池から取り出す電力を一定にし



いずれの場合も放電時の電池の電圧が●に従って変化すると仮定し、放電終止電圧を 0.9 V に設定した。また、定抵抗放電の負荷抵抗は 1Ω 、定電力放電の放電電力は 1.44 W に設定した。

図 1 放電の形態による放電電流の違い

ます。その結果、放電の初期は電池の電圧が高いので電流が小さいですが、放電に伴って電圧が下がると電流が大きくなります。そのため、時々刻々変化する電流を積算（積分）して容量を決定する必要があります。また、放電のための電子負荷装置が高価です。

以上の様な点をから、電池の容量を調べるときの放電の形態は、定電流放電が適しているとして著者は考えています。今回は、このために使える簡便な方法を紹介します。

電池の容量の測定に関する簡易な技術の動向

本題に入る前に、電池の容量を測定するための簡易な技術の動向を紹介します。著者が調べた範囲では、“ニッケルカドミウム電池の容量計”がありました^[1]。ここでは電池を定電流で放電し、IC（コンパレータ、比較回路）を使って電池の放電終止電圧を判定しています。放電電流を制御するトランジスタに電池を直接繋ぐことでトランジスタの発熱を抑え、放電回路の簡素化を図っています。放電時間の測定に電子式のタイムカウンタを、また、タイムカウンタと放電の制御（開始、停止）にラッチングリレーを使っています。電池の容量を測定するための機能が一台の装置にまとめられており、利便性は高いと思われますが、ICを駆動するための電源とリレー（継電器）などを駆動するための電源がそれぞれ必要で、しかも、タイムカウンタが高価なため、装置の製作費が高くなるようです。その後、この改良型とも言えるものが紹介されました^[2]。ここでは、電池の放電の制御にFETを使い、デジタルICを使ってRSフリップフロップを構成するなどして、5Vの単一電源で回路が動くように工夫されています。しかし、ここでも高価なタイムカウンタが使われています。

それらと対照的に、CQで発表された装置では、電池の放電終止電圧を所望の値に設定することが難しい点がありますが、製作費は安くなるようです^[3,4]。ここでは定電流放電をやめ、リレーを介して、電球を負荷にして電池を放電しています。放電にともなって電池の電圧が低下すると、リレーがONからOFFに移行します。そこで、リレーに目覚まし時計を繋いでONからOFFまでの時間を計ります。

電池の容量を測定するため、著者は市販の機器を探しましたが、見つめることが出来ませんでした。電池の容量試験では、多くの場合、特注の機器が使われているようですが、高価な買い物になるようです。そこで、既製の直流電源を補助電源として使い、主要な部分を自作することにしました。しかし、機器の構成方法によって製作費用が異なります。機器の製作費用と性能のどちらを重視するかは難しい問題ですが、今回の製作では、それらの均衡を図ることを重視しました。

定電流放電電池試験装置

今回検討した電池試験装置の回路を図2に示します。PS1が電池を放電するための定電流電源です。実際には、著者の手元にあった菊水電子工業（株）製のPAB 18-5.5型直流安定化電源を使いました。この電源は定電流機能付きで、出力電流が最大5.5A、電圧が最大18Vです。これに電池を繋いで放電する場合、電源の出力の+端子に電池の負極（-）を、また、-端子に電池の正極（+）を繋ぐ必要があります。この結果、電源の極性（+、-）と負荷（電池）の極性が逆転します。この様子を示した図が図3の（a）です。このような状態では、電源が正常に動作しないことがあるため、保護抵抗（R11）を挿入しました。この様子を示した図が図3の（b）です。R11の抵抗値を16Ωとして0.25Aの電流で電池を放電する場合、抵抗の両端に $16 \times 0.25 = 4$ Vの電圧が発生します。乾電池の電圧は約1.5Vですから、 $4 - 1.5 = 2.5$ Vの電圧が電源の出力端子の電圧になります。この状態であれば、電源の出力の極

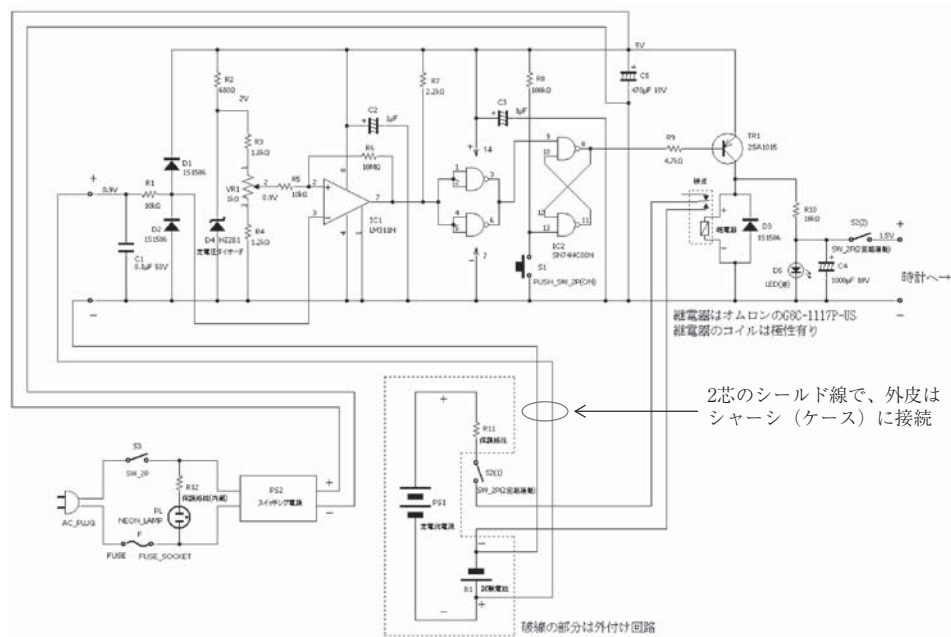


図 2 電池試験装置の回路

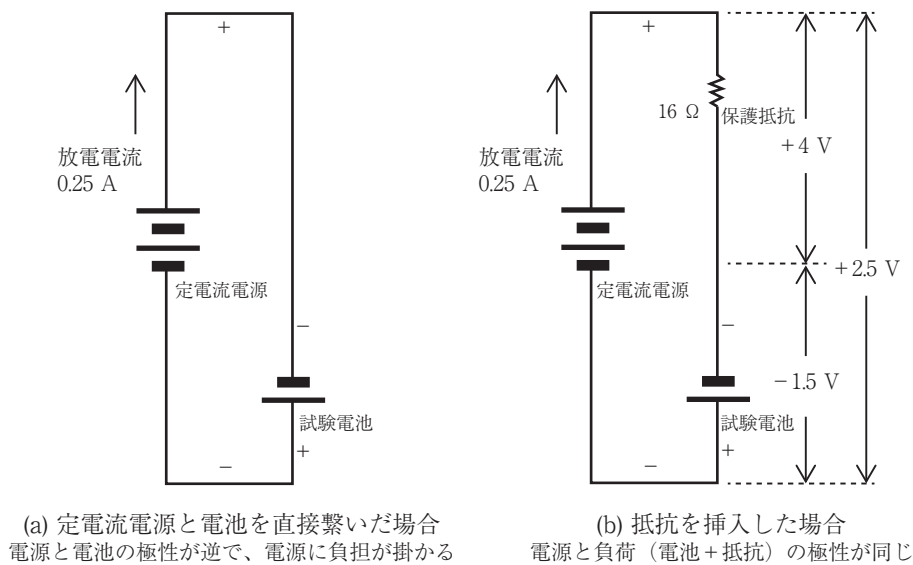


図 3 電池の放電方法

性と抵抗と電池を合わせた負荷の極性が一致し、電源は正常に動作するはずですが。定電流放電で電子負荷装置を利用できないときは、このような工夫が有効です。

ところで、定抵抗放電では電池の電圧が 0 V になれば電流が 0 になり、電池の放電が停止します。しかし、定電流放電では電源が電池の電圧に関係なく電流を流し続けるため、過放電によって、転極（正極と負極の極性の逆転）や液漏れが起きる恐れがあります。また、電池の実用上の容量を調べる場合、通常 0.8 ～ 1.0 V に設定した電圧で放電を終了する必要があります。

ります。このための電圧の監視装置が今回製作した電池電圧判定機です。また、この判定機は電池の放電時間 (h) を計測する機能を備えており、放電電流 (A) から、電池の容量 (Ah) が分かります。

以下に、この電池電圧判定機の仕組みを説明します。D4は定電圧ダイオード(HZ2B1)です。このダイオードは5 mAの電流で1.9～2.1 Vの定電圧を発生します。この電圧をR3、VR1、R4で分割し、放電終止のための基準電圧 (0.9 V) を得ました。この電圧と電池の電圧をIC1 (LM311N)で比較しました。このICはコンパレータ用の代表的な品種で、出力端子(7番ピン)がオープンコレクタになっています。そのため、プルアップ抵抗 (R7) を繋ぎました。R1とD1、D2はIC1の(過電圧)保護用です。また、R5とR6でIC1の動作に履歴(ヒステリシス)特性を与えました。この結果、IC1の動作が安定しました。また、電池の電圧と基準電圧の比較において誤差(約5 mV)が生じましたが、使用上の問題は認められませんでした。IC2はNAND回路が4つ入ったC-MOSです。今回は手持ちのSN74HC00Nを使いました。この型のICは出力が0～VDD(電源電圧)まで広範囲に変化するため、継電器(リレー、5 V用)を駆動するTR1の制御回路が簡単になりました。IC2の内の2つでインバーターを構成し、残りの2つでRSフリップフロップを構成しました。インバーターはIC1からの信号を反転するために、また、RSフリップフロップは、電池の電圧が基準電圧より低くなったときに、継電器がONからOFFの状態に1回だけ動作するように規制を掛けています。また、電池の電圧が基準電圧よりも高いときにS1を押せば、継電器はOFFからONになり、電池の放電が始まります。図4がこれらの動作を示したタイミングチャートです。D3は継電器の動作に伴って発生する過電圧を吸収します。TR1のコレクタからR10を通して電流を取り出し、時間を計測するための時計に給電しました。ただ、この電圧は5 Vと高いため、直接の給電はできません。そのため、LED (D5) の順方向の電圧特性を利用して、5 Vの電圧を1.6 Vまで下げました。時計の動作電圧は1.5 Vですが、使用上の問題は起きていません。しかし、この回路の負荷である時計はステッピングモーターで動いているようで、時計に供給される電流は一定ではありません。秒針の1秒毎の動きに合わせて、電圧が変化(脈動)しました。C4はこの変化を減らすためのものです。なお、D5は電池の放電準備が整ったことを示す表示灯を兼ねています。PS2は電池電圧判定機の電源です。これは出力電圧が5 Vのスイッチング方式の市販のACアダプター (BUFFALO Model No:UL110-0515) です。

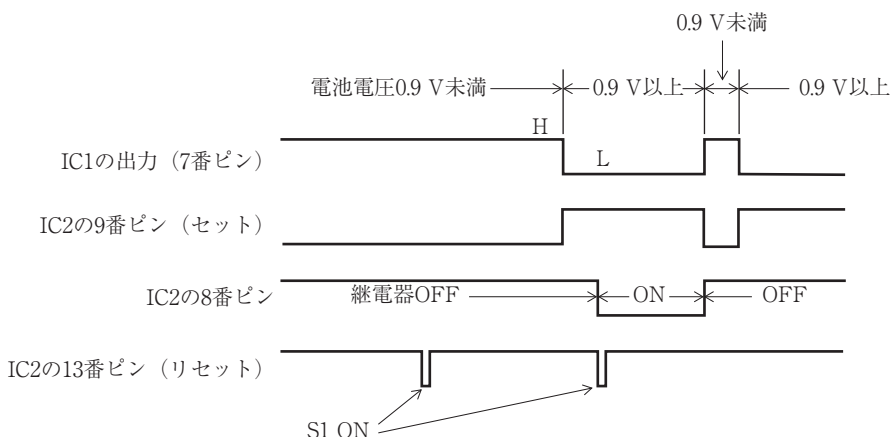


図4 タイミングチャート

説明が遅れましたが、今回検討した電池試験装置では、図2の下部の破線の内の回路を外付けにしました。定電流放電による電池試験装置は全体としてかなり複雑になりますので、本機は試作機でもあり、とりあえず最小限必要な部分の製作に留めました。また、このようにすることで、既存の機器の活用、製作費用の圧縮、製作時間の短縮を図ることが出来ました。

電池電圧判定機の組み立て

電子回路の組み立てではサンハヤトの万能基板 ICB-503 を使いました。この基板は厚さが 1.6 mm で 95 × 72 mm の面（取り付け穴の位置では 85 × 62 mm）を持っており、面積にかなり余裕があります。そこで、電源の AC アダプターも基板に取り付けました。その結果、基板の上部は写真1のようになりました。見た目には部品が整然と並んでいますが、実際には部品の配置は最適化されていません。試作機としてはこれでもよいでしょうが、今後は改善の必要がありそうです。

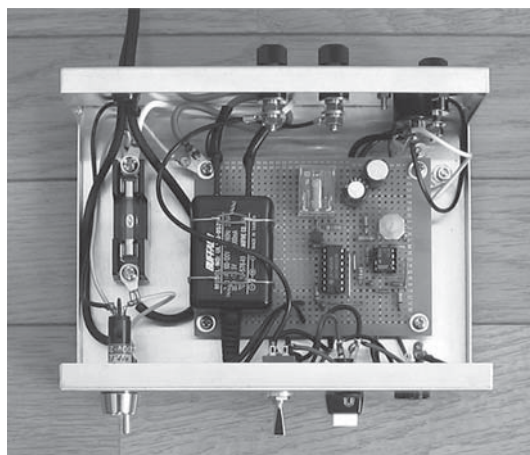


写真1 上から見た判定機の内面

本機の筐体はテイシン電機の TE-317 メタルケースです。カバーの材質は鉄で、寸法は巾 160、奥行き 130、高さ 74 mm で、板の厚さは 0.8 mm です。また、シャーシの材質はアルミで、寸法は巾 158、奥行き 120、高さ 70 mm で、板の厚さは 0.8 mm です。図5がシャーシ加工の展開図です。この図にはゴム足をシャーシに取り付けるための穴が省かれています。なお、シャーシの前部と底部については図に示した通りですが、後部については、実際のシャーシの上下が逆になっていることに注意して下さい。シャーシ加工の大半は穴開けですが、部品の回転を避けるために、一部の穴は楕円に加工しました。また、楕円の形状は部品毎に異なっており、部品に合わせて加工しました。図6は実際に加工したシャーシの複写です。今回の加工では穴の接近やシャーシ内の部品配置の偏りなどが発生しました。この点についても今後改善の必要がありそうです。

写真3は電池電圧測定用のコードのプラグとジャックです。この型の部品は既に生産中止になっています。ただ、同等の機能のものが市販されています。また、判定機から時計への給電のためのコードの製作では、ダミー電池を利用しました（写真4、上、左側）。この電池は大阪の日本橋にある共立電子産業で売られています。正極と負極を繋いでいる金属線を切断し、それぞれに DC プラグ付きのコードをハンダ付けしました。更に、この部分をエポキ

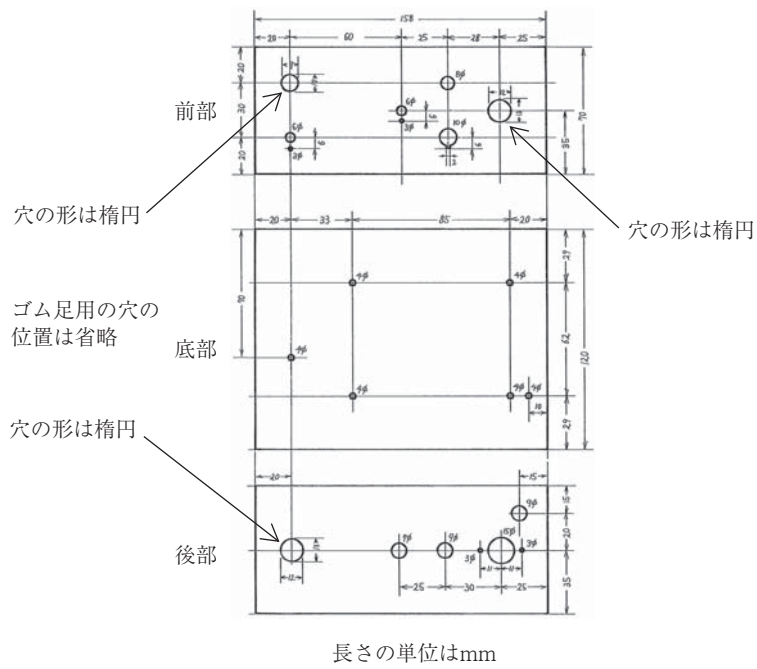


図5 シャーシ加工の展開図

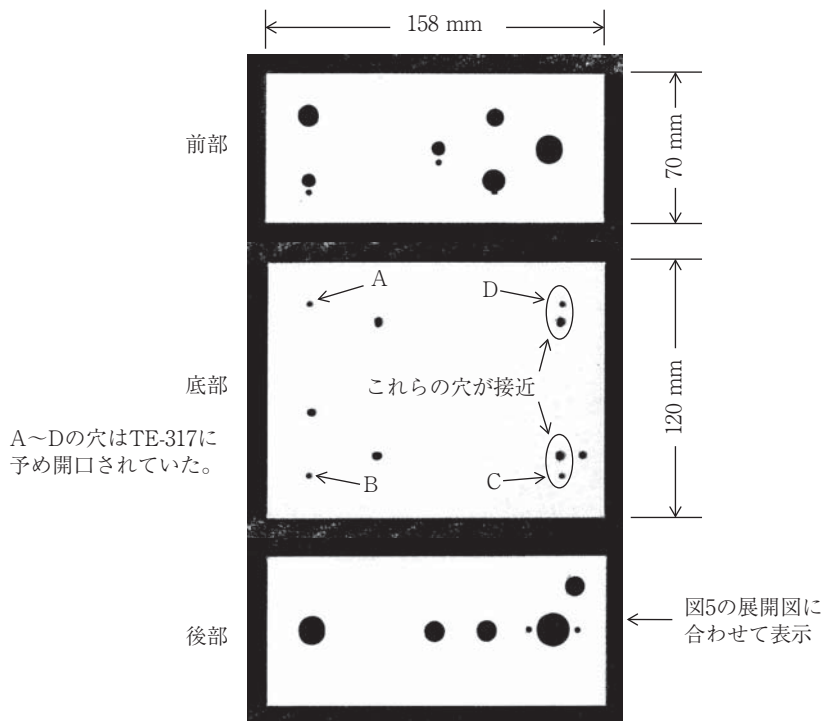


図6 実際に加工したシャーシ

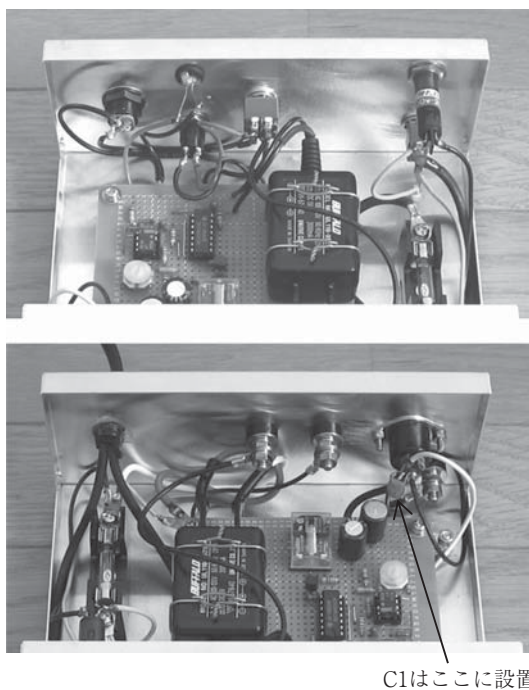


写真2 判定機内の前部（上）と後部（下）



写真3 電池電圧測定用のクリップ付きコードのプラグ(上)とケースのジャック(下)

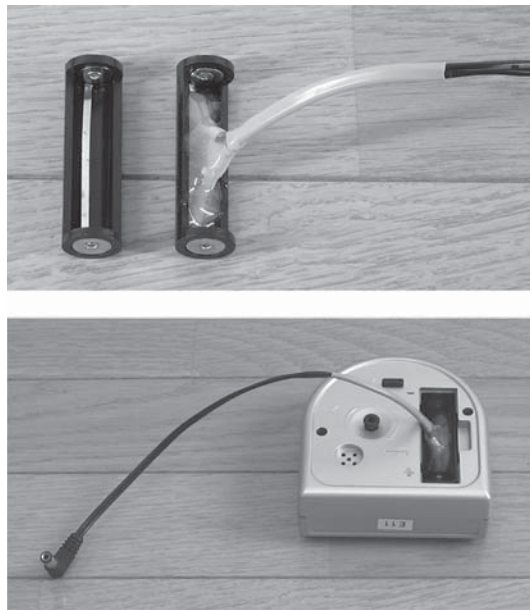


写真4 ダミー電池の改造（上）と時計への組み込み（下）

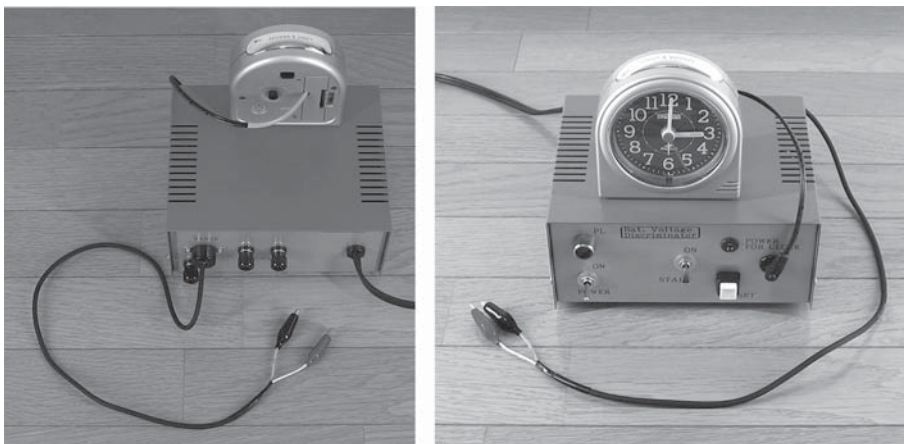


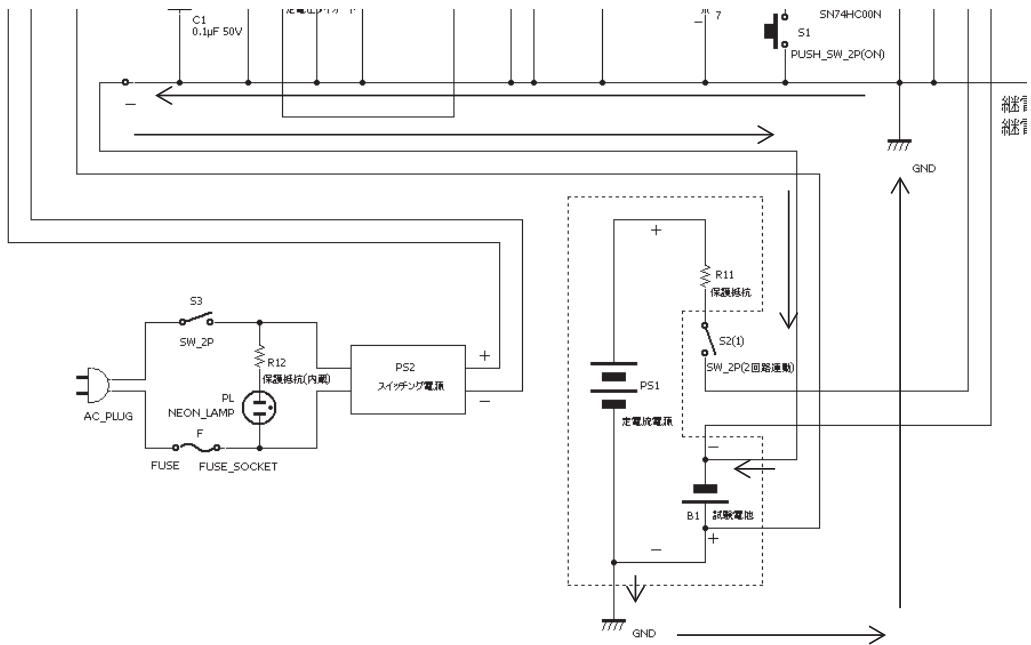
写真5 時計とコードを付けた判定機の前（右）と後（左）

シ系の接着剤で固めました（写真4、上、右側）。このようにして作ったコードを時計の電池ボックスに挿入しました（写真4、下）。また、電池ボックスの蓋の一部を開口し、コードを通しました（写真5、左）。電池電圧判定機を使わないときに、時計を本来の目覚まし時計として使うことが出来るようにとの目論見から、そのような方法を採用しました。

今回は安全性の向上を図るため、判定機の回路とケースを電氣的に分離しました（図7参照）。この結果、判定機は電氣的な雑音の影響を受け易くなりました。その対策として電池の端子電圧を測定するためのコードに2芯のシールド線を使い、更に、C1を付けました（写真2、下）。なお、表1に判定機で使用できる部品をまとめました。手持ち部品を活用した結果、表に記載されている部品と図2に示されている部品の仕様は必ずしも一致していませんが、製作の参考にはなると思います。

表 1 電池電圧判定機の部品

品名	仕様	数量
ケース	TE-317 (テイシン電機)	1
スイッチング電源 (PS2)	DC5 V 1.5 A (BUFFALO Model No:UL110-0515)	1
コンパレータ IC (IC1)	LM311N	1
ロジック IC (IC2)	SN74HC00N (C-MOS、NAND4 個入り)	1
IC ソケット	DIP、8 ピン、14 ピン	各 1
トランジスタ (TR1)	2SA1015	1
スイッチングダイオード (D1、D2、D3)	1S1586	3
定電圧ダイオード (D4)	HZ2B1 (2 V 用)	1
発光ダイオード (D5)	TLRA 150-A (赤色)	1
抵抗	(1/4W 型)	
R1、R5、R10	10 k Ω	3
R2	680 Ω	1
R3	1.8 k Ω	1
R4	1.2 k Ω	1
R6	10 M Ω	1
R7	2.2 k Ω	1
R8	100 k Ω	1
R9	4.7 k Ω	1
キャパシタ		
C1	0.1 μ F 50 V	1
C2、C3	1 μ F 25 V	2
C4	1000 μ F 10 V	1
C5	470 μ F 10 V	1
半固定抵抗 (VR1)	1 k Ω	1
ヒューズソケット		1
ヒューズ	0.5 A ガラス管入り	1
パイロットランプ	ネオンランプ (保護抵抗付き)	1
押しボタンスイッチ (S1)	押しして ON	1
スイッチ (S2)	1 接点 (6 A 125 V) 2 回路	1
スイッチ (S3)	1 接点 (6 A 125 V) 1 回路	1
リレー	G6C-1117P-US (オムロン) 5 VDC	1
プラグ付き AC コード	7 A 125 V	1
ターミナル	陸軍式 (黒)	3
プラグ		1
ジャック		1
DC プラグ	コード付き	1
DC ジャック		1
ゴムブッシュ	大、小	各 1
万能基板	ICB-503 (サンハヤト)	1
サポート	高さ 10 mm	4
ミノムシクリップ	小 (赤、黒)	各 1
ダミー電池	単 3 用	1
時計		1
その他	ビス、ナット、平ワッシャー、バネワッシャー (各 M2.6、M3、M4 用)、シールド線 (2 芯)、錫めっき線、ビニル被覆線 (単線、撚線)、熱収縮チューブ、テブラ、など	少々



定電流電源と電池電圧判定機がー接地の場合、それぞれの筐体が接触すると、矢印のように電流が流れて、試験電池が短絡状態になる。このような短絡事故を避けるためには、定電流電源、電池電圧判定機のいずれかを非接地にする必要がある。

図7 電池試験装置の事故の可能性

調整

使用に先立って電池の放電終止電圧を設定する必要があります。今回はこの電圧を 0.9 V にしました。まず、VR1 を回して IC1 の入力電圧 (R5 を経て 2 番ピン) を 0.9 V より低くしました。次に、乾電池と可変抵抗 (10 kΩ) を組み合わせて作った 0.9 V の電圧を、デジタル式のテスターで電圧を確認しながら、電圧測定端子 (R1 を経て IC1 の 3 番ピン) に入力しました。また、この状態で S1 を押してリレーを ON の状態にしました。リレーの動作は音で分かります。最後に VR1 を回して電圧を高くすると、0.9 V 付近でリレーが OFF の状態になりました。このように調整の作業は至って単純ですが、使用した VR1 が 1 回転型であったため、実際には電圧の微調整に苦労しました。そのため、VR1 には多回転型を使うのがよいと思います。

使用方法

著者の場合、単 3 型の電池を試験する機会が多いので、これを例にして説明します。著者はこの型の電池の放電電流を通常 0.25 A に設定しています。図 2 に示した回路で電池を放電する場合、定電流電源に 16 Ω の保護抵抗 (R11) を繋ぎました。この抵抗での電圧降下は 4 V で、消費電力は 1 W です。抵抗に大きな電流を流す場合を想定して、R11 の許容電力は 10 W にしました。抵抗の後に電池電圧判定機の S2 とリレーの接点が繋がります。試験の準備の段階では S2 を OFF にします。そして、試験の全ての条件が整った後に S2 を ON にします。原理的には S2 を省くことができますが、著者は試験の安全性を高めるために S2 とリレーを併用するのがよいと考えています。リレーを経た後、試験する電池の負極から正極に向かって電流が流れるように結線します。最後に電池の正極を定電流電源の－端子に繋ぎます。ま

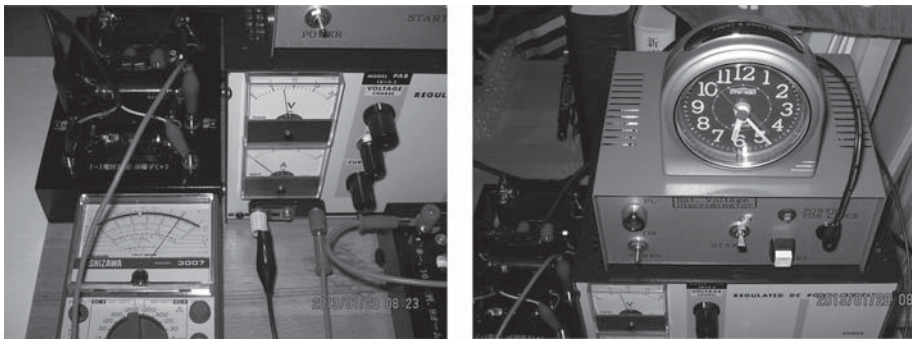


写真6 電池試験の様子：電池電圧判定機付近（右）と電池ボックス付近（左）
テスター（回路計）を電流計として使用

た、電池の電圧を測定するために、判定機の後部のジャックに専用のコードのプラグを差し込み、コードの先に付けた2つのクリップをそれぞれ電池の正極と負極に繋ぎます。ここでの結線を容易にするため、市販の電池ボックスを改良して使いました。写真6が電池試験の様子です。なお、定電流電源に付属している電流計の最大値が6 Aで、しかも目盛りが荒かったので、放電電流の正確な読み取りが困難でした。そのため、別の電流計を挿入しました。

放電時間の計測の開始時刻は、12時00分がよいと思います。試験の都度、時刻合わせをする手間が掛かりますが、時間の読み取りは容易になります。ただ、時計が12時間計であるため、12時間を超える放電では12時間を超えたことを測定者が確認する必要があります。電池ボックスに入れた電池の電圧が0.9V以上であれば、S1を押すとリレーが動作し、数秒後にLEDが点灯します。この電池試験のスタンバイ（待機）の状態です。S2をONにすれば、電池の放電と時計の動きが始まります。

放電にともなって電池の電圧が低下し0.9 Vを下回ると、判定機が働いて電池の放電と時計の動きを止めます。これらを確認したら、S2をOFFにします。時計の針の位置から放電時間が分かります。

表2 ニッケル水素電池の放電時間の変化

電池の番号	2010年9月の結果	2011年12月の結果
No. 1	6時間52分	6時間26分
No. 2	6時間12分	6時間19分
No. 3	6時間40分	6時間24分
No. 4	6時間41分	6時間44分
平均	6時間36分	6時間28分
容量	1650 mAh	1620 mAh

注：電池の詳細

- SANYO 製単3型ニッケル水素電池
- 原産国：日本、型式：HR-3UA、公称電圧：1.2 V
- 公称容量：2000 mAh（最小値）、2002年12月製造
- 2010年1月使用開始
- 充電条件
- SONY 製 BCG-34HLE 標準充電器（室温）、4本一括
- 放電条件
- 250 mA 定電流放電（室温）、放電終止電圧：0.9 V

実施例

4 個 1 組で充電して使っている単 3 型のニッケル水素電池のそれぞれの容量を調べました。結果を表 2 に示します。2010 年の 9 月の結果は、本機を試作する前のもので、定電流放電時の電池の電圧の経時変化を実測し、放電開始から 0.9 V までの間の時間を求めました^[5]。その後の使用で電池の充放電を 20 回ほど繰り返し、今回製作した判定機を使って、2011 年 12 月に前回と同じ条件で放電時間を調べました。今回は放電時間の測定だけでしたので、前回に比べて簡単に済みました。

まとめ

この容量試験のための装置の構成自体に問題はなかったのですが、電池を定電流で放電させるために使った PAB 18-5.5 型直流安定化電源に問題が見つかりました。実のところ、この電源はリサイクル品を扱う業者から購入した中古品で、電流を設定するための可変抵抗に不具合がありました。そのため、僅かですが電流に経時変化が認められました。また、出力電流が最大 5.5 A で、かなり大容量であるため、その可変抵抗だけで電流を微調整することが困難でした。

通常、著者は放電電流を単 1 型の電池で 1A、単 2 型で 0.5 A、単 3 型で 0.25 A、単 4 型で 0.1 A、単 5 型で 0.05 A に設定して電池の容量を調べています。これらの電流の値に明確な根拠がある訳ではありませんが、それぞれの型の電池の用途を考えると、著者は経験的には妥当な値になっていると考えています。これらの電流の値に着目すると、PAB 18-5.5 型直流安定化電源の代わりを探す必要がありそうです。

参考文献

- ^[1] 中山昇, 「電子工作シリーズ 身近な電子工作ガイド」, 9-12 頁, “1.2 ニッケルカドミウム電池の容量計”, 2003 年 9 月, CQ 出版社.
- ^[2] 下間憲行, “即席回路 (27): 充電できる 2 次電池の容量がわかる定電流放電回路”, トランジスタ技術, 2011 年, 12 月号, 108-109 頁.
- ^[3] 中山昇, “自分で計る乾電池の特性”, CQ, 2011 年, 7 月号, 76-79 頁.
- ^[4] 中山昇, “100 円ショップの単 4 電池をテスト”, CQ, 2011 年, 10 月号, 98-101 頁.
- ^[5] S. Tanase, “An Interim Report on the Actual Use of Commercial Ni-MH Batteries”, ITE-IBA Letters, 3, [4], 41-45 (2010).

第2節 電池電圧判定機などと併用される 試験用電池箱について

はじめに

単1や単3といった円筒型の電池の試験などでは、通常、電池ボックス（箱）を使います。著者の場合、単1から単5までの電池を対象に残存容量の測定などを行ってきましたが、従来は、既製の電池箱をそのまま使っていました。これでも支障は無かったのですが、作業を円滑に進めるために、電池箱の固定や接続端子（ターミナル）の設置といったことが必要であったと考えています。そこで、この点を勘案し、既製の電池箱を集めて、“試験用電池箱”を作りました。この内容を簡単に紹介します。

製作の概要

今回の製作では、加賀金属の富士シャーシ販売部の製品の中から、幅 180 mm、奥行き 120 mm、高さ 40 mm、板厚 0.8 mm の FL-4(R) という型番のアルミシャーシを選び、これに単1から単5までの5つの電池箱をまとめて載せました。この結果、ターミナルなどの部品数が減り、製作費が節約出来ました。図1が試験用電池箱の配線図です。

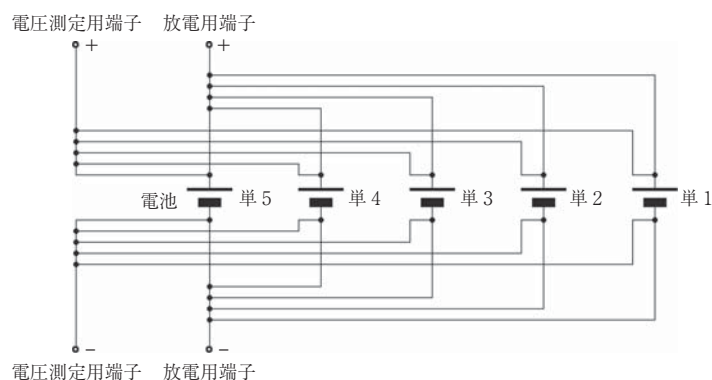


図1 試験用電池箱の配線

写真1と2に完成した電池箱の様子を示します。電圧測定用の導線と放電用の導線をそれぞれまとめて陸軍式ターミナルに繋ぐことが配線の要点です。また、導線の取り付け方を写真3に示します。正極に関しては個々の電池箱の端子に繋ぎ、負極に関しては、卵形ラグを利用して、バネの先端に繋ぎました。更に、補強のために、負極のラグと導線の接続部を2液混合のエポキシ樹脂で固めました。



写真1 電池箱の全景

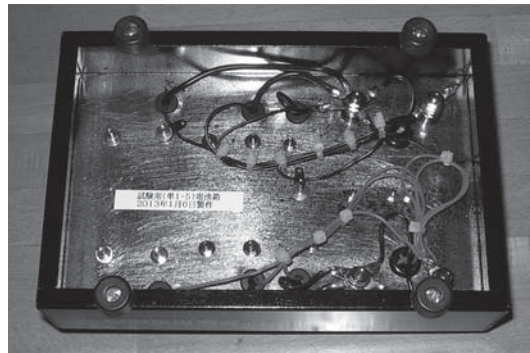


写真2 シャーシの内部

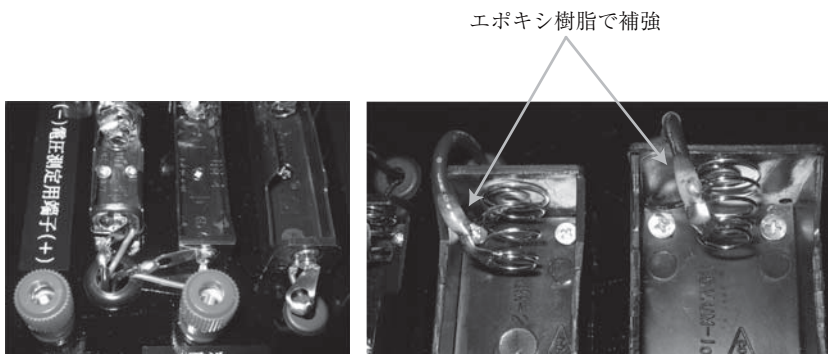


写真3 正極・負極の接続

使用上の注意

今回製作した電池箱では、シャーシは電池の正極、負極のいずれにも繋がっていません。電池の放電回路における漏電や短絡を避けるため、そのようにしました。しかし、その結果、電池箱は電氣的な雑音（ノイズ）の影響を受け易くなっています。電池箱が設置されている環境や測定の精度などによって、その雑音が問題になる場合は、漏電や短絡に注意して、シャーシと正極、或いは、シャーシと負極の接続、また、場合によっては、シャーシの接地を行って下さい。

第3節

使い易さを第一に考えた

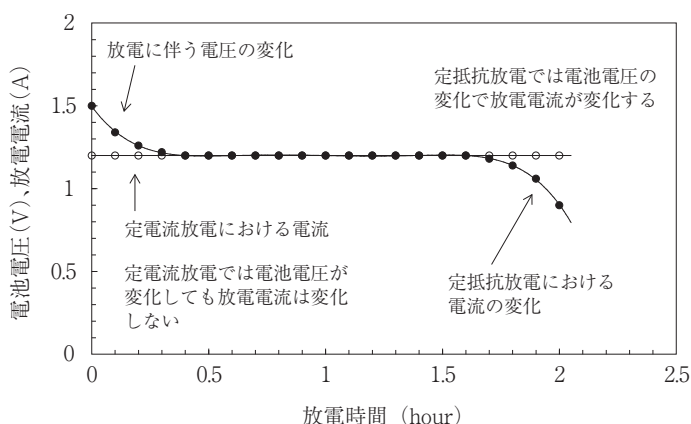
(乾電池用) 電子負荷装置の製作

はじめに

著者は2012年の4月から大阪電気通信大学の工学部環境科学科で（環境科学）実験を担当しました。この中に“マンガン乾電池の製作と評価”と題する課題があり、学生が実際にマンガン乾電池を組み立て、電池の放電特性を調べました。このような課題が提案された経緯と2012年度の結果については文献1に紹介されていますが^[1]、実のところ、その課題による実験は2013年度も行われ、この2年の結果を総括した結果、改良が望まれる点が幾つかあることが分かりました。

その中の一つが乾電池の（放電）容量を評価する方法です。ここで、この方法を説明します。電池の性能を示す指標にAh（アンペアアワー）で表示される容量があります。例えば、電池を1Aの電流で放電した場合、仮に1時間放電できたとすると、この電池の容量は1A×1時間=1A時=1Ahになります。この容量を決めるための試験が容量試験です。この試験における放電の代表的な条件に定抵抗放電と定電流放電があります。

これらの場合の電流と時間の関係を図1に示します。定抵抗放電では所定の大きさの抵抗（負荷抵抗）を繋いで電池を放電します。これは、負荷が簡便で安価な方法です。放電の初期は電池の電圧が高いため、負荷抵抗を通して比較的大きな電流が流れますが、時間の経過とともに電圧が低下すると電流が減少します。電池の電圧が予め決めた値（放電終止電圧、0.8～1.0V）まで低下したとき、電池の放電を停止します。定抵抗放電における放電の形態（モー



電池電圧が放電電流に依存するため、定抵抗放電と定電流放電で電圧の変化が異なるが、ここでは説明の便宜上、いずれの場合も放電時の電池の電圧が●に従って変化すると仮定し、放電終止電圧を0.9Vに設定した。また、定抵抗放電の負荷抵抗を1Ωに設定した。

図1 放電の形態による放電電流の違い

ド)は電池の実際の使用条件に近いのですが、時々刻々変化する電流を積算(積分)して容量を決定する必要があります。しかし、実際は放電の初期における電池の電圧(V_{start})と終期における電圧(V_{end})から平均電圧($V_{\text{average}} = (V_{\text{start}} + V_{\text{end}}) \div 2$)を求め、平均の放電電流($I_{\text{average}} = V_{\text{average}} \div R_{\text{load}}$, R_{load} は負荷抵抗の値)を求め、この電流と放電時間から容量を算出することがあります。“マンガン乾電池の製作と評価”では、このような簡便な方法で容量を算出しました。ただ、その簡便さとは裏腹に、数値の信頼性が欠けていることに注意しなければなりません。また、この簡便法は電池の研究の分野では、あまり使われません。この分野では、定電流放電による容量の算出が一般的です。この定電流放電では放電電流が一定ですから、放電の開始から終了までの時間が分かれば、電池の容量を精度良く計算できます。

そこで、従来の定抵抗放電を止め、定電流放電で電池の容量を求めることにしました。ただ、このためには、定電流の機能を備えた（電子）負荷装置が必要です。今回は、この電子負荷装置を試作しました。

電子負荷装置の回路

電子負荷装置に関しては既存の参考文献が多数ありますので、これらを参考にして設計しました。ただ、今回の装置では電池の放電に主眼に置いたので、低い電圧でも電流が流せるように、電流制御用の半導体に FET を使いました。このため、特に文献 2 と 3 が役に立ちました^[2, 3]。

図2が電子負荷装置の回路図です。装置の簡略化と費用の低減を図るため、電子負荷装置の電源を単3の電池4本にしました。これに伴い、誤差増幅に単一電源で動作する358型のオペアンプを使用しました。このアンプは、規格上は3V以上の電圧で動作します。電池4本の（公称）電圧が6Vですから、特に問題は無いと思います。念のため、R1、D1、D3（LED）を設置し、LEDの発光の様子から、電池の交換時期が分かるようにしました。2SK192A Y（FET）、R2、D2（定電圧ダイオード）から成る回路で基準電圧を作りました。また、ここでは2SK192A Y（FET）とR2が定電流源を構成しています。参考までにD2に使われた定電圧ダイオードHZ2B1の電流電圧特性の実測の例を図3に示します。この図から判断すると、放電に伴って電圧が変化する電池を電源とする場合、D2だけで基準電圧を作ることに無理があるようです。そこで、2SK192A YとR2から成る定電流源を加えました。図4から分かるように、この定電流特性は広い電圧範囲で良好でした。

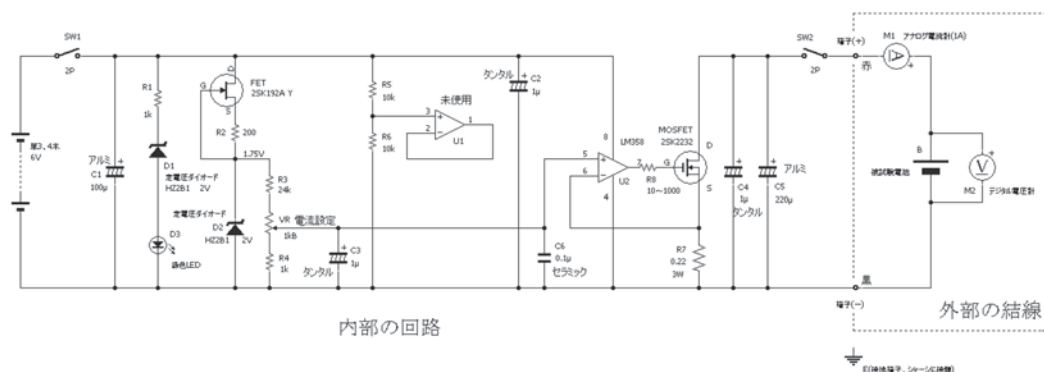


図2 電子負荷装置の回路図

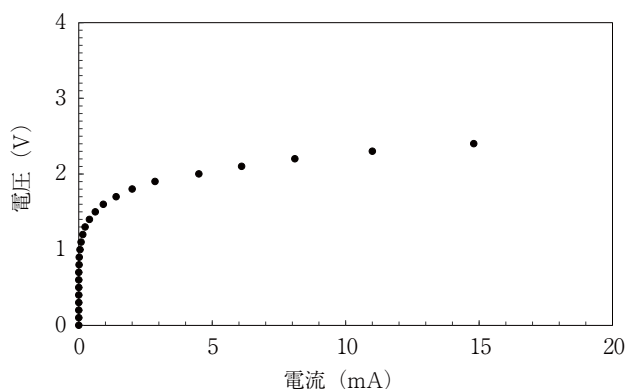


図3 定電圧ダイオード HZ2B1 の電流電圧特性の実測の例

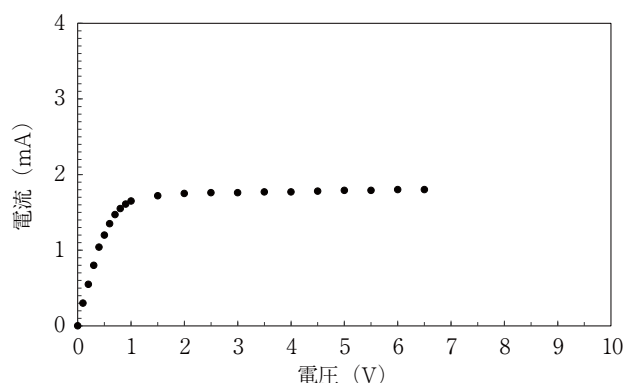


図4 2SK192A Y と 200 Ω のソース抵抗で構成した定電流源の電流電圧特性の実測の例

そのようにして得た電圧 (1.75 V) を R3、VR、R4 で分割して、LM358 の非反転入力端子 (+、5 番ピン) に加えました。ここで注意しなければならないことは、基準電圧への雑音の重畳や電子負荷装置の発振です。そのため、VR に近い位置に C3 を、また、LM358 に近い位置に C6 を付けました。ただ、雑音の重畳や発振の恐れが無ければ、どちらかのキャパシタを省いてもよいと思います。なお、電子負荷装置の (寄生) 発振を防ぐために、LM358 の出力 (7 番ピン) と 2SK2232 のゲートを直結せず、10 ~ 1000 Ω の抵抗 (R8) を入れることが推奨されています。しかし、オシロスコープや中波のラジオ受信機を使って調べたところ、発振が認められませんでしたので、今回は、R8 を省いて、直結しました。

今回試作した電子負荷装置で扱う電流 (300 ~ 600 mA) に合わせて、R3、VR、R4 の値が選定されています。ただ、これらの値を要求仕様にぴったり合わせることはなかなか難しいようです。このようなときは、抵抗を複数個組み合わせる必要があります。

2SK2232 のソースに入れた電流検出用の R7 (0.22 Ω) に電流が流れることで発生する電圧 (V_{R7}) と VR から出力された基準電圧を LM358 が比較し、2SK2232 のゲート電圧を制御することで、電子負荷装置の定電流動作が実現されます。0.22 Ω の抵抗に 600 mA の電流が流れた場合、0.13 V の電圧が発生し、加えて、FET が導通状態を維持するためにドレインとソースの間に電圧を印加する必要があるため、結果として、電池が放電できる電圧に下限があります。電子負荷装置を使う場合、この点に注意が必要です。

装置の組み立て

回路の組み立てではサンハヤトの万能基板 ICB-87 を使いました。この基板は厚さが 1.6 mm で 72×47 mm の面（取り付け穴の位置では 66×41 mm）を持っており、面積に若干余裕があります。写真 1 が基板上的の部品の配置を示しています。なお、今回は試作機ということもあり、部品の配置は最適化されていません。

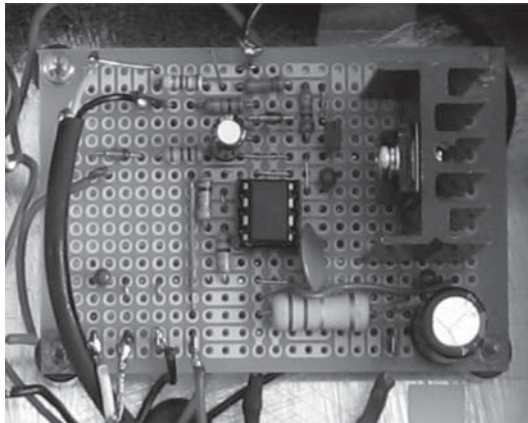


写真 1 ICB-87 上の部品の配置

本機の筐体は富士シャーシ（加賀金属（株））の FL-3R です。材質はアルミで、寸法は巾 150、奥行き 100、高さ 40 mm で、板の厚さは 0.8 mm です。現物合わせでシャーシを加工しました。加工後のシャーシの様子を写真 2 に示します。この加工の後、シャーシの外面を

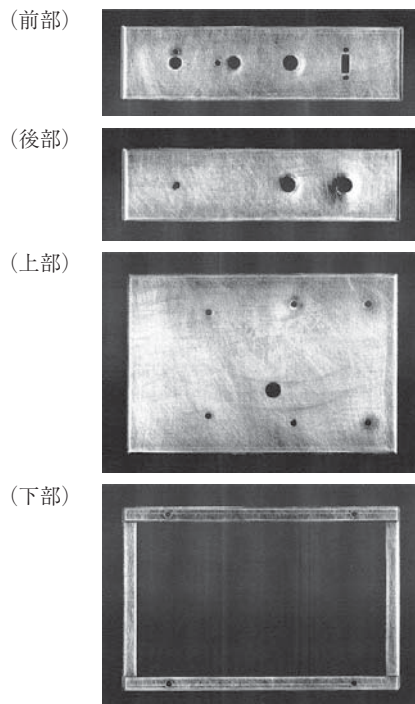


写真 2 シャーシの各部の様子

240 番の耐水研磨紙で磨き、黒のスプレーラッカーで塗装しました。

写真3がシャーシ内部の様子です。万能基板の大きさの割にシャーシ内部が広いですが、スイッチ、可変抵抗器などの取り付けを考えると、この程度の余裕が必要です。

写真4が万能基板と周辺の様子です。この写真における細い矢印は、シャーシ上に設置された電池ボックスから来る電流の流れを示しています。また、太い矢印は、電池の放電における電流の方向を示しています。なお、写真5が完成後の装置の外観です。

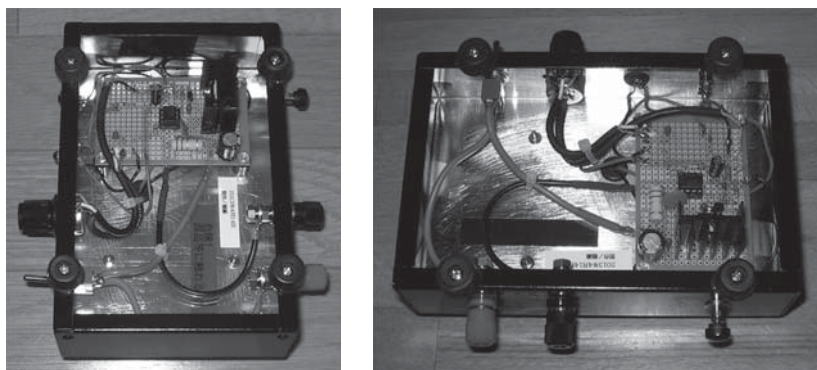


写真3 シャーシの内部の様子

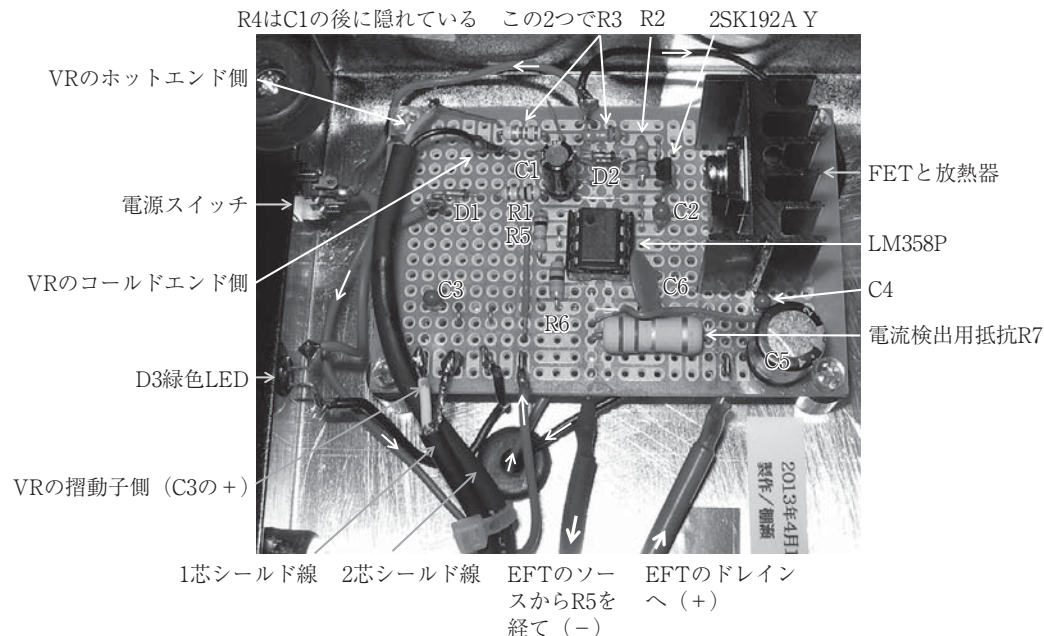


写真4 ICB-87 と周辺の様子



写真5 装置の外観

装置の限界

試作した電子負荷装置に関して実際に放電できる電流の範囲を調べたところ、300～580 mA になりました。当初、300～600 mA として設計したのですが、少し誤差がありました。ただ、誤差が小さかったので、今回はそのままにしました。

次に、電源の電池の電圧については3.5 V までは問題ないようです。電池の電圧が1本あたり0.9 V 以上あれば、その電圧を得ることが出来ます。また、パイロットランプとしてのD3の発光が3.5 V においてかなり暗くなったので、このLEDの発光から電池の交換時期が判断出来ると思います。

公称電圧1.5 Vの乾電池等を実際に放電する場合、放電中の電池の電圧の下限が問題になります。これについては、0.2 V までは問題ないようです。しかし、この電圧を下回ると、放電電流や電池電圧が変動したり、VRによる電流の設定が不能になったりします。

電子負荷装置に繋ぐ電池の数は通常1本ですが、直列に2本以上繋いだ電池や1本でも電圧が高い（リチウム）電池などを放電することがあるかも知れません。電圧が3 Vの電池を600 mAの電流で放電する場合、FETで約2 Wの熱が発生します。今回使ったFETや放熱器の仕様を考えると、3 V程度が電子負荷装置に繋ぐ電池の電圧の上限と思います。

使い方とまとめ

電子機器の操作に不慣れな学生が使うことを念頭に、試作した電子負荷装置の仕組みをかなり簡略化しました。それでも、戸惑うことがあるかも知れません。そこで、次頁のような取扱説明書を作成しました。なお、今回は簡単な仕様の試作品でしたが、機会があれば、少し工夫を加えた改良品を作りたいと考えています。

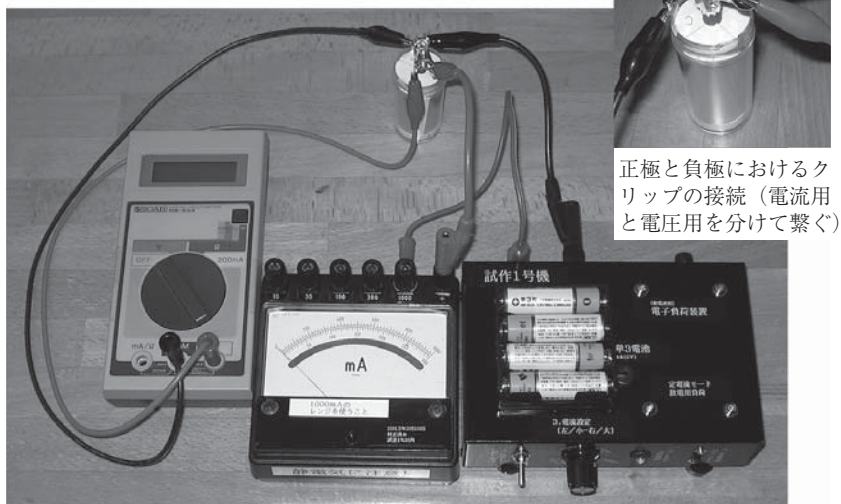
参考文献

- [1] 棚瀬繁雄，湯口宜明，“スチロール瓶を使った乾電池教材を利用した学生実験”，科学・技術研究，2，[2]，155-162（2013）。
- [2] 下間憲行，“即席回路（27）：充電できる2次電池の容量がわかる定電流放電回路”，トランジスタ技術，2011年，12月号，108-109頁。
- [3] 実験用定電流電源装置：http://www.i-berry.ne.jp/~nakamura/contents_2/Current_Sauce/Current_Sauce.htm。

電子負荷装置の使い方

定電流放電の実施方法（その1）

電子負荷装置の1. 本体電源が“OFF”、4. 放電が“終了”になっていることを確認してから、電池、電流計、電子負荷装置、デジタル電圧計を結線する。



定電流放電の実施方法（その2）



電池の電圧が 0.9 V を下回ったときを以て、放電を終了する。
放電終了後は必ず、4. 放電を“終了”にすること。

結線後、

- ① 電流計のレンジが 1000 mA (1 A) であることを確認する。
 - ② デジタル電圧計を作動させる。このときの値は、電池の開路電圧である。
 - ③ 電子負荷装置の1. 本体電源を“ON”にする。
 - ④ 2. LED の点灯を確認する。本体上部の電源（単3電池、4本）が正常であれば、LED が点灯する。
 - ⑤ 3. 電流設定の可変抵抗のダイヤルの指標を所定の電流値（500 mA）に合わせる。
- ここまでが放電開始前の準備である。
- ⑥ 4. 放電を“開始”に切り替える。
 - ⑦ 直ぐに、デジタル電圧計の値を記録する。この値が放電開始電圧である。
 - ⑧ 電流計の指示が所定の値（500 mA）になっていることを確認する。値がずれているときは、3. 電流設定の可変抵抗を（少し）回して、修正する。

第4節

電気カミソリを無理なく使い続けるための電池の交換

充電式電気カミソリとニッケル水素電池

はじめに

著者は充電式の電気カミソリの愛好者です。4～5年毎に1台の割合で購入し、また、廃棄しており、現在までに使った数は、たぶん10台を越えると思います。それらの電気カミソリではニッケルカドミウム（Ni-Cd）電池が使われていました。ニッケルは高価な材料ですが、カドミウムは比較的安価です。そのため、Ni-Cd 電池は価格の点で他の電池より有利です。なお、カドミウムは亜鉛を精錬する際の副産物として得られます。このことが安価な理由の一つです。しかし、カドミウムは環境に有害です。

また、Ni-Cd 電池は高温や過充電に強いと言われています。特に、充電状態で待機（トリクル充電）する非常灯では、電池が過充電されるだけでなく、温度も上がるため、Ni-Cd 電池が好んで使われています。なお、その用途では電池のリサイクルを徹底し、環境汚染の防止と資源の有効利用に努めています。

安価で耐久性に優れた Ni-Cd 電池ですが、実のところ、著者はこの電池を使った電気カミソリに多少不満を持っています。これらの電気カミソリのほとんどで、1回の充電でカミソリを使うことができる回数が充電を重ねる度に低下する現象が起きました。この最近の例を紹介します。

著者は2012年の年末に電気カミソリを購入しました。最初8時間充電し、カミソリを使い始めました。このとき、毎回3分程度の使用で約20回（約1ヵ月）ヒゲを剃ることが出来ました。これ以後、充電と使用を繰り返しました。この過程で使用回数が減りました。3ヶ月後に5回目の充電を行いましたが、このときは、1回の充電で電気カミソリを11回（半月）しか使うことができませんでした。毎回同じように（8時間以上）充電しているにもかかわらず、使用できる回数が半減しました。AC100 V で8時間充電すると1回3分の使用で約7回使うことができるという規格を満たしていますが、電気カミソリの使用回数の低下が気になります。過去においてもそうでしたが、このような状況から抜け出すために、Ni-Cd 電池をニッケル水素（Ni-MH）電池に交換しました。以下に、この顛末を紹介します。

電気カミソリと電池

今回検討の対象になった電気カミソリは、写真1に示されている RM-150 型です。2012年に中国で製造された日立の製品です。右にある 500 mAh の（公称）容量の単3型の Ni-Cd 電池が内蔵されていました。ちなみに、2013年の3月の結果ですが、この Ni-Cd 電池を RM-150 で8時間充電した後、電池から外して 250 mA の電流で放電したときの電池の容量は、660 mAh でした。この値は 500 mAh を越えており、数字の上からは電池の劣化は認められませんでした。

詳しく調べていないので断定はできませんが、電池の出力特性の低下（モーターを回すた



写真1 RM-150 型電気カミソリ（左）と内蔵の Ni-Cd 電池（右）

めに必要な大電流放電が難しくなること）や自己放電（電池に蓄えられた電気エネルギーが自然に消失すること）の増加が原因で電気カミソリの使用回数が減ったのではないかと著者は考えています。

いずれにせよ、電池を交換することにしました。交換用の電池は表1に示されているものです。当初は写真2の左に示されている2本1組の電池でしたが、この内の1本を先に別の電気カミソリで使ったので、今回は残りの1本を使いました。

ところで、使用の過程でこの電池の外装のプラスチック製の絶縁被覆が破損しました。そのため、破損したものを外し、新しく購入した熱収縮チューブを使って電池を修理しました（写真2の右参照）。ちなみに、この電池の定格容量は2400 mAh、最小定格容量は2230 mAhです。BCG-34HLE 型充電器で充電後の250 mA の定電流放電における容量が1640 mAhでした（2013年3月のデータ）。これまで240回の充電を経ているため、容量がかなり減りましたが、前記の Ni-Cd 電池より高い容量です。

これは参考です。実際には破損した古い絶縁被覆を取り除いた。

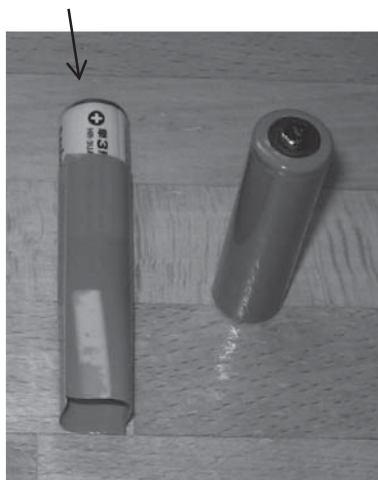


写真2 元の電池（左）と熱収縮チューブで修理した電池（右）

表1 ニッケル水素電池の使用履歴

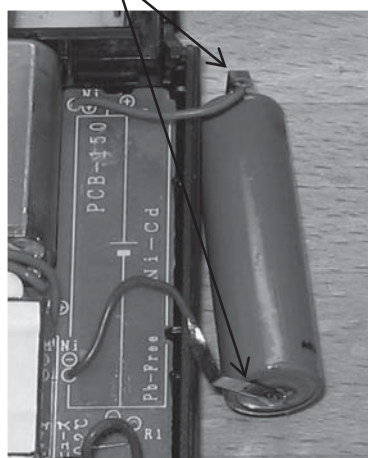
組み 番号	電池 番号	生産者	型式 (原産国)	容量 (mAh)	製造	使用開始	使用終了	充電 (回)	寿命の 原因	備考
	1	P社	HHR-3SPS (中国)	2400	2004年 12月	2005年 4月17日	2010年 5月15日	159	使用機器 の劣化	充電1～105回:FC43、 106-159:ES1380(充電電 流600mA)、105回まで は1と2を組んで使用、 ES1380(SS社充電式電 気カミソリ)とともに廃 棄
②	2	P社	HHR-3SPS (中国)	2400	2004年 12月	2005年 4月17日		240 (継続中)		充電1～105回:FC43、 106-191:BCG-34HLE(充 電電流360mA)、192- 195:SV-M6(充電式電気 カミソリ)、196-240:BCG- 34HLE

注：FC43はF社製、BCG-34HLEはSO社製の標準充電器

電池の交換

今回の検討における最も重要な作業が電池の交換です。まず、電気カミソ리를開口し、Ni-Cd電池を外しました。RM-150に内蔵されているNi-Cd電池には板状の導体がスポット溶接されていました。そのため、溶接部から導体を引き剥がす必要がありました。ただ、引き剥がしたままでは、電池の正極と負極に凹凸が残るため、この凹凸部をやすりで削って平滑にしました。写真1のNi-Cd電池はこの作業後のものです。また、ニッケル水素電池を繋ぐ場合、本来ならスポット溶接にするべきですが、あいにく溶接機が無かったので、半田(ハンダ)付けにしました。この方法はあくまでも代替法です。追試する方は必ずスポット溶接などの安全な方法を採用して下さい。なお、ここでは事実を述べているだけで、これらの作業による部品や機器の故障、事故などについて、著者は責任を負いません。

Ni-Cd電池で使われていた
板状の導体を再利用した。



充電用の変圧器

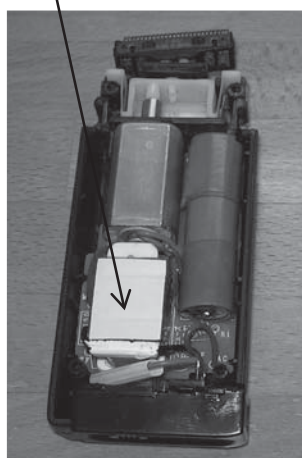


写真3 ニッケル水素電池をつないだ直後の様子(左)と絶縁用のビニルテープを巻いて収納した様子(右)

ここでは 60 W の半田鋺（ごて）と鉛（錫鉛合金）半田を使い、電池に導線を付けました。融点が比較的低いという特長を持つ鉛半田と容量の大きな鋺（ごて）を使って、短時間に半田付けすることが重要です。写真 3 に作業の一部を示します。最後にふたを閉めてしっかりネジ止めしました。電池を交換した後の RM-150 の外観は、交換前と全く変わりませんでした。なお、写真 1 に写っている RM-150 は、電池を交換した後です。

その後の RM-150 とまとめ

気になるのは電池を交換した後の RM-150 の利便性です。まず、カミソリの刃の動きが若干改善されました。電池の容量の増加に伴って、大電流放電が容易になったことに因ると思います。ただ、8 時間の充電後にカミソリを使ったところ、使用回数は 9 回でした。充電時間が 16 時間では 14 回、24 時間では 18 回になりました。毎回の使用時間が常に同じであるとは言えませんので、これらの結果は誤差を含みますが、変化の傾向は妥当と思います。

電池交換の結果、カミソリの使用回数は増えましたが、期待したほどではありませんでした。また、充電に要する時間が長くなりました。電気カミソリの使用回数は電池や充電器の性能に複雑に支配されているようです。なお、RM-150 に内蔵されている充電器は、小型の変圧器とダイオード（1 本）から成っています。充電回路は簡単な半波整流で、小さな電流で、電池を長時間充電するようになっています。そのため、短い時間では十分な充電を行うことができません。電気カミソリの充電器を改造すれば、短時間の充電が可能になりますが、改造のための費用や充電時の安全性などを考えると、現状のまま使うのが賢明なようです。

卒直に言って、今回の試みは、“アイデア倒れ”の感があります。“趣味の電子工作では、このようなことがある。”というのも真実です。ただ、これも貴重な経験の一つです。今回の経験を糧として、著者は今後も電子工作を続けるつもりです。

第5節

電池の実力と有効な使い方を紹介

ニッケル水素電池の利用に関する中間報告(その2)

はじめに

ラジオ、テープレコーダーなどの電子機器の小型化に合わせて、その電源の電池化が進みました。この結果、機器がコードレスになり、利便性が向上しました。このような技術の進歩は機器の利用者にとって大変有り難いですが、その反面、電池の多用によって電池代の負担が増えました。著者も実際、多数の電池を使っています。ただ、その電池の多くは充電できる電池です。この電池は乾電池より高価で、しかも充電器が必要です（写真1参照）。これらの初期投資と充電の手間が掛かりますが、使い方しだいで経済性が生まれます。更に、使い捨ての乾電池によるゴミの発生を減らすことができます。



写真1 現在使用中のFC43（左）とBCG-34HLE（右）充電器

その充電式の電池は、以前はニッケルカドミウム（Ni-Cd）電池でしたが、最近は、「有害なカドミウムを使っていない。」「Ni-Cd電池より容量が大きい（機器を長時間使用できる）。」などの長所を持ったニッケル水素（英語のNickel Metal Hydrideを略してNi-MHと書き、以後、主にこの語を用いる）電池へ置き換えが進んでいます。著者も以前はNi-Cd電池を使っていましたが^[1-3]、その老朽化による代替として、Ni-MH電池を使うようになりました^[4]。今回はこの電池の利用の現状を紹介し、その課題を整理します。

現在までのNi-MH電池の利用状況

著者に関する現在までのNi-MH電池の利用の状況を表1にまとめました。1999年以降、7組合計18本のNi-MH電池を使っています。組番号①の電池は公称容量が1400mAhでしたが、急速充電を100回以上繰り返した結果、容量が不足し、181回（7年）で使用を中止しました。1000mAhがNi-Cd電池の容量の限界であった時代に、1400mAhの容量のNi-MH電池は大

変魅力的でしたが、耐久性の点では問題がありました。

②の電池は容量が2400 mAhに増えました。この2本の電池の利用の経過はかなり複雑で、1～105回の間は2本1組で使いましたが、106回以降は1本を電気カミソリに転用しました。「Ni-MH電池より価格が安い。」、また、「高温環境下での耐久性が優れている。」などの理由で、電気カミソリでNi-Cd電池が使われています。しかし、著者の電気カミソリは、Ni-Cd電池の容量の制約から、1週間に1回以上充電する必要がありました。そのため、Ni-Cd電池をNi-MH電池に交換しました。これによって、電気カミソリの充電が半月に1回で済むようになりました。ただ、肝心のカミソリの本体が2010年5月に破損したため、本体とともにNi-MH電池を廃棄しました。Ni-MH電池の使用実績が159回になっていますが、実際には更に使うことができたと思います。このことは、②の2の電池が既に243回の充電に耐え、現在別の電気カミソリで使われていることから推察できると思います。しかし、2013年3月に行った容量試験(250 mA定電流連続放電)で、この②の2の電池の容量が1600 mAhに減っていることが分かりました。8年ほどの使用で容量が初期の容量の75%に低下したことになります。しかし、②の2の電池の使用を継続しています。

表1 ニッケル水素電池の利用状況(2013年4月現在)

組み 番号	電池 番号	生産者	型式 (原産国)	容量 (mAh)	製造	使用開始	使用終了	充電 (回)	寿命の 原因	備考
①	1,2	P社	HHR-3HPS (日本)	1400	?	1999年 4月23日	2006年 5月3日	181	容量不足	充電1～110回:急速充電(充電電流1500 mA)、111-156:NC-420(充電電流55 mA)、157-181:FC43(充電電流145 mA)
	1	P社	HHR-3SPS (中国)	2400	2004年 12月	2005年 4月17日	2010年 5月15日	159	使用機器 の劣化	充電1～105回:FC43、106-159:ES1380(SS社充電式電気カミソリ、充電電流600 mA)、105回までは1と2を組んで使用、ES1380とともに廃棄
②	2	P社	HHR-3SPS (中国)	2400	2004年 12月	2005年 4月17日		243 継続中		充電1～105回:FC43、106-191:BCG-34HLE(充電電流360 mA)、192-195:SV-M6(S社充電式電気カミソリ、充電時間1時間)、196-240:BCG-34HLE、241-243:RM-150(H社充電式電気カミソリ、8時間標準充電)
③	1,2	GY社	AA2100 (中国)	2000	?	2008年 4月10日		67 継続中		充電1～36回:FC43、37-67:BCG-34HLE、デジタルカメラで使用
④	1,2, 3,4	S社	HR-3UTG (日本)	2000	?	2008年 8月6日		36 継続中		充電1～14回:FC43、15-36:BCG-34HLE
⑤	1,2	S社	HR-3UA (日本)	2000	2002年 12月	2010年 1月31日		41 継続中		充電1～8回:FC43、9-34:BCG-34HLE、35-41:FC43、1～4を組んで使用中
	3,4	S社	HR-3UA (日本)	2000	2002年 10月	2010年 1月31日		41 継続中		充電1～8回:FC43、9-34:BCG-34HLE、35-41:FC43
⑥	1,2	S社	HR-3UA (日本)	2000	2002年 12月	2010年 5月16日		44 継続中		充電1～13回:FC43、14-33:BCG-34HLE、34-44:FC43、11-41:SV-MW2(S社電池式電気カミソリ)で使用
⑦	1,2	M社	MHR-4SY2B (中国)	750	?	2012年 10月9日		3 継続中		充電1～3回:BCG-34HLE、レーザーポインターで使用

注:急速充電器はP社製、他は標準充電器でNC-420はS社製、FC43はF社製、BCG-34HLEはSO社製

電池の実力

③～⑥の電池は、いずれも充電回数が100回未満です。これらの内、③をデジタルカメラで使っています。大きな電流を取り出すことができるNi-MH電池は、大きな電流が必要なストロボ使用時に威力を発揮します。蛇足ですが、③の1と2の電池をCanonのPower Shot A400 デジタルカメラに入れて、連続して何枚の写真が撮影できるか実際に調べました。ストロボ使用で606回撮影できました。また、⑤の3と4の電池では535回撮影できました。他方、市販のアルカリ乾電池では260回でした。

⑤の1～4の電池について、8回目の充電の後、2010年の9月に250 mAの定電流で電池の電圧の経時変化を調べました^[4]。このとき、電圧が0.9 Vに到達した時間から電池の容量を求めました。この結果、容量が1550～1710 mAhの範囲にあることが分かりました。電池の使用回数が（僅か8回と）少ないのに、容量がかなり低下していました。この電池は製造後かなりの期間放置されていたので、この間に電池が容量低下を起こしたのかも知れません。この例から分かるように、充電式の電池では、上記のような容量試験を適宜実施して、劣化の程度を調べる必要があります。ただ、この試験は意外に手間が掛かります。この手間を省くために、電池電圧判定機を製作しました。この判定機を使って、表2の2011年12月の結果を得ました。2010年9月と比べて、僅かですが容量が減っています。なお、その判定機の詳細については、第1章の第1節を参照して下さい。

表2 ニッケル水素電池の放電時間の変化

電池の番号	2010年9月の結果	2011年12月の結果
No. 1	6時間 52分	6時間 26分
No. 2	6時間 12分	6時間 19分
No. 3	6時間 40分	6時間 24分
No. 4	6時間 41分	6時間 44分
平均	6時間 36分	6時間 28分
容量	1650 mAh	1620 mAh

注：充電条件／SONY製BCG-34HLE標準充電器（室温）、4本一括

④の1～4と⑤の1～4は、これまで主に写真2にあるような単1型の電池に対応するスパーサーに入れて、ガーデンバリヤー（超音波猫撃退機）で使っていました。本来なら単1の電池が必要でしたが、単3のNi-MH電池で代用することができました。1ヶ月に1回の充電で、ガーデンバリヤーは調子よく動いていました。ただ、2012年2月頃、ガーデンバリヤーが寿



写真2 ニッケル水素電池とスパーサー



写真3 新型のスペーサー（右）

命を迎えました。その後、幸いにも猫に因る被害がほとんど無いため、2組の電池の用途を懐中電灯やラジオに変えました。なお、最近、写真3のような新型の電池スペーサーが発売されました。このスペーサーは、底部が広いことが特長です。用途によっては新型の方が使い易い場合があります。

また、⑥の電池を乾電池式の電気カミソリで使ったことがあります。この電源は本来単3乾電池2本ですが、Ni-MH電池はその代替です。毎回5分程度で1ヶ月に20回ほど使いましたが、充電は1ヶ月に1回で済みました。

Ni-MH電池の利用における最近の問題は、⑤の1～4と⑥の1～2の電池をBCG-34HLEの充電器で充電することができなくなったことです。BCG-34HLEには充電に先だって電池の異常を検知する機能が付いています。2012年2月頃から、それらの電池の充電で異常（の表示）が頻発するようになりました（もちろん、この状態では充電できません）。ただ、充電に先立って電池を暖めると、表示が出ることは無く、充電することができました。専門的になりますが、電池の充電受け入れ性が低下したのかも知れません。単3型の電池に対するBCG-34HLEの充電電流（360 mA）が電池に負担を掛けている恐れがあります。そこで、充電器を元のFC43に代えました。この電流は145 mAであるため、充電時間が長くなりますが、電池を支障なく充電できました。

電池の経済性の試算

ここで、Ni-MH電池を使う経済的な利点を紹介します。この経済性の評価は、試算の条件に大きく依存します。そのため、あくまでも一例と考えて下さい。

単3型のNi-MH電池（容量2,000 mAh）2本と充電器（標準充電）の組み合わせの販売価格を1,500円とします。この電池を1,000回充電して使うことができると仮定すると、電池の延べ本数を2,000本と考えることができます。充電における所要電力を10 W、充電時間を10時間とすると、所要電力量は100 Whです。電力の価格を30円/Whと仮定すると、1回の充電に掛かる電気代が3円、1,000回の充電では、3,000円になります。ここにおける費用は、合計で4,500円になります。

上記のNi-MH電池と同等の性能の単3型のアルカリマンガン乾電池の価格は、低価格品であれば、1本25円（4本100円）で購入することができます。2,000本の電池の価格は50,000円になります。

$50,000 \div 4,500 \approx 11$ になりますから、少なく見積もっても、Ni-MH電池の利用は乾電池

の10倍以上経済的であると言えます。ただ、上記の例では充電に要する人件費を含んでいません。人件費に加えて、Ni-MH 電池や充電器の故障など、他の要因を考えると、Ni-MH 電池の利用が不経済になる恐れがあります。更に、Ni-MH 電池の経済的な使用の前提条件が多数回の充電の実施にあることに注意して下さい。大まかに言って、100回未満の充電ではNi-MH 電池より乾電池が経済的です。そのため、人件費を掛けないようにとの配慮から、充電に関する作業を全て自分で行うことで、また、電池や充電器などを可能な限り注意して丁寧かつ多数回（長期にわたって）使うことで、著者は経済性の確保に努めています。

今後の課題

Ni-MH 電池のこれまでの使用で、実のところ、やっかいな問題が起きました。それは電池の外装のプラスチック製の絶縁被覆の破損です。Ni-MH 電池の高容量化を図るため、電池の容量増加に寄与しない部材の使用を極端に減らしています。そのため、電池の絶縁被覆は極端に薄く作られています。その結果、被覆が破れ易くなりました。②の2の電池では、外装の被覆が破れました。そのため、写真4の（左の）ような単3型の電池用の薄形の熱収縮チューブを購入し修理しました。②の2の電池は本来写真5のような外観でしたが、現在は写真4

これは参考です。実際には破損した古い絶縁被覆を取り除きます。

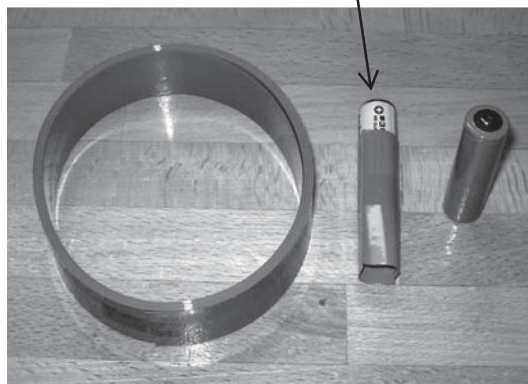


写真4 修理用の熱収縮チューブ（左、長いので巻いてある）、長さ 55 mm のチューブを電池に挿入したところ（中）、ヘヤードライヤーによる加熱後（右）



写真5 修理前の電池

の(右の)ように変わっています。著者はこのような問題が起こらない電池の製造をメーカーに期待しています。

余談になりますが、Ni-MH 電池などの2次電池 (Secondary Battery) は、充電式電池 (Rechargeable Battery) です。ところが、最近、“充電池”なる言葉が横行し始めました。この用語は素人の造語です。他方で、科学、技術、文化、芸術など、幅広い分野の国際化に対応するための、日本語と英語などの外国語を基礎とするバイリンガル (Bilingual) の素養が必要です。特に科学や技術の分野では、日本語と英語が重要です。これらの言語の対比を考えると、Rechargeable Battery = 充電式電池になります。そして、Rechargeable Battery ≠ 充電池とするのが適切です。充電式電池から、電式を省いて充電池としたのだと思いますが、文字や言葉の不用意な省略を避けるべきです。

話は変わりますが、携帯電話をはじめとする最近の電子機器が更に高容量の電池を求めています。その要求を満たす電池の一つがリチウム電池です。しかし、この電池では電圧や温度を適切に管理する必要があります。専門的になりますが、リチウム電池には有機電解質や炭素が使われています。これらの物質が可燃性であるため、電池の過充電や短絡、更にそれらに伴う温度の上昇などが原因で、電池が発火する恐れがあります。このため、保護用の IC などと組み合わせて、使用機器に同梱して、リチウム電池を使うようになっています (充電器も専用のものを使う)。そのため、安全性の点で、電池単体で使える電池としては、やはり Ni-MH 電池が適しています。

著者は Ni-Cd 電池の記録に 25 年を費やしましたが、Ni-MH 電池の記録でも既に 10 年以上が経過しました。今後 Ni-MH 電池の利用がどのように推移するか不透明ですが、著者は電池の活用と充電の記録を続けるつもりです。

参考文献

- [1] 棚瀬繁雄, “記録が語る充電式電池の実像”, ラジオ技術, 2005 年, 7 月号, 149-151 頁.
- [2] 棚瀬繁雄, “ニッカド電池 4 半世紀の使用記録”, ラジラジオ技術, 2008 年, 7 月号, 146-150 頁.
- [3] S. Tanase, “A Report on the Actual Use of Commercial Ni-Cd Batteries and their Cycle Durability”, ITE-IBA Letters, **2**, [5-6], 54-57 (2009).
- [4] S. Tanase, “An Interim Report on the Actual Use of Commercial Ni-MH Batteries”, ITE-IBA Letters, **3**, [4], 41-45 (2010).

第6節 ACアダプターを活用した 電圧調整器の製作

はじめに

ファクス付き電話機、スキャナーなど、最近の電気機械の多くで AC アダプターが使われています。著者もそれらの機械を使っていますが、機械を更新する度に、付属の AC アダプターが手元に残ります。この AC アダプターはまだ使えそうです。著者の経験では、AC アダプターの故障は電源の平滑回路のキャパシタの容量低下ぐらいです。

そのため、それらの AC アダプターを別の電子機器の電源として利用することがあります。しかし、この場合、AC アダプターの規格が問題になります。特に電圧が問題です。まず、AC アダプターの出力電圧（図1の V_i ）が、電子機器の所要の電源電圧（ V_o ）とほぼ同じであるときは、さほど問題はありませんが、 V_i と V_o が異なるときは、「昇圧機能を備えた DC-DC 変換器で電圧を上げる。」「3 端子レギュレータ（IC）を使って電圧を下げる。」などといった電圧を調整するための対策が必要になります。今回は、後者の例を紹介します。

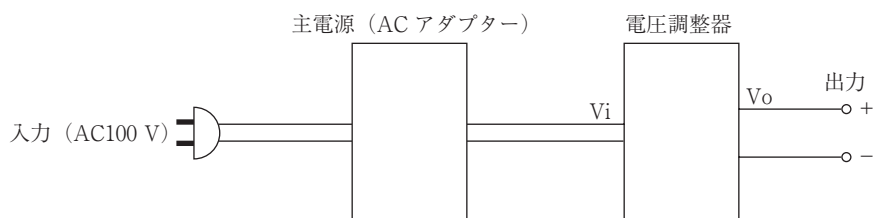


図1 電圧調整器の役割

電圧調整器の回路と組立て

図2のように、回路は至って簡単です。主電源は、13.5V（実測値は14.5V）、1.5Aのスイッチング方式のACアダプター（EPSON AC ADAPTER A391UC）です。電流は十分でしたが、電圧を下げる必要がありました。そこで、KA7808（フェアチャイルド）という型番の3端子レギュレータを使って、8Vに下げました。KA7808の出力電流は最大で1Aです。このICに20℃/Wの放熱器を付けることで、出力電流の増加を図りました。

今回は、著者の手元にあった万能基板、ICB-91（サンハヤト）に部品を取り付けました。基板上の部品の配置と配線については、写真1を参考にして下さい。この基板をアクリル樹脂製の箱（幅100、奥行き65、高さ28mm）に収容し、箱の短辺の中央部分を開口して取り付けたゴムブッシュを介して導線を取り出しました。また、工作を簡略化するために、エポキシ系の接着剤を使って基板等を箱（底部）に固定し、プラスチック用の接着剤を使って箱の蓋を底部に固定しました。最後に、黒のラッカースプレーで箱の外側を薄く塗装しました。

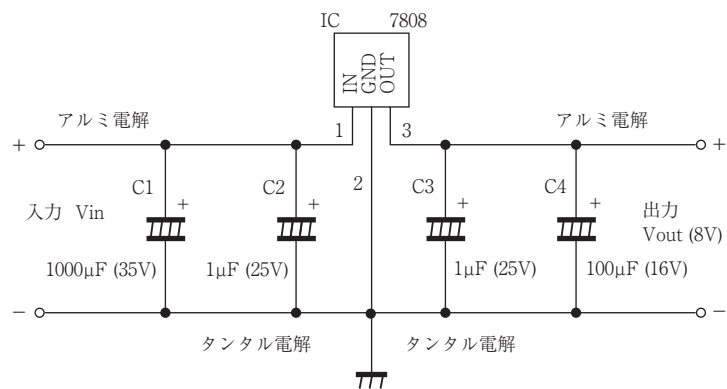


図 2 電圧調整器の回路

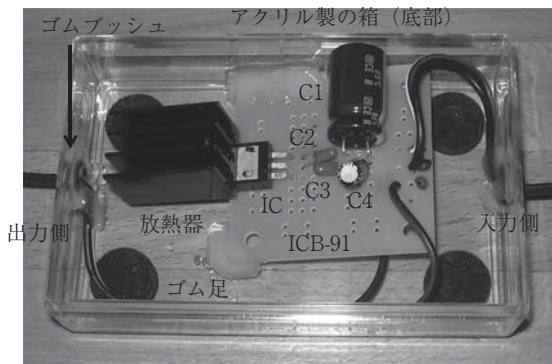


写真 1 部品の配置と配線

主電源から電圧変換器を経て計測機器に至る状況を写真 2 に示します。主電源に由来する雑音を減らすため、主電源と電圧調整器の間にフェライト製の雑音防止器（ノイズフィルター）を付けました。また、電圧調整器の出力側の導線の先に計測機器に適合した 4 ピンの（Y 型）プラグを付けました。なお、導線を長めにする事で、雑音の低減を図りました。

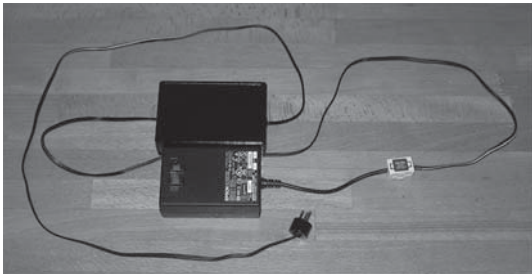


写真 2 全体の構成

第2章 教育と教材

著者は、電子工作集成を構成する章の中で、第2章が最も価値があると考えています。この章が教育に力点を置いて、趣味を超えた効果が期待できることがその理由の一つです。著者は2009年度～2011年度に神戸市立工業高等専門学校で非常勤講師として電気化学の講義を担当しました。このとき、ダニエル（硫酸銅と亜鉛を活物質として使った）電池が世界最初の実用電池であることを学生に紹介しました。このダニエル電池の用途が電信機でした。当時はまだ有線でしたが、その電池が世界最初の電気通信を陰で支えました。この講義が切っ掛けで電信機を作ることにしました。また、電気化学の講義の一環として学生に乾電池の製作を経験させようという目論見（計画）から、乾電池教材の開発が始まりました。また、幸にして、2012年度～2014年度に大阪電気通信大学で、その教材を使って環境科学実験“マンガン乾電池の製作と評価”を実施することができました。そのような2009年度～2014年度の著者の非常勤講師のときの成果を第2章に集めました。なお、この中の題材の一部は第1章のそれに関連しています。互いに関連のあるところを読むと、幅広い内容を理解出来ると思います。

第1節

“技術教育のための乾電池教材の開発”の背景 既製の乾電池教材の現状を考える

はじめに

「理科教育における電池に関する単元で生徒や学生に何をどのように教えるか。」ということが課題になっています。電池を電源とした、携帯電話やスマートフォン、防犯ブザーなどの電子機器が周りにあり、彼らにとって電池は身近な存在になりましたが、安全や環境影響を考慮して、電子機器や電池の解体が禁止されているため、実際に彼らがそれらの内部を見る機会はありません。

このような状況の下、学校では主に教科書（図、写真）を使って電池の原理などを教えています。また、必要に応じて、“レモン電池”や“木炭電池”などを教材として使っています。これらの電池は比較的身近な材料で作られており、生徒の関心の向上や理解の促進に効果があるようです。しかし、厳密に言うと、材料や構造が実用電池と異なっています。そのため、大学生を対象にした技術教育において“レモン電池”や“木炭電池”などを使うことに著者は疑問を感じています。

そこで、それらに代わるものとして、著者は“マンガン乾電池”に着目し、実験の実施を計画しました。ここでは当初、写真1のような既製の乾電池キットを使うことを考えました^[1]。このキットは完成度が高く、実験に適していました。しかし、入手に種々の困難がありました。有料の購入であるにも拘わらず、①乾電池キットの材料に関して化学分析等を行わないこと、②乾電池キットを使った実験の様子を録画して提出すること、③前記2つ（①と②）の事柄に関して誓約書を提出することを、キットの提供先から要求されました。そのため、結局、入手を諦めました。

著者がこれまでに入手した情報を基に判断すると、電池工業会の下で、Panasonic がキットを製造しているようです。本節では、このキットを含め、既製の乾電池キットの現状を報告します。

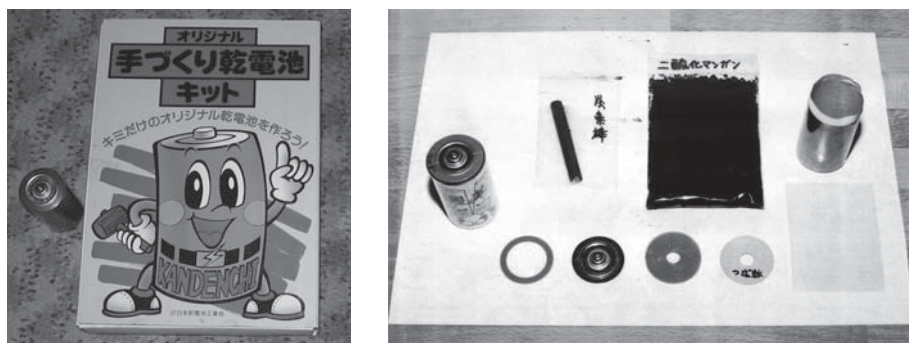


写真1 乾電池キット（単1型）：箱（左）と中身（右）

Panasonic の乾電池キット

Panasonic の乾電池キットは単1型(写真1参照)が主流です。しかし、他に単3型があります。かなり前のことですが、著者が Panasonic 主催の乾電池の製作教室に参加した折に、単3型のキットが存在することを指導員から聞きました。

ところで、東京の秋葉原に次ぐ電気街が大阪の日本橋にあります。著者は、電子部品などを購入するために、時々そこへ出かけます。2013年11月2日のことでしたが、共立電子産業の営業所の一つである“デジット”に立ち寄ったとき、店頭で単3型乾電池のキットを見つけました(写真2参照)。キットは在庫整理品のようで、2個1組で200円でした。このときは、取りあえず1組購入しました。袋には製作説明書と電池2個分の部品が入っていました。



写真2 単3型乾電池のキット

製作説明書は度々複写されたようで、変形し、汚れていました。電池の部品は、①炭素棒、②つば紙、③封口板、④キャップ、⑤二酸化マンガ（正極合剤）、⑥亜鉛缶（セパレータ付き）、⑦ラベル、⑧電球とソケット（導線付き）でした(写真3参照)。これらに加えて、新聞紙や木槌（づち）などを用意して、電池を組み立てました。購入したキットでは亜鉛缶の開口部が変形していたので、蒲鉾板（科学教材社から購入した木板）を使って矯正し、本来の円形



写真3 電池1個分の部品

に戻してから電池を組み立てました。ここでは製作説明書に示されていた手順にほぼ従いましたが、合剤がかなり乾燥していたので、亜鉛缶に正極合剤を充填する途中で 0.5 cc の水を亜鉛缶の中の合剤に加えました。著者の経験では、適量の水の添加が電池性能を高めることがあったので、今回はそのようにしました。

組み立ての最終段階で亜鉛缶にラベルを巻き、更に熱収縮チューブを適用しました。ヘヤードライヤーを使って熱収縮チューブを加熱する作業は少し難しかったですが、写真 4 のように、電池の出来映えが良くなりました（その作業では、火傷に注意して下さい）。



写真 4 完成した電池

完成した電池の開路電圧は 1.615 V で、付属の豆電球 (1.1 V、80 mA) を点灯することができました。今回の単 3 型の乾電池キットでは二酸化マンガンを詰めた亜鉛缶に手の力だけで炭素棒を挿入しました。ここでは、電池が細長いため、炭素棒の偏芯に注意する必要があります。そうでないと、セパレータを破損する恐れがあります。しかし、単 3 型のキットは従来からある単 1 型より組立が容易であると、著者は感じました。

ところで、著者は今回購入した乾電池キットについて疑問を抱いています。それは、「特定の利用者のみに提供されてきた乾電池キットがなぜ店頭で（不特定多数の人を対象に）売られているのか？」ということです。更に、著者の疑問がもう一つあります。それは共立電子産業のホームページで確認された在庫状況です^[2]。キットはデジットの店頭だけでなくインターネット上でも販売されており、その在庫情報では、2013 年 11 月 5 日の在庫の数量が 29、また、2013 年 12 月 1 日の在庫の数量が 72 になっていました。乾電池キットの仕入れが続いているようです。

別の乾電池キット

近年、新たに写真 5 のような乾電池キットが市販されるようになりました^[3]。この結果、これまで独占的な地位を保ってきた Panasonic の乾電池キットの存在感が薄れつつあります。著者がこのキットを調べたところ、部品の省略による構造上の不備が認められましたが、市販のキットとしては合格点に達していると思います。2014 年 11 月 23 日の時点で、美工社の手作りマンガン乾電池キットの単価が 475 円（送料別）でしたので、個人で購入して親子で電池を作って学ぶことや学校でまとめて購入して理科の授業に役立てることが出来ると思います。なお、在庫の状況によって、キットの販売が中止されることがあります。購入の際は、販売店に確認して下さい。



写真5 市販の乾電池キット

まとめ

著者が知る限り、既製の乾電池教材については、上記のような状況です。この中でも特に、Panasonic の単 1 型の電池のキットを入手できなかったことが著者に研究の機会を与えてくれました。ここで、著者は比較的容易に入手できる材料を使って、教材を試作し^[4]、改良^[5]、キット化、電池を電気化学の観点から評価する作業の追加を経て、工学部の学生を対象にした科学実験を実施することができました^[6, 7]。この科学実験で使った電池については次節で紹介します。

参考文献

- ^[1] 一般社団法人電池工業会：<http://www.baj.or.jp/campaign/bschool2013/index.html>.
- ^[2] 共立電子産業株式会社：<http://eleshop.jp/shop/g/gD4D364/>.
- ^[3] 株式会社美工社：<http://item.rakuten.co.jp/bicosya/55501/>.
- ^[4] 棚瀬繁雄，“技術教育のための乾電池教材の開発”，ITE-IBA Letters, **3**, [3], 41-48 (2010).
- ^[5] 棚瀬繁雄，“技術教育のための乾電池教材の開発（その2）”，ITE-IBA Letters, **4**, [1], 41-46 (2011).
- ^[6] 棚瀬繁雄，湯口宜明，“スチロール瓶を使った乾電池教材を利用した学生実験”，科学・技術研究, **2**, [2], 155-162 (2013).
- ^[7] 棚瀬繁雄，湯口宜明，“スチロール瓶を使った乾電池教材の改良”，科学・技術研究, **3**, [2], 177-182 (2014).

第2節 “マンガン乾電池の製作と評価”のための 乾電池キットの調達について

はじめに

新エネルギーや省エネルギーに関する技術開発の活発化に伴い、人材の育成を担う教育の分野でも、太陽電池や燃料電池などを教材に取り入れる動きが目立つようになりました。これらの教材の多くは市販されており、その仕様に問題が無ければ、市販品の利用が便利です。しかし、適切な市販品が無い場合は、単元の担当者が電池の部材を個別に購入し、それぞれを前もって加工しなければなりません。

環境科学実験“マンガン乾電池の製作と評価”のための“乾電池教材”に関しては、適切な市販品が無いため、著者はキット化した教材を考案し、多数のキットを製作しました。このキットの構成、材料の入手や加工の方法などについては、既報において適宜報告しました。これまでの報告を辿れば、キットだけでなく、実験の結果についても知ることが出来ます^[1-4]。しかし、キットの仕様が初期の試作品から2014年度のキットに至る過程で複数回変更され、加えて、主要な情報が4つの文献に分散した結果、キットの調達に関する情報の迅速な把握が難しくなっていました。そのため、2014年度（最新）版の“マンガン乾電池の製作と評価”のためのキットに関して、調達の方法を改めて説明します。

材料の購入と加工

最新のキットの外観と仕様を写真1と表1にそれぞれ示します。このキットは合計11の部品から構成されていますが、基本的な素材は、スチロール瓶、炭素棒、亜鉛板、セパレータ、ボール紙、紙貼り強化発泡スチロール板、目玉クリップの7つです。著者の経験や調査した結果から、表1の炭素棒と亜鉛板以外のものは、“東急ハンズ”が取り扱っていることが分か



写真1 2014年度版の乾電池キット

表1 キットの内容

品名	仕様
スチロール瓶	容量 25 cc (蓋は不要)
炭素棒	直径 6.5 mm、長さ 75 mm (不浸透化処理済み、先端加工済み)
亜鉛板 (負極活物質)	巾 40 mm、長さ 70 mm、厚み 0.3 mm、円筒状
亜鉛板 (負極集電体)	巾 6 mm、長さ 45 mm、厚み 0.3 mm、曲部 6 mm
セパレータ	コーヒーフィルター (加工済み)
固定環 A	ボール紙、巾 5 mm、長さ 74 mm、厚み 0.5 mm
固定環 B	紙貼り強化発泡スチロール板、巾 5 mm、長さ 66 mm、厚み 1 mm
固定環 C	紙貼り強化発泡スチロール板、巾 4 mm、長さ 70 mm、厚み 1 mm
円盤 B	紙貼り強化発泡スチロール板、外径 25 mm、中心穴径 6.5 mm、厚み 1 mm
円盤 C	紙貼り強化発泡スチロール板、外径 27 mm、中心穴径 6.5 mm、厚み 1 mm
目玉クリップ	小 (豆) 型 (鉄にニッケルめっき)

りました。2009 年頃から著者による資材の購入が始まり、現在に至る過程で購入先が変わることがありましたが、この状況を詳しく説明することは割愛します。

炭素棒は、当初から、(有) 丸富商会 (学校教材ネットショップ、<http://www.rakuten.jp/marutomi-kyouzai>) から購入しています。購入時の炭素棒は直径 6.5 mm、長さ 150 mm で、金切り鋸の刃を使って棒の中央部を切断し、240 番の研磨紙を使って切断面を平滑にしました(写真2 参照)。この炭素棒は多孔質であるため、このままでは電解質(塩化亜鉛を含んだ水)が細孔を通して外部に流出(浸透)し、集電用のアルミ箔やクリップが腐食する恐れがあります。これを防ぐため、予め炭素棒にロウを含浸しました。ここでは缶詰の空き缶を用意し、これにロウソクを数本入れて缶の底をガスバーナーで加熱しました。ロウが溶けたら、まず、ピンセットを使ってロウソクの芯を取り出し、次に長さ 75 mm の炭素棒を一端からロウの

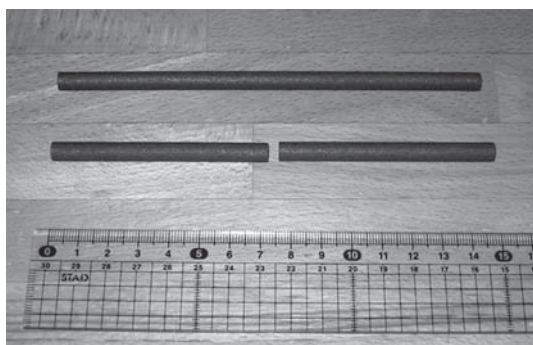


写真2 炭素棒の切断

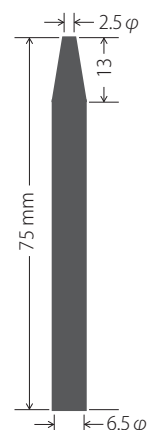


図1 炭素棒の加工

中に徐々に沈めました。ロウは毛管現象によって細孔内に浸入しました。このロウの浸入に伴い、細孔内の空気が追い出され、最終的に細孔がロウで充填されました。これらの作業は極めて危険です。炭素棒を溶けたロウの中に一気に沈めると、棒の内部がロウで満たされだけでなく、内部の空気が膨張してロウを吹き飛ばす恐れがあります。また、炭素棒に水などが残っていると、水が沸騰して同様なことが起きるかも知れません。更に、バーナーによる加熱が強すぎると、ロウが気化・分解・発火する恐れがあります。そのため、火傷や火災などに十分な注意が必要です。ロウを含浸した炭素棒を十分冷却してから、棒の表面をキムワイプで磨いて表面のロウ（絶縁体）を取り除きました。なお、ロウの除去が不十分な場合は、電池の性能が低下する恐れがあります。これらの工程の最後に、手動式の鉛筆削りを使って、炭素棒の一端を平頭に加工しました（図1参照）。

マンガン乾電池の試作の段階で使った亜鉛板は、前記の丸富商会から購入しました。このときの亜鉛板は、写真3に示されているように、長さ150 mm、巾45 mm、厚さ0.2 mmでした。この会社は2010年頃までは販売を行っていましたが、その後、販売を終了しました。そのため、

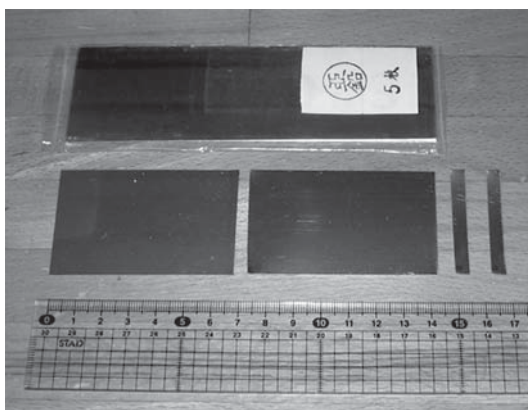


写真3 丸富商会から購入した亜鉛板（上段）と切断後の形状（下段）

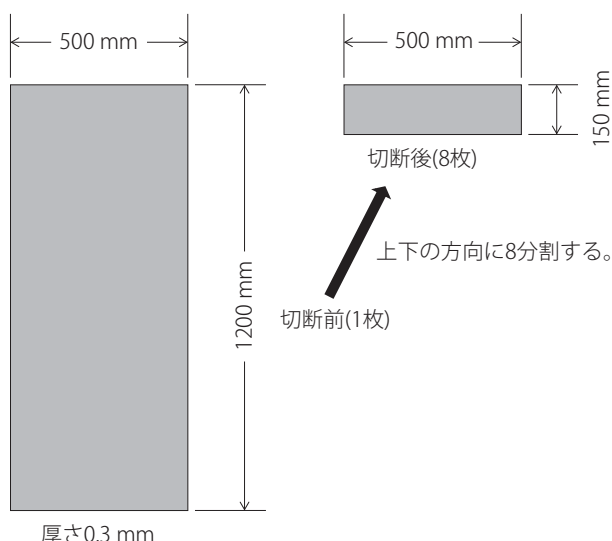


図2 亜鉛板の切断

調達先を横浜伸銅（株）（<http://yoko-shin.jp/>）に変えました。ただ、ここから購入した亜鉛板は、最低購入量の制約のため、長さ 1200 mm、巾 500 mm（厚さ 0.3 mm）でした。そこで、最初に電動式の切断機（かなり大型）を使って、図 2 に示されているように、亜鉛板を 8 等分しました（費用が高むが、切断加工を含めた発注が便利かも知れません）。

得られた 150×500 mm の板を、用途に応じて、手動式の（金属用の）切断機で切断しました。活物質としての亜鉛板は、 40×70 mm の大きさであり、また、集電体としてのそれは、 6×45 mm の大きさです。切断後、亜鉛板の切断部にある鋭利な部分を、240 番程度の研磨紙で磨いて、取り除きました。この鋭利な部分の除去が不十分な場合、その後の加工や電池の組立において、指などを切るといった怪我の恐れがあります。また、切断・研磨後の亜鉛板の表面が油や金属粉で汚れていたため、エタノールを入れたビーカーの中で洗浄し、空気中で乾燥しました（火災に注意）。次に、ラジオペンチを使って、負極集電体の一端から 6 mm のところを 100° の角度で曲げました。また、スティック糊の胴部を利用して、 40×70 mm の亜鉛板を円筒状に曲げました（写真 4 参照）。しかし、胴部が直管であったため、胴部の使い方に関する工夫と熟練が必要でした（負極のテーパーの度合いを最適化するための方法については、写真 6 の右下を参照）。

そのため、最近、方法を変更しました。まず、15 cc の容量のスチロール瓶を用意し、瓶の開口部の外周の凸部を研磨紙で除去し、亜鉛板を巻き付けるための治具を作りました（写真 5 参照）。この瓶の外周部はテーパーになっており、亜鉛板を巻き付けるだけで、板がテーパーの円筒になりました。この後、円筒化した亜鉛板を 25 cc のスチロール瓶の中に押し込



写真 4 負極集電体（左の 2 本）、負極活物質（右の 1 枚）、スティック糊の胴部と胴部に巻かれた亜鉛板（中央の右と左）

開口部外周の凸部を除去する



25 cc 15 cc 凸部を除去した瓶

写真 5 亜鉛板加工用治具

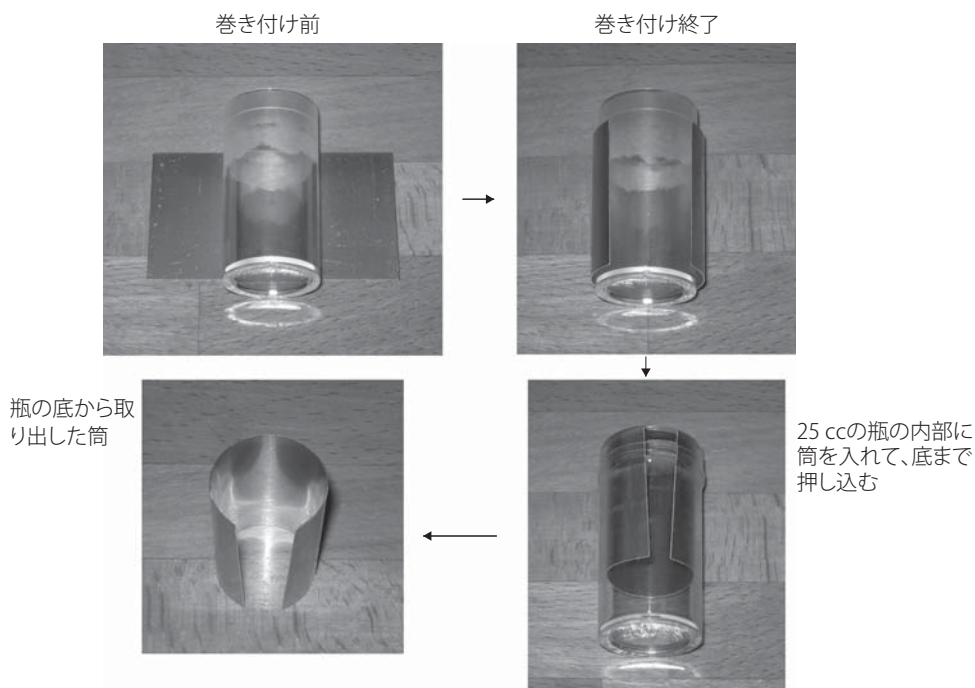


写真6 亜鉛板加工の最近の方法

んで、筒の直径とテーパーの度合いを最適化しました（写真6参照）。なお、図2に示されている 150×500 mm の板を 2012 年度以後毎年 2 枚消費しました。そのため、横浜伸銅から購入した亜鉛板のほぼ全てを 2015 年度に使い切ることになります。

2013 年度までは、セパレータに濾紙（ワットマン 3）を使いましたが、正極合剤を電池に充填するときのセパレータの破損を減らすために、2014 年度からは、コーヒーフィルターを 2 枚重ねて使いました。写真7に示されているように、フィルター加工時の圧着痕の無い部分に定規（アルミ製、巾 55 mm）を当て、定規に沿って、鉛筆で罫描きました（写真8参照）。この罫描き線に沿って、ハサミでフィルターを切りました（写真9参照）。次に、写真10に示されているように、この下部に巾 45 mm の定規を当て、耐水性のフェルトペンで合剤注入の基準線を罫描きました（写真10と11参照）。このようにして作製したセパレータを電槽に入れ、合剤を注入しました。写真12に示されているように、基準線を僅かに下回るように、調製した合剤のほぼ全量を充填することが重要です。合剤充填用の押し棒に加える力が弱い場合は、合剤の全量を詰めようとすると、合剤が基準線を越えることがあります。このようなときは、途中で合剤の充填を中止しなければなりません。そうしないと、電池を封口できなくなる恐れがあります。

固定環 A の材料は、写真13に示したボール紙です。まず、このボール紙を（汎用の）切断機で切って、巾 5 mm の細長い短冊を作りました。次に、この細長い短冊を 74 mm の長さにはサミで切りました。このようにして作ったもの（短冊）が、写真14の左です。スティック糊の胴部を利用して、この写真の中央に示されているように、この短冊を湾曲化し、環状にして、スチロール瓶に押し込みました（写真14の右）。写真15の状態が固定環 A の最終的な位置です。

固定環 B、固定環 C、円盤 B と円盤 C の材料は、写真16に示した紙貼り強化発泡スチロー

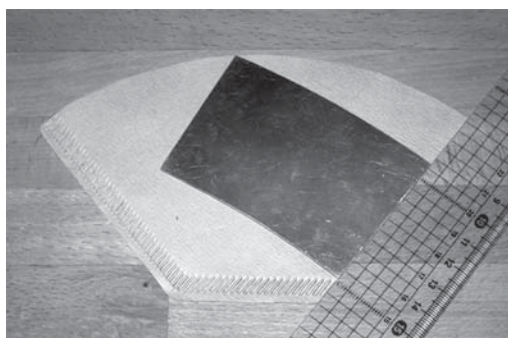


写真7 セパレータの切り出し

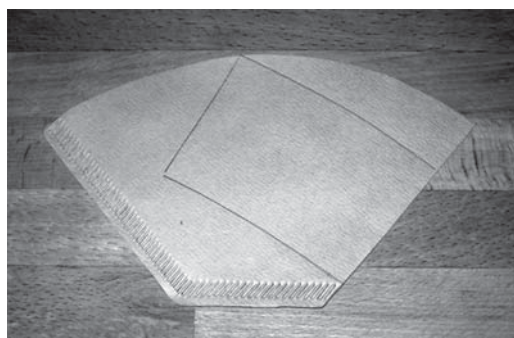


写真8 コーヒーフィルターへの罫描き

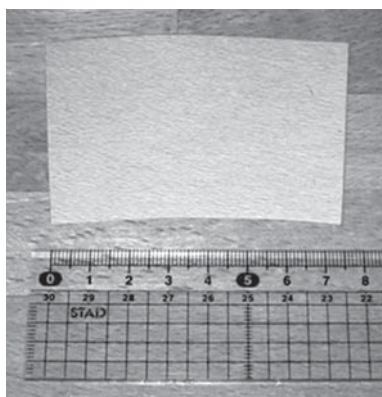


写真9 原紙から切り出したセパレータ

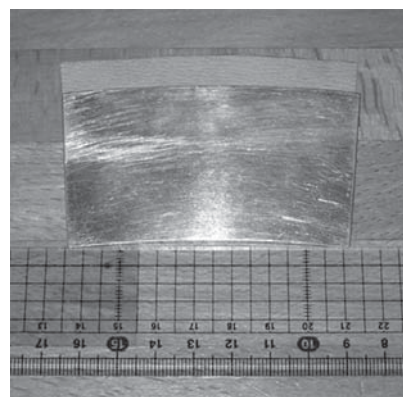


写真10 合剤注入の基準線の罫描き

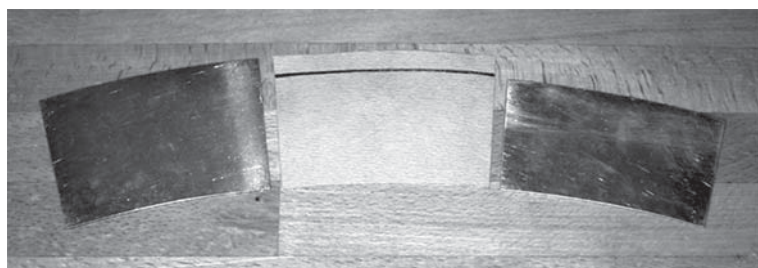


写真11 合剤注入の基準線が罫描かれたセパレータ（中央）左右は2種類の定規

セパレータに罫描かれた基準線



写真12 合剤の充填

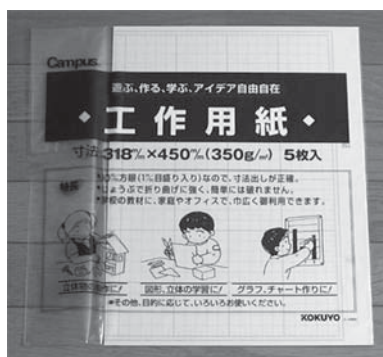


写真 13 固定環 A の材料



写真 14 材料の加工と固定環 A の取り付け



写真 15 固定環 A の位置



写真 16 紙貼り強化発泡スチロール板

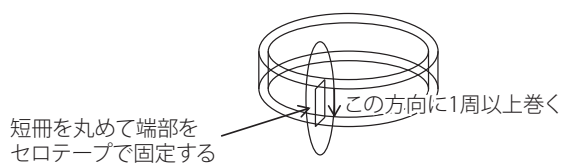


図 3 セロテープの巻き方 (模式図)

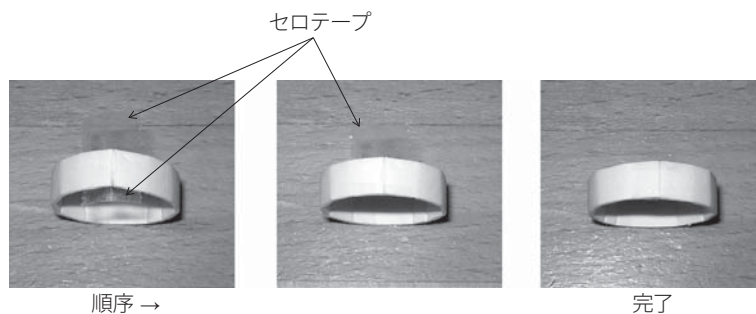


写真 17 セロテープの巻き方

ル板（スチレンボード）です。この板は通常、A4版やB4版の大きさで売られています。固定環Bの作製では、まず、その板を切断機で切って、巾5 mmの細長い短冊を作りました。次に、この細長い短冊を66 mmの長さにはサミで切りました。このようにして作ったもの（短冊）を、スティック糊の胴部に巻き付けて（写真14の中央参照）、環状に整形し、図3に示したように、端部をセロテープで固定しました。このとき、写真17の左に示されているように、固定環の内側にセロテープを適用し、セロテープの一端を外側に折り曲げました（写真17の中央参照）。次に他端を折り曲げました（写真17の右参照）。なお、固定環Cの作り方は、細長い短冊の巾が4 mmで、これから作った短冊の長さが70 mmであることを除いて、固定環Bと同じです。

円盤Bの作製では、まず、写真18に示されているように、紙貼り強化発泡スチロール板に補助線と切り取り線を罫描きました。この図は円盤Bのときのもので、補助線の間隔は12.5 mm、切り取り線は、円盤の外径が25 mm、中心穴径が6.5 mmです。その板から、円盤の一行を切断機で切断し、更に、（先端部が曲がった）ハサミで円盤を切り取りました（写

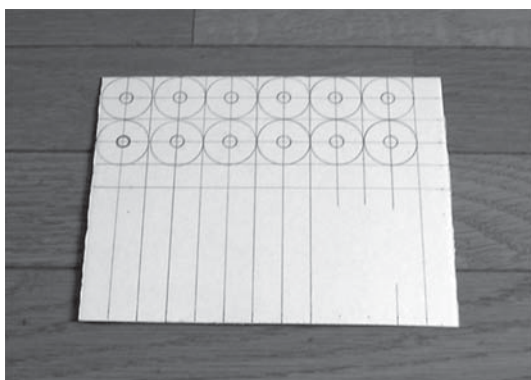


写真18 紙貼り強化発泡スチロール板に罫描いた補助線と切り取り線

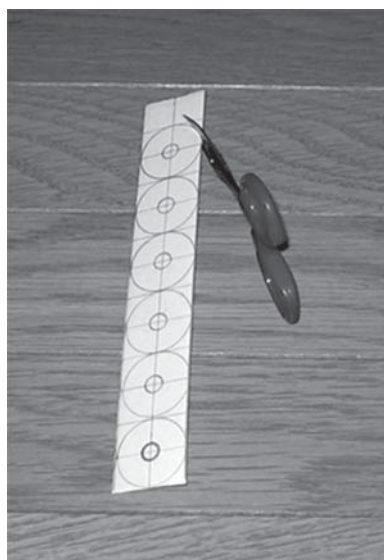


写真19 円盤の切り取り

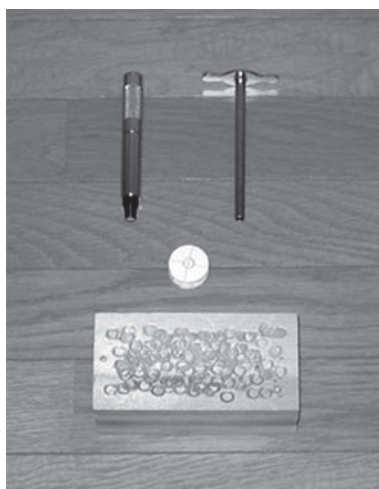


写真20 円盤の中心穴の開口

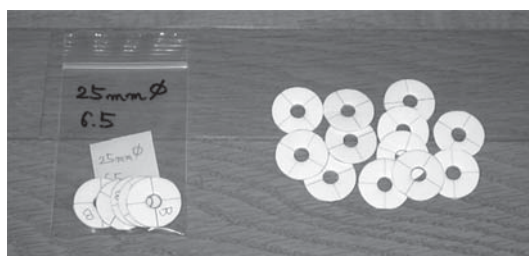


写真 21 開口後の円盤（右）と記号を付けた円盤（左）

真 19 参照)。その後、写真 20 の左上に示した（打ち抜き）ポンチと下段の（木製の）支持台などを使って、円盤の中心穴を開きました。なお、ポンチが無いときは、コルクボーラー（右上）を使いましたが、綺麗な穴開けが難しく、開口に時間が掛かりました。写真 21 の右が開口後の円盤です。円盤の製作作業が手作業であったため、円盤の外径が円から歪んだり、中心穴が円盤の中心から外れたりすることがありました。そのため、この段階で円盤の選別を行いました。選別した良品に記号を付けて保管しました（写真 21 の左参照）。なお、円盤 C の作り方は、B と同様です。

まとめ

電子工作集成の目的に合わせて、キットの調達に関するものだけを、上記のようにまとめました。この教材の開発の経緯や環境科学実験の結果について関心のある方は、下記の文献^[3,4]をご覧ください。なお、学生実験では、テキスト（教科書、指導書）が必要です。著者が作成した、平成 26 年度の環境科学実験の指導書の“マンガン乾電池の製作と評価”の部分を、参考として、添付します。

参考文献

- ^[1] 棚瀬繁雄, “技術教育のための乾電池教材の開発”, ITE-IBA Letters, **3**, [3], 41-48 (2010).
- ^[2] 棚瀬繁雄, “技術教育のための乾電池教材の開発 (その 2)”, ITE-IBA Letters, **4**, [1], 41-46 (2011).
- ^[3] 棚瀬繁雄, 湯口宜明, “スチロール瓶を使った乾電池教材を利用した学生実験”, 科学・技術研究, **2**, [2], 155-162 (2013).
- ^[4] 棚瀬繁雄, 湯口宜明, “スチロール瓶を使った乾電池教材の改良”, 科学・技術研究, **3**, [2], 177-182 (2014).

実験4 マンガン乾電池の製作と評価

目的

電池の中で長い使用実績を有するマンガン乾電池の製作と性能の評価を通して、電池の材料や構造、電源としての特徴を理解する。また、使用後の電池の解体を通して、廃棄物の分別と処分、再利用の方法を考える。

概要

今回製作するマンガン乾電池は、負極活物質に亜鉛(Zn)、電解質に塩化亜鉛の水溶液(ZnCl_2 aq.、aq.は水溶液を表す)、正極活物質に二酸化マンガン(MnO_2)を使った



という記号で表される電池である。正極の活物質の二酸化マンガンは導電性が低いので、黒鉛の粉末など(C)を混ぜて使う(これを正極合剤と言う)。実験では、この正極合剤を調製し電池を組み立てる。

完成後、電池の電圧を測定し、更に、電池に抵抗を繋いで端子電圧の経時変化を測定する。この結果から、電池の容量(Ah)やエネルギー密度(Wh kg^{-1})を概算する。なお、放電後の電池の廃棄では、資源の有効利用や環境影響低減の観点から、電池を解体し、紙、プラスチック、金属などに分別し、再利用や適切な廃棄の方法を学習する。

実験

1. 準備

1-1. 部品の確認

- a. スチロールピン(1個)：下記 g. の固定環 A が既に設置されているものもある。
- b. 炭素棒(1本)
- c. 亜鉛板(円筒状、1枚)
- d. 負極集電体(1枚)：短冊状の亜鉛板
- e. セパレータ(1枚)：濾(ろ、ロ)紙
- f. 発泡スチロール(紙貼り強化)の板から作製した、中心に直径 6.5mm の開口を備えた、直径がそれぞれ、25、27mm の円盤 B、1枚、C、1枚(2枚1組)
- g. ボール紙から作製した、巾 5mm、長さ 74mm の固定環 A、1個、発泡スチロール(紙貼り強化)の板から作製した、巾 5mm、長さ 66mm の固定環 B、1個、巾 4mm、長さ 70mm の固定環 C、1個(3個1組)
- h. 目玉クリップ(1個)
- i. アルミ箔(巻いたアルミ箔から巾 20mm、長さ 30mm の大きさに切り取る)

1-2. 負極の秤量

円筒状の亜鉛板の質量を 0.01g の桁まで測定し様式 1(複写して利用する)に記録する。

1-3. 正極合剤の調製(粉末が体内に入ると危険である。これを避けるため、作業者はマスクを着用すること)

二酸化マンガ(MnO_2 、今回は電池に適した電解二酸化マンガを使う)を 20g、黒鉛を 5.3g、ケッチェンブラック(電池の性能を上げるために使用)を 1.3g、塩化亜鉛(ZnCl_2)を 6.5g 秤量し、磁製の乳鉢(直径 15cm)に順次加え、それらをまとめて 5 分間混合する。なお、塩化亜鉛は潮解性が有るので、速やかに秤量すること。次に、水を 2cc 加え、1 分間混合する。次に水を 2cc 加え、1 分間混合する。最後に、水を 2.5cc 加え、1 分間混合する(水の添加量は合計 6.5cc)。

2. 電池の組み立て

2-1. 正極合剤注入前の作業(図 1 参照)

I. 25cc の容量のスチロールビン(図 1 の①)の底に 74mm の円周の固定環 A(②)を挿入する(予め挿入されているときは、確認だけでよい)。次に、ビンの縁に亜鉛製の集電体(③)を掛け、固定環 A で止まるまで、亜鉛の筒(④)を挿入する。

II. 筒状に加工したセパレータ(⑤)をビンの底まで挿入する。ここで、円周方向でセパレータの端が重なることを確認する。次に、ビンの底に 66mm の円周の固定環 B(⑥)を挿入し、セパレータを固定する。

III. スポイトを使い、亜鉛の筒と接するセパレータの表面に電解質(質量濃度 20%の塩化亜鉛の水溶液)を 2cc 塗布する(⑦)。なお、余分な電解質はビンを傾けて排出する。

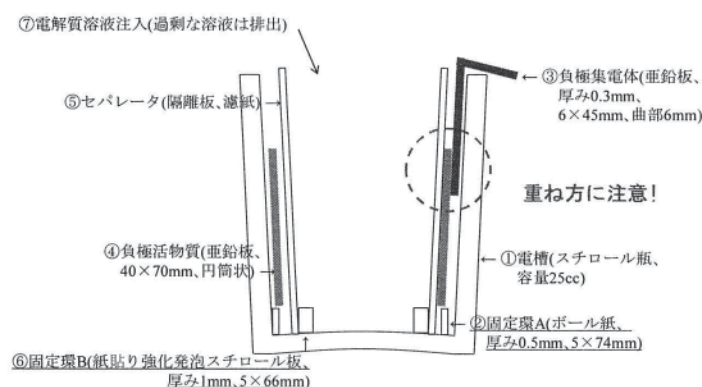


図1 正極合剤注入前の作業(断面図)

2-2. 電解質注入後の作業(図2～4 参照)

I. ビンの上部に合剤充填用治具(粉末ロート、図2の⑧)を付け、正極合剤を少量注入する(⑨)。次に、押し棒(⑩、発泡スチロール製)を使い、合剤を内部に押し込む。更に、合剤を少量注入する。この後、押し棒で合剤を内部に押し込む。これらの操作を4～5回繰り返す。経験上は合剤の全量が内部に入るはずであるが、合剤の充填が不十分な場合、ビンの内部における合剤の上部の位置が負極の高さを超えることがある。そのようなときは、途中で合剤の注入を中止する。なお、合剤の注入は、負極の上端の位置における量が最適である(ビンの上端から約10mm下)。

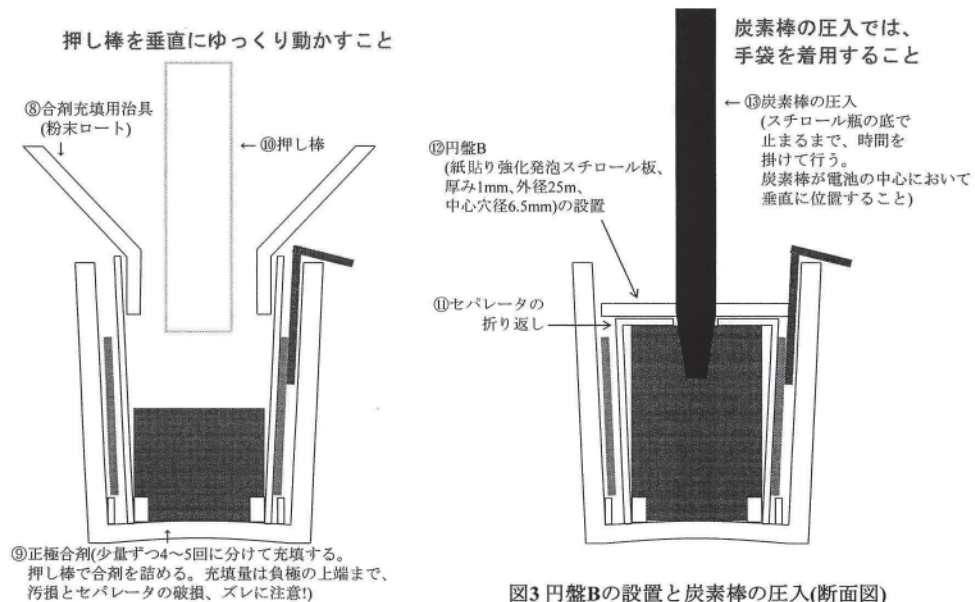


図3 円盤Bの設置と炭素棒の圧入(断面図)

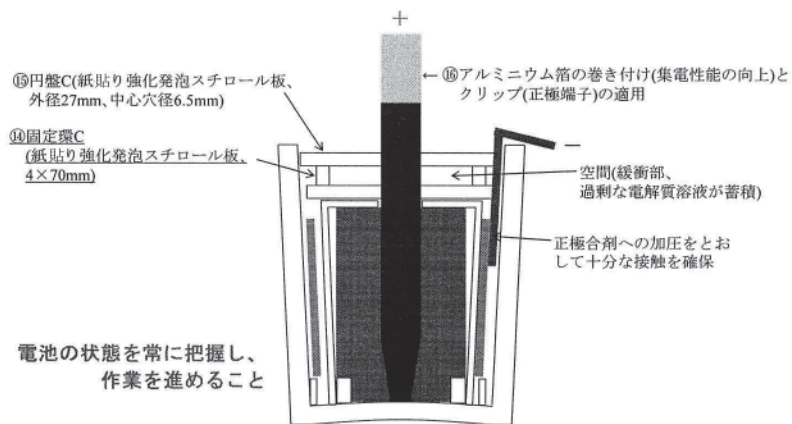


図4 封口と仕上げ(断面図)

Ⅱ. 治具を外し、セパレータを電池の中心に向かって折り曲げる(図 3 の⑪)(竹製のピンセットを使って、セパレータを破損しないよう注意して行うこと)。次に、外径 25mm の円盤 B(⑫)を設置し、その開口部を通して炭素棒(⑬)を垂直に圧入する(手袋を着用すること。炭素棒の方向に注意して、腕の力を利用して、手で徐々に行うこと。炭素棒の破損に注意!)。更に、70mm の円周の固定環 C(図 4 の⑭)を円盤 B の上に置き、外径 27mm の円盤 C(⑮)で固定環 C を固定する。円盤 B と C、並びに、固定環 C は電池を封止する役割を果たす。また、電池の内部から漏液が発生したときは、そこに形成される空間が液貯めの役割を果たす。

Ⅲ. 炭素棒の上部に 20×30mm の大きさのアルミ箔を巻き付け、目玉クリップでアルミ箔を固定する(⑯)。

3. 電池の評価

3-1. 質量の測定

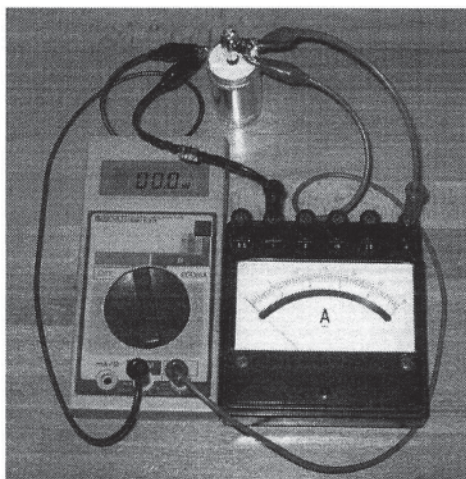
完成した電池の質量を天秤で 0.01g の桁まで測定し記録する。

3-2. 開路電圧の測定

電池の正極と負極の間の電圧をデジタルテスターで 1mV の桁まで測定し記録する。なお、この状態では電池に負荷抵抗が繋がっていないため、測定された電圧を特に開路電圧と言う。なお、完成した電池の良否を肉眼で判定できるように豆電球(1.5V、0.3A)を用意した。ただし、電球の点灯は 1 秒以内に留めること。

3-3. 放電時の電圧の測定

開路電圧を測定した状態を維持しながら、負荷への通電を確認するための電流計(内部抵抗 0.1Ω)を直列に繋いだ 2.5Ω の抵抗を電池の正極と負極の間に接続し、接続直後の電圧を測定し記録する(右写真参照、電池は見本用、負荷の抵抗値は 2.6Ω になる)。以後、3 分毎に電池の電圧を測定し記録する。なお、この作業は電圧が 0.9V になるまで続けることが望ましい(測定時間が 1 時間を超える場合がある)。



4. 電池の解体

電池の解体の手順は、組み立てのときのほぼ逆になる。また、このとき、ステンレス製の先曲げピンセットが役に立つ。なお、スチロールのピンがテーパ(傾斜)構造であるので、炭素棒を引き抜き、円盤 C と固定環 C を外してから、電池の上部を下に向け、電池に衝撃

を加えると、ビンの内容物が飛び出すことがある。このようにして解体することもできる。

解体した電池から、目玉クリップ、炭素棒、負極集電体、亜鉛板、スチロールビンを回収する。目玉クリップ、炭素棒、スチロールビンは損傷が少なければ繰り返し使用出来る。また、亜鉛板は水で洗浄し、電気乾燥機(火傷に注意!)で乾燥後、質量を測定する。測定後の亜鉛板や負極集電体は、亜鉛として分別回収する。

その他の材料は損傷や消耗が起きるので、 α .固定環、円盤→可燃ゴミ、 β .アルミ箔→金属ゴミ、 γ .正極合剤+セパレータ→不燃ゴミ、として、それぞれの回収箱に入れる。

データの整理と考察

1. 電池の開路電圧について

3-2.で測定した電圧は何Vであったか。乾電池の電圧は理論的に1.5V以上になると言われている。また、マンガン乾電池が1.7V以上の電圧を示すことがある。

2. 放電時の電池の電圧の変化について

3-3.で測定した結果を、時間を横軸に、また、電圧を縦軸にして図示せよ。放電に伴って電池の電圧はどのように変化したか。また、この放電で負荷(2.6Ω)に流れた電気量は何Ahであったか(様式1のVI.)。また、放電前後の亜鉛板の質量の差から電気量を計算せよ(様式1のI.の④)。更に、これらを比較せよ。

○データ整理のヒント：

様式1のVI.に関しては、電池の放電開始直後の電圧(V_{start})と放電終了直前の電圧(V_{stop})の平均値(平均電圧、 V_{mean})を計算する。次に、平均電圧における電流(平均電流、 I_{mean} 、単位A)を計算する。この電流に放電時間(h)を掛けると電気量(Ah)になる。なお、この方法は簡便であるが、精度が劣ることに留意すること。

様式1のI.の④に関しては、亜鉛負極の反応が $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$ であるので、65.4gの亜鉛の消費が、 $193000(96500 \times 2)$ クーロンの電気量に対応する。そこで、実際の亜鉛の減量から電気量を求め、Ah(3600クーロンを1Ah)に換算する。

3. 電池のエネルギー密度について

試作した電池のエネルギー密度(Wh kg^{-1})を計算せよ。また、この値を他の実用電池のそれと比較せよ。

○データ整理のヒント：放電の結果得られた電気量(様式1のVI.)に平均電圧を掛けることで、電池から取り出すことのできた電気エネルギーの量(Wh、電力量とも言う)を概算することが出来る。この値を電池の質量(kg)で割ると、エネルギー密度になる。なお、この方法は簡便であるが、精度が劣ることに留意すること。

(担当：棚瀬)

様式 1

データの記録と解析

(必要事項を自筆で記入し、自筆又はエクセルで作成した図を添えて提出)

I. 負極の質量 ①組み立て前 _____ g

②放電後 g

③放電による減量 _____ g

④減量に対応する電気量 _____ Ah

II. 電池の質量 g

III. 開路電壓	V
-----------	---

IV. 電池の放電

番号	時間(分)	電圧(V)	番号	時間(分)	電圧(V)	番号	時間(分)	電圧(V)
1	0		11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20			30		

V. 図の作成(IV.を基に方眼紙に作図する)

VI. 電池から取り出した電気量	Ah
------------------	----

VII. 電池から取り出した電気エネルギー Wh

VIII. 電池のエネルギー密度 Wh kg^{-1}

第3節

見れば分かる

鉛蓄電池のカットモデルの製作

はじめに

自動車、携帯電話など、人々の生活を支える色々な機器で電池が使われています。そのため、私達の日々の生活に、電池が不可欠になりました。しかし、このような電池の原理、構造などは、あまり知られていません。学校で生徒や学生が電池の原理や構造を学びますが、図や写真による学習が中心で、実物を見る機会がありません。

著者は非常勤講師として、2009年から工業高等専門学校で、また、2010年から大学で、電気化学の講義を担当しました。ここで、「実用電池の内部を実際に見た経験がある学生が殆どいない。」ことに驚きました。このことが切っ掛けになり、電池のカットモデルの製作を思い立ちました。

鉛蓄電池を選んだ理由

実際の使用を前提に製造された電池を使ってカットモデルを製作することは、一般にかなりの困難を伴います。この理由の一つは、電池の内部の電解質の扱いが難しいことです。マンガン乾電池では（多孔性の）セパレータに塩化亜鉛の水溶液が含浸されており、電池を開口すると溶液が漏洩します。また、鉛蓄電池の電槽から希硫酸を取り出すことが出来ますが、取り出した後の電槽の洗浄や乾燥は容易でないと思います。

ところで、市販の鉛蓄電池の中に即用式と呼ばれるものがあります。購入時、この電池には、希硫酸が入っていません。電池の正極が二酸化鉛の状態に、また、負極が鉛の状態になっているので、使用に先だって電池に希硫酸を入れるだけで、電池から電流を取り出すことが出来ます。

今回は、写真1のような即用式の電池を使いました。左側の写真の右上が箱に入った電池、右下がプラスチック製の瓶に入った希硫酸、左が取扱説明書です。また、右側の写真の箱の中にあるものが電池です。電池は、GS YUASA 製のオートバイ用バッテリー 6N2-2A です。3槽直列で電圧が6 V、容量は2 Ah です。保護のため、電池の導線にヒューズが付いていました（写真2参照）。

電池の加工

写真2に示した側面の反対側を加工しました。このための工具は、写真3に示したナイフ付きのハンダ鋺（上）とナイフ（下）です。ハンダ鋺の消費電力は30 Wで、この鋺を十分暖めてから、電槽を構成する面を切り取りました。電槽の材料であるポリプロピレンを、十分に時間を掛けて、丁寧に切り取ることが大切です。ハンダ鋺による加工では、バリが残りましたので、このバリをナイフで取り除きました。なお、写真5～7を付けました。参考にして下さい。



写真1 購入品の内訳（左）と箱の中の電池（右）



写真2 電池の側面とヒューズ



写真3 加工用の工具

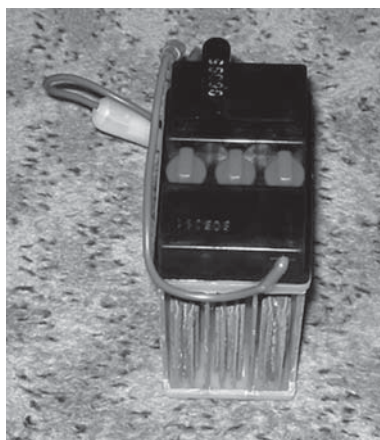


写真4 加工面を斜め上から見た様子



写真5 加工面を横から見た様子

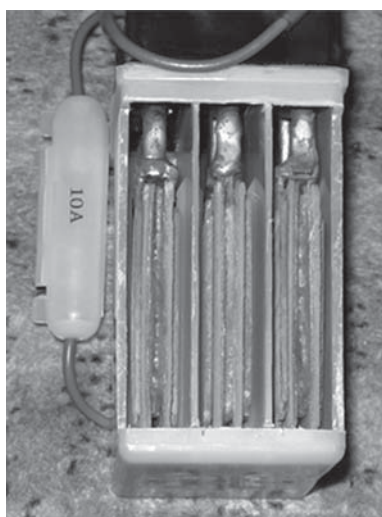


写真6 加工面を正面から見た様子

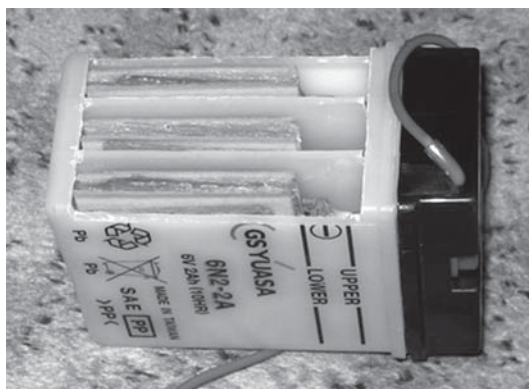


写真7 加工面を右斜め上から見た様子

まとめ

上記のようにして試作したカットモデルを2010年度の講義で使ってみました。鉛蓄電池の内部の構造の理解に役だったようです。また、鉛蓄電池が型式で分類でき、この中に即用式があることも学生は分かったようです。ただ、このような実物を見た学生の反応は、低調でした。意識の上で、講師と学生に差があるようで、著者は可能な限り実物を使う教育に意義を見いだしていますが、学生は図や写真で満足できるのかも知れません。なお、本節の内容は次節のそれに関連しています。種々の電池の中から代表的なものを選び、原理や構造からリサイクルまで、幅広く教えることが技術教育では大切であると、著者は考えています。

第4節

電池の延命と材料の再利用

鉛蓄電池のリサイクルを考える

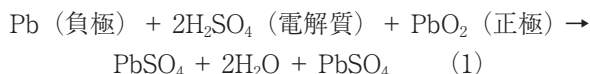
はじめに

現在、ニッケル水素電池、リチウム電池などの充電できる（2次）電池が使われていますが、電池の価格、性能、寿命などを総合的に比較した場合、鉛蓄電池が優位にあります。エンジンの始動等のために、自動車で鉛蓄電池が依然として使われている事実が、そのことを示しています。この鉛蓄電池に対する学生の理解の一助として、前節で鉛蓄電池のカットモデルの製作を紹介しました。ただ、この電池に関しては、鉛が環境汚染物質であるため、環境教育の観点から、電池の適切な扱い方を学ぶ必要があります。この点に関して、著者は以前から関心を持ち、調査を行ってきました。この成果を基に、鉛蓄電池に関する環境技術（リサイクル技術）の現状を紹介します。

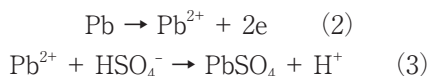
リサイクル技術の現状

電池のリサイクルについては、大きく分けると、2つの方法があります。一つは電池を解体することなく再生する方法で、他の一つは電池を解体して材料を回収し、それを再び電池の製造に利用するものです。まず、鉛蓄電池における前者の例を紹介します。

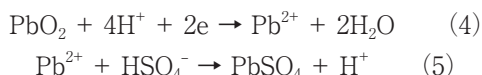
鉛蓄電池が放電するときの反応は、



になりますが、負極の反応は、



また、正極のそれは、



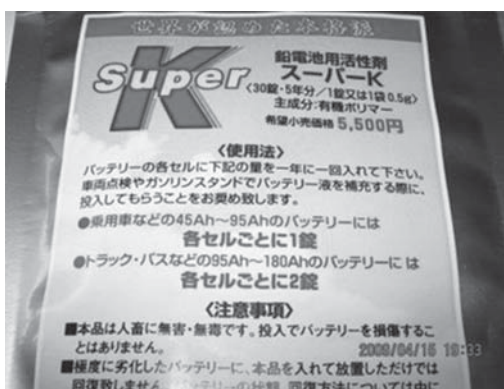
であると考えるのが妥当なようです^[1]。放電の過程で、イオン化による鉛の電解液への溶解（(2) 式と (4) 式）が起き、鉛イオンと硫酸水素イオンの反応によって硫酸鉛が生成します。ここで生成する硫酸鉛は電解質（電解液）である希硫酸にはほとんど溶けず、電極（負極、正極）に析出します。また、電池を充電するときは、上記の反応が逆に進みます。

電池の充放電の回数が少ない段階では、鉛や二酸化鉛といった活物質の粒子が緻密に集合しているので、活物質から硫酸鉛が生成する反応や、その逆の反応も円滑に進みます。しかし、充放電の回数が多くなると、活物質の粒子が粗大化し、終（つい）には孤立するため、長時間充電しても、硫酸鉛が未反応のまま電極に残るようになります。最悪の場合、硫酸鉛が白色化し、鉛や二酸化鉛に戻らなくなります（これをサルフェーションと言います）。また、このような状態は電池を充電しないで長期間放置しても発生します。その結果、電池内で有効に利用できる活物質の量が減少し、電池に貯蔵できる電気エネルギーの量が減少します。この尺度として、一般に、容量（Ah、アンペアアワー）が用いられ、この Ah の値がある（規格）値を下回った電池が廃棄されます。

このような寿命が尽きた電池を再生し、Ah の値を上げる方法として、次の2つがあります。①電解液に添加剤を加える。②特殊な充電方法で充電して、硫酸鉛を鉛や二酸化鉛に戻す。①では、炭素微粉体や高分子材料を電解液に加えます^[2]。それらが電極の活物質に吸着し、充電時に鉛や二酸化鉛の生成を促進します。この添加剤の例を写真1に示します。これは固形の錠剤で、鉛蓄電池の電解液に1セルあたり通常1個ないしは2個加えて溶かします。また、



(1)



(2)

写真1 鉛蓄電池の復活剤((1)は錠剤を収納した袋と取扱説明書、(2)では袋を拡大)
問い合わせ先：一般社団法人 国際技術交流協会^[3]

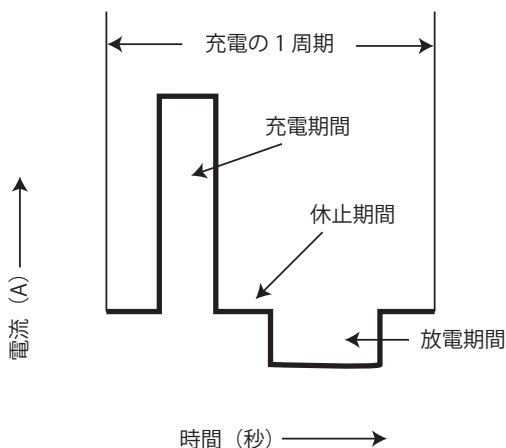


図1 鉛蓄電池再生時の充電電流のパターン

②ではパルス充電という方法を使います。電池の充電で通常使用する定電流充電などではなく、図1のようなパターンの電流で充電します。ただ、①や②の方法には技術的な限界があり、電池が新品の状態に戻るわけではありません。

鉛蓄電池では、鉛が環境汚染物質であり、その適切な廃棄処理が求められています。また、日本国内では、鉛の鉱石の産出が減少するとともに、海外からの鉱石の輸入による鉛の生産も採算性の維持が難しくなっています。そこで、国内産業の存続のためにも、廃棄鉛蓄電池からの鉛の再生事業が注目されています。

廃棄鉛蓄電池に含まれている鉛は元来有価金属であり、その再生は古くから行われていましたが、鉛の国際相場の低迷（1994 年頃の鉛の価格は 1 トン 70,000 円）等が切っ掛けで廃棄電池の不法投棄や不適切な処理が行われ問題になりました。そこで、電池工業会の先導の下、国内の主要な製造業者（GS Yuasa、古河電池、新神戸電機、Panasonic）が廃棄電池の処理費用を負担することで、廃棄電池の処理事業が始まりました。その後、この事業は鉛蓄電池再資源化協会に引き継がれ、継続されています^[4]。

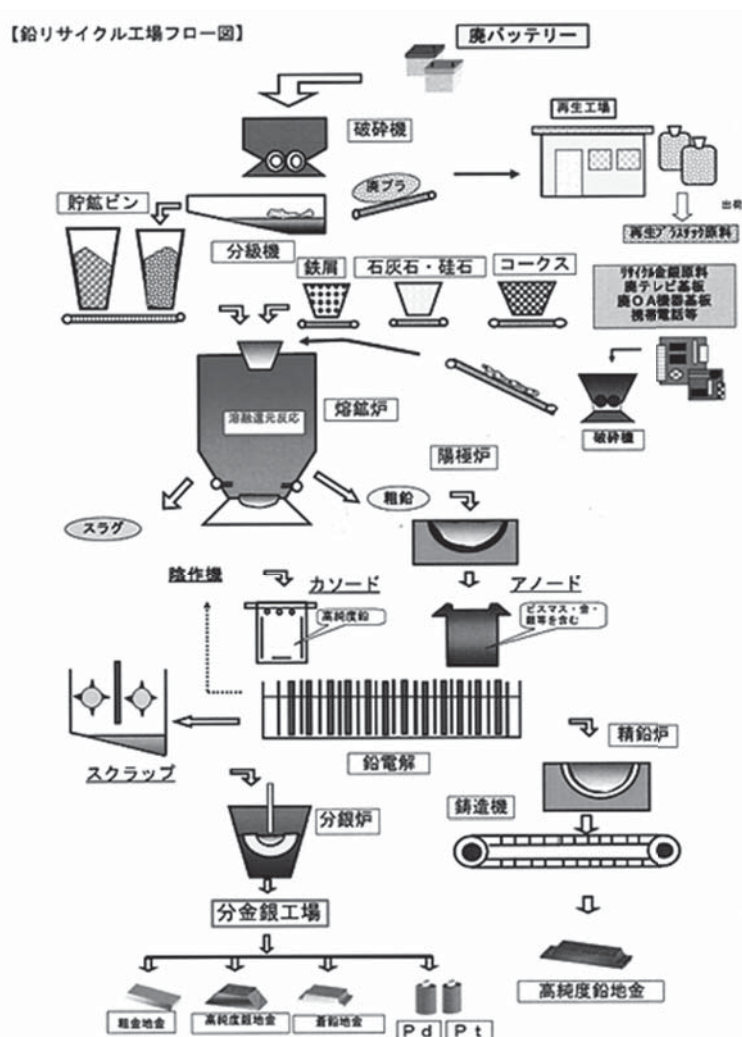


図2 廃棄鉛蓄電池の処理工程^[5]

廃棄鉛蓄電池の処理の工程の一例を図2に示します^[5]。鉛蓄電池の回収は国内にある電池の製造業者、販売店、給油所等で行われており、ここで集められた電池は鉛の再生工場へ送られます。この工場における第一の工程は、電池の解体です。ここでは、手作業や破碎機で解体します。解体後、電極（鉛）、電槽（プラスチック製で、主にポリプロピレン）、電解液（希硫酸）に分別されます。電解液は中和処理されます。プラスチックは再生原料になります（再び電池に使うこともあります）。また、電極には鉄（Fe）、石灰石（ CaCO_3 ）、珪石（珪砂、 SiO_2 ）、コークス（C）を加え、溶鋳炉に投入します。コークスは熱源と酸化鉛の還元剤です。石灰石と珪石は投入原料に含まれている不純物をスラグとして分離するためのものです。また、鉄は電池の放電生成物として電極に残留している硫酸鉛に含まれている硫黄を硫化鉄（ FeS ）として分離するためのものです。

この溶解工程における製造上の工夫は、投入原料を電極のみにするか、あるいは、廃棄電子回路基板のようなものを加えるかにあります。前者の場合に得られる再生鉛では電解精錬を行わず、故鉛（1号、2号、3号、不純物の含有量によって区分）、硬鉛（アンチモンなどを含む合金鉛）、再生軟（新）鉛（純度99.9%、99.99%）になりますが、後者の場合は回路を構成する電子部品（トランジスタやIC）などに含まれている貴金属が鉛に溶解します。鉛は熔融状態で貴金属を溶かす溶媒として働くので、貴金属の精錬で古くから使われてきました。貴金属が溶けた鉛は貴鉛と呼ばれ、この貴鉛（粗鉛）を電解精錬します。この工程で、板状の粗鉛を正極に、純鉛やアルミニウムの板を負極に、6フッ化珪酸鉛（ PbSiF_6 ）の溶液を電解質にして電解精錬を行うと、比較的純度の高い鉛（純度99.999%、電気鉛とも言う）が負極に析出します。また、粗鉛に含まれている不純物は陽極下部に沈殿します。この沈殿（陽極泥）から、金、銀、白金、パラジウムなどを分離します。電解精錬では、精錬のための設備と電力が必要ですが、高価な金属を回収できる利点があります。

上記のような廃棄鉛蓄電池の材料の再利用は、資源環境問題を適切に解決した例です。しかし、鉛の価格の高騰にともなって、国内で集められた廃棄電池が海外に輸出されているとの情報もあります。海外の安価な人件費を利用して鉛蓄電池から鉛を再生しようとする目論見ですが、不十分な処理技術や設備による健康被害や環境影響が懸念されます。

参考文献

- [1] 渡辺正, 金村聖志, 益田秀樹, 渡辺正義, 基礎化学コース“電気化学”, 156-157頁, 2001年, 丸善.
- [2] 太田健一郎, 仁科辰夫, 佐々木健, 三宅通博, 佐々木義典, 応用化学シリーズ1“無機工業化学”, 47-48頁, 2002年, 朝倉書店.
- [3] <http://ite-kozawa.jp/namari.php>.
- [4] <http://www.sbra.or.jp/>.
- [5] 新無機膜研究会第11次調査研究合宿合同調査神岡鋳業(株)リサイクル工場見学配布資料, 2009年10月5日(月).

第5節 電池と通信の接点、デジタル電気通信の原点 モールス電信機の製作

はじめに

1800年のボルタ電池の発明によって、人類は電流を定常的に得ることが出来るようになりました。この後、1820年にエルステッドが電流の磁気作用を発見し、また、同じ年にアラゴーが電磁石を発明しました。この電磁石を利用して、1836年にモールスが電信機を発明しました。ここでは、電源（電池）から供給される電流をスイッチ（電鍵）で断続（符号化）し、電線を介して遠方に送り、その電流で電磁石を動かし、磁石に吸引される鉄片の動きから符号を解読しました。また、その符号化のために、モールス符号を考案しました。

話は変わりますが、1836年にダニエルがダニエル電池を発明しました。これは、硫酸銅の溶液に接した銅を正極に、硫酸亜鉛の溶液に接した亜鉛を負極にした電池で、2つの溶液の境界に素焼き（セラミックス）の板を置いて、溶液の混合を防止しています。この電池を記号で表すと、



になります（aq は水溶液であることを示しています）。ダニエル電池はボルタ電池より長寿命で、電信機の電源に使われました。

モールス通信は当初、有線で行われていましたが、マルコーニが電波を利用した無線電信の実験に成功すると（1895年）、情報伝達的手段として、遠距離通信の分野では、無線電信が主流になりました。

国立大学法人の電気通信大学や大阪電気通信大学は、電信の出来る通信士の養成所（電信学校）を母体になっています。しかし、静止衛星や光ケーブルを利用した地球規模の通信網が整備された結果、無線電信の利用が激減しました。現在の無線電信はアマチュア無線などでの利用に限定されているようです。そのため、モールス通信や電信機を知らない人が増えています。

そこで、著者はモールス電信機の製作を思い立ちました。今回の製作は電気通信の歴史を学ぶための教材作りを目指しています。以下に、この顛末を報告します。

部品の調達

電信機で最も重要な部品は電磁石です。電源の可搬性や通信距離などを考えると、乾電池1～2本（1.5～3V）で動作し、且つ、小さい電流で動作するものが好ましいと思います。ただ、これらはかなり厳しい要求で、これらを満足する電磁石の自作は難しいかも知れません。そのため、市販品を探しました。

結果的に2つ見つかりました。この内の1つは、昔のラジコン（ラジオコントロール、無

表1 電信機の部品

品名	規格等	数量	備考
(送信機用)			
電鍵	ミズホ通信、小型電鍵、BK-1	1	大和科学教材研究所のスイッチ B 型で代用可能
木板	巾 140、奥行き 60、厚さ 10mm	1	科学教材社のかまぼこ板（工作板）
シャーシ	アルミニウム製、No.28R、巾 130、奥行き 80、高さ 35 mm、肉厚 1 mm	1	富士シャーシ（加賀金属）
ターミナル	陸軍式、赤	3	
	陸軍式、黒	1	
電池ボックス	単 3 乾電池 2 本用	1	導線付
ゴムブッシュ	小	1	
ゴム足	中（ねじ止め式）	4	電鍵を載せる木板の裏側に貼付
	小（平型、貼り付け式）	3	
矢型プラグ	小、赤	2	
(受信機①用)			
リレー	L-5、50 Ω	1	小川精機
ブザー	SMB-01、直流 1.2 ～ 2V	1	スターミニブザー（電子ブザー）
[以下は受信機②でも必要]			
シャーシ	アルミニウム製、No.28R、巾 130、奥行き 80、高さ 35 mm、肉厚 1 mm	1	富士シャーシ（加賀金属）
電池ボックス	単 3 乾電池 2 本用	1	導線付
ターミナル	陸軍式、赤、黒	各 2	
スイッチ	MS-500A、6A.125VAC、1 回路 2 接点	1	トグルスイッチ、ミヤマ電器
ゴムブッシュ	中、小	各 1	
ゴム足	中（ねじ止め式）	4	
(受信機②用)			
リレー	G6C-1117P-US、直流 3 V、基板用	1	オムロン
ブザー	LF-MB12B01、直流 1.3 ～ 2 V、基板用	1	圧電ブザー
万能基板	ICB-90	2 分の 1	サンハヤト
スぺーサ	フェノール樹脂製、黒、長さ 10 mm、両ねじ、3 mm	2	
(共通部品)			
ビス・ナット・座金	2 mm、3 mm、4 mm		電池ボックスにはプラスチック製が適切
木ねじ	中（丸）	2	電鍵の固定用
熱収縮チューブ			
卵型ラグ・圧着端子	3 mm、4 mm		
電線	被覆線（撚り線）		単芯、2 芯

線操縦) の受信機用のリレー（継電器）です^[1]。コイルの直流抵抗が 50 Ω で、3 V の電圧で動作します。2 つ目はオムロンの G6C-1117P-US 型リレーです^[2]。コイルの直流抵抗が 45 Ω で、3 V で動作します。前者は東京神田の科学教材社から通信販売で、また、後者は大阪日本橋の共立電子産業の店頭で購入しました。なお、製作に必要な部品を表 1 に示します。

電信機の回路

今回製作したモールス電信機の全体の回路を図 1 に示します。送信機を 1 台、受信機を 2 台にしました。表 1 の受信機①と受信機②では、リレーやブザーなどの違いがありますが、

回路は同じです。そのため、両者とも同等に使うことが出来ます。また、これらの受信機を中継機として使うこともできます。

図1の左側に示されている送信機は、電池と電鍵で構成されています。送信機の出力端子から2芯の電線(通信線)を介して受信機に信号を送ります。この信号(電流)に従って、リレーが動きます。ただ、リレー(鉄片)の動きによるモールス符号の解読を少しでも容易にするため、受信機に電池を内蔵し、ブザーを鳴らしました。

受信機は中継器としても使えます。ここでは、スイッチを切替えて、ブザーを鳴らすための電流を別の受信機に送ります。これは信号を遠方に送るための工夫です。

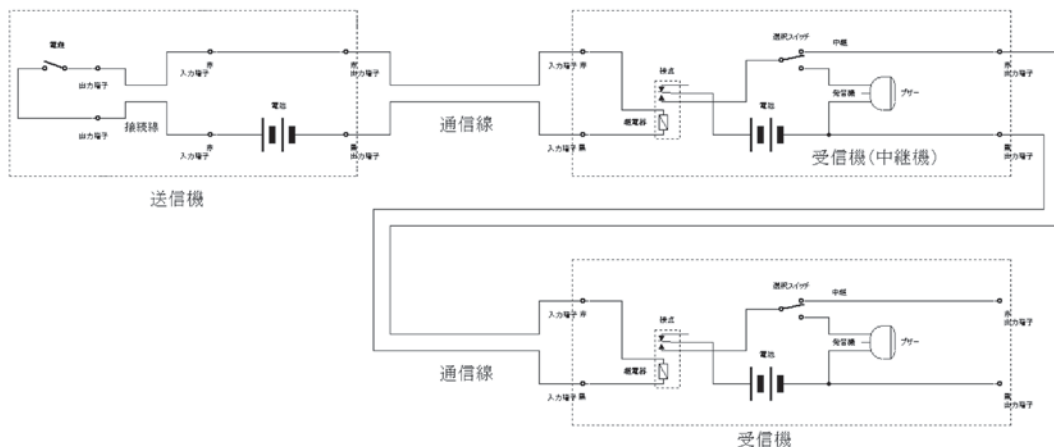


図1 電信機の回路

製作の手順

電信機の信号の流れに従って説明します。まず、電鍵の製作です。ミズホ通信の小型電鍵BK-1を科学教材社の工作(木)板にネジで固定しました。板の裏側には平型のゴム足(両面テープ付き)を3枚貼り付けました(写真1参照)。木が乾燥すると、工作板が反(そ)ることがあります。そのため、ゴム足を3点設置にしました。また、BK-1の動作を確実にするため、接点とその近傍を改造しました(写真2参照)。

BK-1が無い場合にも対応できるように、大和科学教材研究所のスイッチB型を使った電鍵も作りました(写真3参照)。ここでは、ターミナル、ゼット金具、卵型ラグなども使いました。なお、表1が煩雑になるのを避けるため、それらは表から省きました。

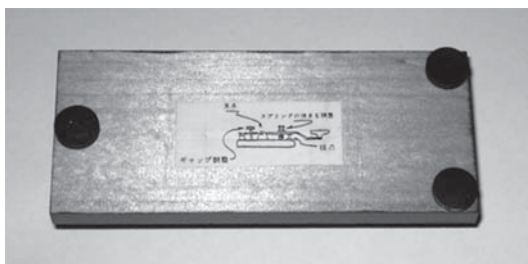


写真1 工作板裏側のゴム足

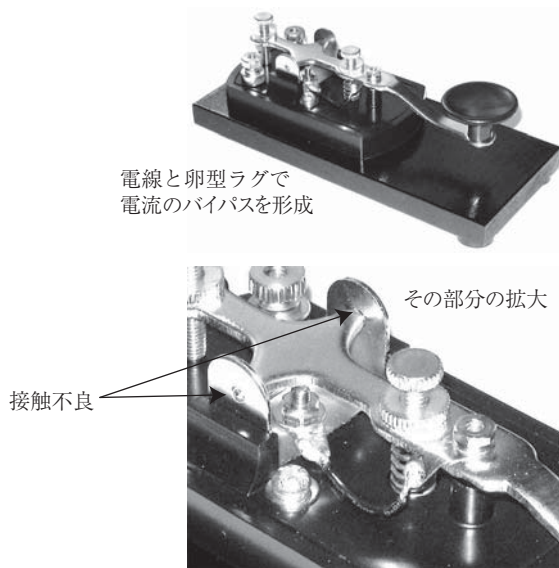


写真2 電鍵の改良

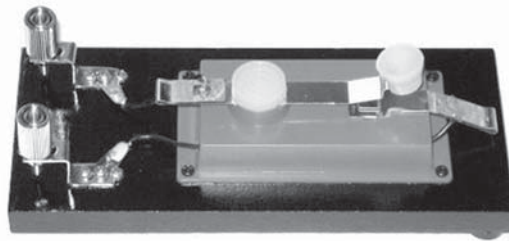


写真3 大和科学教材研究所のスイッチ B 型を利用した電鍵

次は、送信機の製作です。ここでは、“富士シャーシ”という名称で古くから知られているアルミシャーシの内、巾130、奥行き80、高さ35、厚さ1 mmのNo. 28Rを使用しました。このシャーシの加工図が図2です。上側の図がシャーシの上面に、また、下側の図がシャーシの下面に対応しています。送信機では、4個の陸軍式ターミナル（穴は直径9 mm）、電池ボックス（固定用のビスの穴は直径4 mm）、電池ボックスの導線を安全にシャーシの内部に貫通させるためのゴムブッシュをシャーシの上に取り付けました。また、シャーシの下部に、4個のゴム足（固定用のビスの穴は直径4 mm）を取り付けました。

受信機は①と②があります。これらのシャーシの上面の加工図が図3です。上側の図が①のシャーシに、また、下側の図が②のシャーシに対応しています。なお、シャーシの下面は、図2の送信機用のシャーシの加工図の下側と同じです。①では、リレーを取り付けるために直径3 mmの穴を2つ並べて開けました（A）。この穴の1つに2 mmのビスを通してリレーをシャーシに固定しました。もう1つの穴はリレーの位置決め用です。この穴が無いとリレーがシャーシから浮き上がってしまいます。リレーの近くに直径8 mmの穴を開け、ゴムブッシュを取り付け、この穴を通してリレーとブザーの配線をシャーシ内に入れました（B）。ブザーは27 mmの間隔で開けた直径3 mmの2つの穴に2 mmのビスを通して固定しました（C）。ブザーの右隣りに直径7 mmと3 mmの穴を開け、トグルスイッチを固定しました（D）。

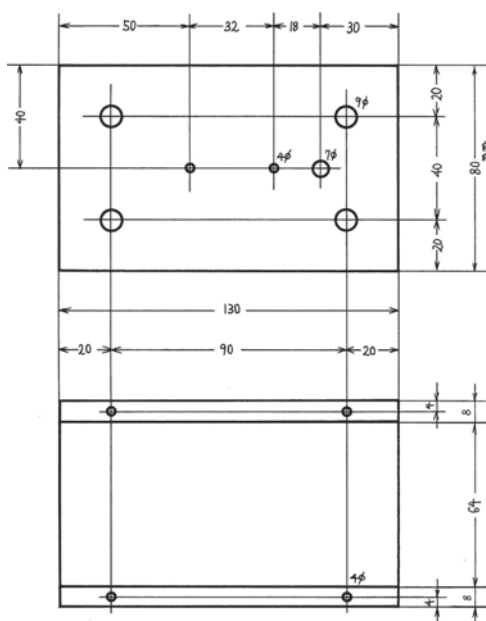


図2 送信機用のシャーシの加工図

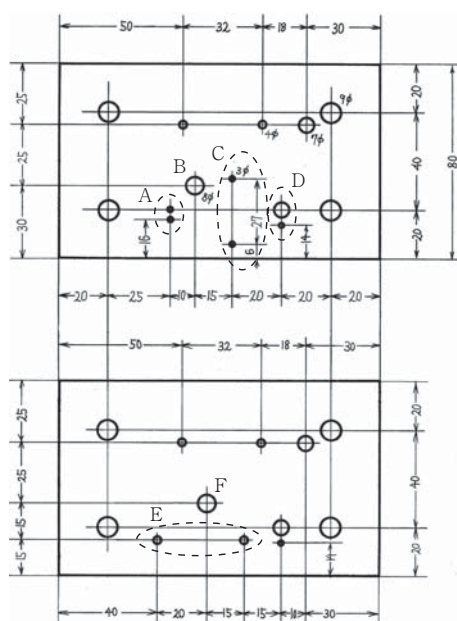


図3 受信機①と②用のシャーシの加工図（上
が①に下が②）

ここでは、7 mm の穴にスイッチの本体が、また、3 mm の穴にスイッチの位置決め用の座金の突起が入ります。

②ではリレーとブザーを載せた万能基板を、スペーサを使ってシャーシに固定しました。このため、35 mmの間隔で直径4 mmの穴を2つ開けました(E)。また、万能基板の近くに直径8 mmの穴を開け、ゴムブッシュを取付けました(F)。

シャーシ等の塗装

黒色のラッカーを使って、シャーシや木板を塗装しました。アルミニウムと塗料の密着を良くするため、まず、紙ヤスリで磨いて、シャーシの表面に細かい凹凸を付けました（写真4参照）。また、木板には、予め（前もって）木ネジ用の下穴を開けました。塗装の工程では、通常、スプレー塗装だけで済ませましたが、塗装面の位置や状態に因って、刷毛塗り（先）とスプレー塗装（後）の併用もありました。

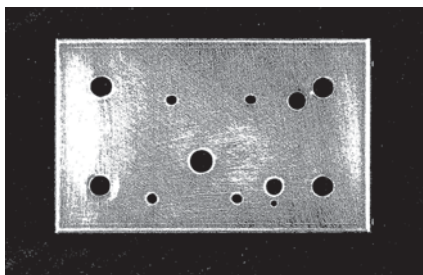


写真4 表面を紙ヤスリで磨いたシャーシ（受信機②用）

送信機と受信機の組立

塗装後、部品をシャーシに取り付け、配線しました。完成した送信機を写真5に示します。電源（電池）の極性（正、負）を意識して、電鍵を繋ぐターミナルと電池の正極に繋がったターミナルの色を赤、また、電池の負極に繋がったターミナルの色を黒にしました。

受信機①の場合は、リレーの端子への配線を先に行い、その後にリレーをシャーシに固定しました。また、スイッチについても配線を先に行いました。小型の部品の端子への半田付けが難しいので、そのように、組立と配線の順序を工夫しました。受信機①の外観と内部を写真6に、また、受信機②の外観を写真7に示します。なお、受信機①と②の外見上の違いは、リレーとブザーの固定方法だけです。

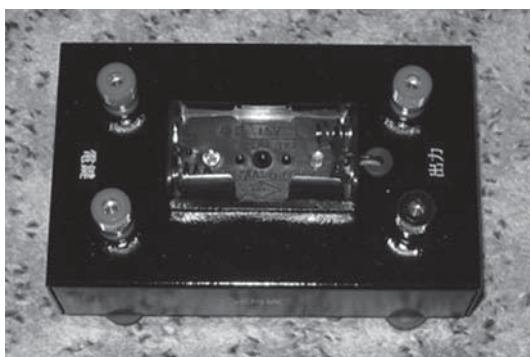


写真5 完成した送信機

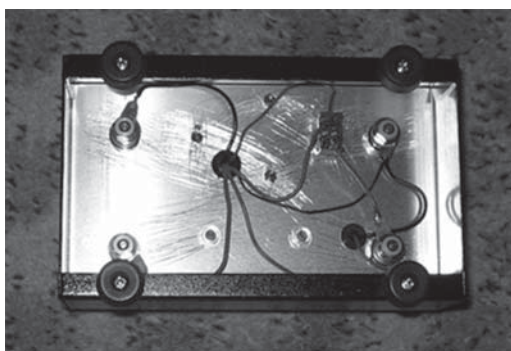
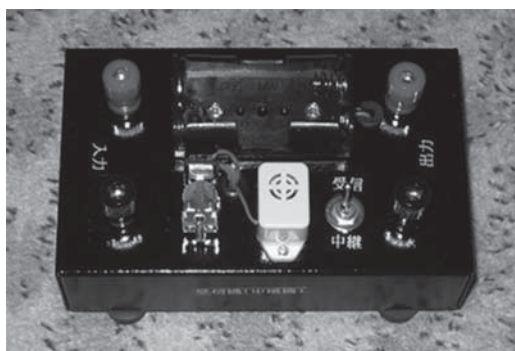


写真6 完成した受信機①の外観（左）と内部（右）

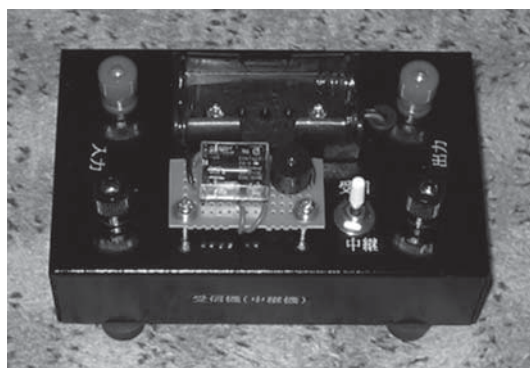


写真7 完成した受信機②

モールス通信の実験

この実験における電信機のシステムの最も簡単な構成を写真8に示します。電鍵と送信機の間と、送信機と受信機の間を、それぞれ、接続線と通信線で結びました。この通信線の長さは6 mです。実際に電鍵を押して、モールス符号を送りました。この符号は表2の通りです。短点と長点の組み合わせがアルファベットの文字や数字などに対応しています。実験の結果、短点が極端に短い場合、受信機①の（電子）ブザーが鳴らないことが分かりました。通電時の応答の遅れが原因のようです。受信機②では、応答の早い圧電ブザーを使ったので、短点の長さに関係なく発音しました。受信機①、受信機②とも、中継器として使えることを確かめました。このときの様子を写真9に示します。

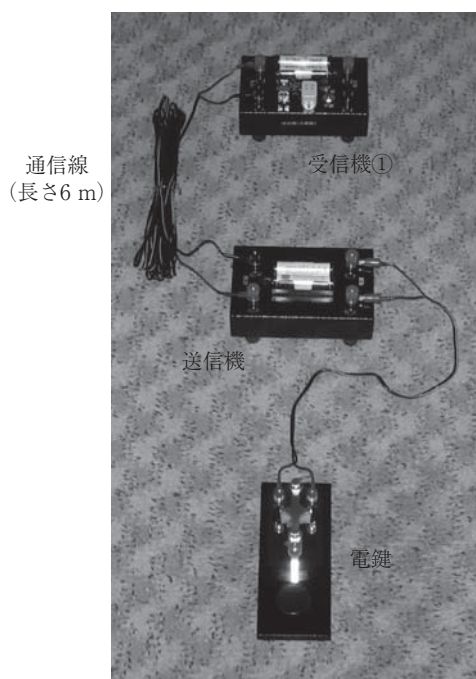


写真8 電信機の構成

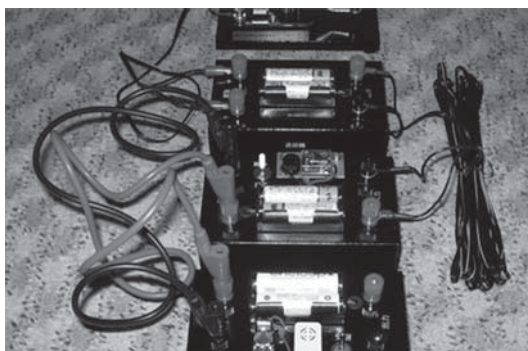


写真9 送信機と受信機①の間に入れた中継器（受信機②）

表2 モールス符号

欧文符号		数字	
A	・－	1	・－－－
B	－・・・	2	・・－－
C	－・・・	3	・・・－
D	－・・	4	・・・－
E	・	5	・・・・・
F	・・・・・	6	－・・・・・
G	－・・・	7	－－・・・
H	・・・・	8	－－・・・
I	・・	9	－－－・・・
J	・－－－	0	－－－－
K	－・・・		
L	・－・・・		
M	－－	記号	
N	－・	終止符 (.)	・－・・・
O	－－	小読点 (.)	－－・・・
P	・－・・・	重点 (:)	－－・・・
Q	－・・・	疑問符 (?)	・・－・・・
R	・－・・・	訂正符号	・・・・・・・
S	・・・	/	－・・・
T	－	@	・－・・・
U	・・－	(注)	一部のみ記載
V	・・・・	①	1線の長さは3点に等しい。
W	・－	②	1符号を作る各線、又は、点の間隔は、1点に等しい。
X	－・・・	③	2符号の間隔は3点に等しい。
Y	－・・・	④	2語の間隔は7点に等しい。
Z	－－・・・		

まとめ

一方向だけの通信になりましたが、取りあえず、モールス電信機の製作と実験を終えることが出来ました。その後、神戸市立工業高等専門学校における電気化学の講義で学生にこの電信機を紹介しましたが、演示を見た学生の反応は低調でした。最近の学生は“技術史”にあまり関心が無いようです。知識や教養の巾を広げるためにも、ダニエル電池や電信機などについて知ることが、学生にとって大切であると著者は考えています。

参考文献

- [1] 科学教材社, 特別在庫品 #080 ミニチュアリレー, <http://www.kagakukyozaisha.co.jp/front/rare.html>.
- [2] オムロン, 形 G6C-1 パワーリレー, http://www.omron.co.jp/ecb/products/pry/121/g6c_1.html#Ratings.

第3章 ラジオとオーディオ

著者とラジオとの関わりについては、“ラジオ技術”の2005年1月号の191～193頁に紹介されています。小学校の4年生の頃に最初に製作したラジオがゲルマラジオです。自宅近くの電器店から部品を購入し、プラスチック製の箱を加工してラジオを製作しました。その後、中学に進んで真空管式の3球ラジオを組み立てました。真空管の構成は、76（3極管、再生検波）、6ZP1（5極管、電力増幅）、12F（2極管、整流）でした。このラジオは意外に感度が良く、これに気を良くして、6BE6を使った短波コンバータを製作しました。このお陰で7 MHzのアマチュア無線が傍受できるようになりました。これが、著者がアマチュア無線に興味を持ち、活動する切っ掛けになりました。

著者のラジオ製作の実績は、実のところ、その程度です。著者の場合、ラジオを自作するよりも市販品を購入することが多く、ラジカセを含め、これまでに多数の製品を購入し使いました。しかし、近年再びゲルマラジオに興味を持ち、これを中心にして電子工作を楽しみました。第1節でその顛末を紹介します。また、第2節でその延長線上にあるトランジスタ2石の直結ラジオを紹介します。第3節ではラジオに関連したイヤホンプラグの使い方を考えました。時の流れとともに、日本のもの作りを象徴する“Made in Japan”が消えようとしています。円高などの影響を受け、国内の工場を海外に移転する企業が増えました。その結果、従来の常識と異なる製品が生まれています。更に、第4節でラジオ受信機のスイッチ付きボリュームの得失を考えました。これも物作りのあり方を考えさせる事例です。

ところで、回路が簡単で音が良いという理由で著者は真空管アンプを愛用しています。今から40年ほど前、著者が学生だった頃、12AX7-30A5(×2)という構成のトランスレス（もちろん電源トランスです）式のシングルステレオアンプの製作が最初でした。その後しばらく空白期間がありましたが、35C5(×2)+35W4（整流管）という構成のトランスレス式のシングルステレオアンプと[12AX7(×2)-6AR5(3結)(×4)]+6CA4（整流管）という構成のプッシュプルステレオアンプを製作する機会がありました。それらのアンプの内、前者については、“ラジオ技術”の1990年8月号（201-202頁）で、また、後者については、“無線と実験”の1992年7月号（152～153頁）で発表しました。

その後再度の空白が生じました。生活環境が時々刻々変化するため、そのような空白の発生はやむを得ないと思います。しかし、著者の定年退職を契機に、アンプ作りの3度目の機会が巡ってきました。この中で、著者が最近製作したアンプを第5節で紹介します。また、第6節でスピーカーに関する話題を取り上げました。なお、久々の登場になりますが、第7節で真空管の保管箱の製作について解説します。

第1節

短編を集めて総説を作成

ゲルマラジオの製作を振り返って

はじめに

“ラジオ技術”の1998年11月号から2010年7月号にかけて、ゲルマラジオやトランジスタラジオ、ICラジオに関する製作や実験を中心にして、一連の報告を行いました^[1-19]。この切っ掛けは、科学教材社が発売している“SPG スパイダー式ゲルマラジオ”のキットの購入にあります（写真1参照）。このキットに工夫を加えて、自分なりに新規性のあるラジオを製作しようと考えたことが出発点になりました。

著者が小学生の頃に製作したゲルマラジオのイヤホンはクリスタルイヤホンという名称の正真正銘のクリスタル（正確には、ロッシェル塩と呼ばれる酒石酸カリウムナトリウムの結晶）を使ったイヤホンでした。ところが、科学教材社から購入したキットに付いていたイヤホンは、圧電素子を使ったセラミックイヤホンでした。電子技術の進歩がこのような変化をもたらしたのだと思いますが、そのことが切っ掛けで、それらのイヤホンと異なるイヤホンが使えるゲルマラジオの製作を思い立ちました。

ラジオのイヤホンとしては、クリスタルイヤホンやセラミックイヤホンの他に、マグネチックイヤホンやダイナミックイヤホンがあります。マグネチックイヤホンは、日本でラジオ放送が開始された頃に鉱石ラジオの受話器として使われたことがあります。そのため、ダイナミックイヤホンに着目し、ゲルマラジオの製作を始めました。その製作の変遷は参考文献に示した通りです。



写真1 科学教材社の SPG スパイダー式ゲルマラジオのキット

ダイナミックイヤホンが鳴らせるゲルマラジオを実現する要点は、①ラジオの同調回路にQの高いインダクタ（コイル）を使う。ここで、 $Q = (2 \pi f L)/R$ 、なお、 f はラジオが同調した電波の周波数（Hz）、 L は同調用のインダクタのインダクタンス（H）、 R はインダクタの実効抵抗（ Ω ）です。②検波回路に適切な検波器（ダイオード）を使う。③検波回路からの音声信号を能率良くダイナミックイヤホンに送るために、低損失のトランス（変圧器、変成器）を使って、インピーダンスを整合（マッチング）する。④能率（音圧）の高いダイナミックイヤホンを使用する。ことだと思います。

主要な部品

まず、インダクタについてはバーアンテナコイルのPA-63Rが、また、バリコンについては中波用のポリバリコンが良いと思います。PA-63RのQが比較的大きいこと（150以上）、また、空気バリコンと比べて、ポリバリコンの性能や信頼性に遜色が無いことが、その理由です。

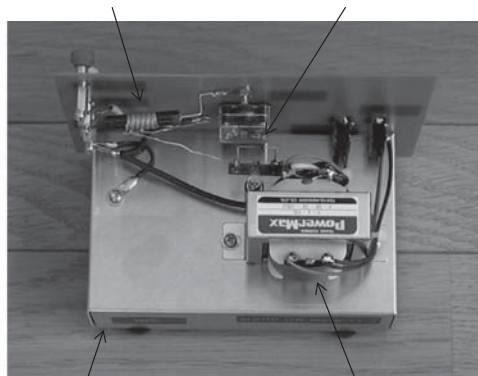
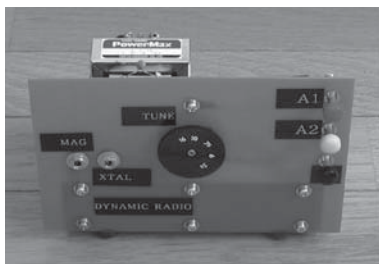
次に、検波用のダイオードについては参考文献^[3, 19]で述べましたが、秋月電子通商から購入したBAT43という型番のショットキーバリアーダイオードが最良でした。このダイオードでは順方向、逆方向共に電流が流れ難い点が懸念されましたが、実際に使った結果は1N60や1SS108より良好でした。

著者のゲルマラジオでは、小型で安価で、しかも受け入れ可能な性能であるという点から、インピーダンスの整合のために、ST-32を使ってきました。しかし、1次側のインピーダンスが1.2 k Ω と低いことが気掛かりでした。そこで、ST-32よりもインピーダンスの高いトランスを集めました。文献^[16]ではOUT-1Hを紹介しましたが、これよりも、ノグチトランスのPMF-230の方が優秀でした。このトランスの1次側のインピーダンス（12 k Ω ）がゲルマラジオに適合しているのかも知れません。また、PMF-230のように形状の大きなトランスが検波後の音声信号の低損失伝送に効いているのかも知れません。

ラジオの組み立て

図1が今回製作したラジオの回路図です。基本的には1998年当時と変わっていません。しかし、PMF-230が大きいので、当時から愛用してきた“蒲鉾板”を使うことが出来ませんで

バーアンテナコイルPA-63R 検波用ショットキーバリアーダイオードBAT43



アルミシャーシNo.28R 管球アンプ出力トランスPMF-230

写真2 最新機の前景（左）とシャーシ上部（右）

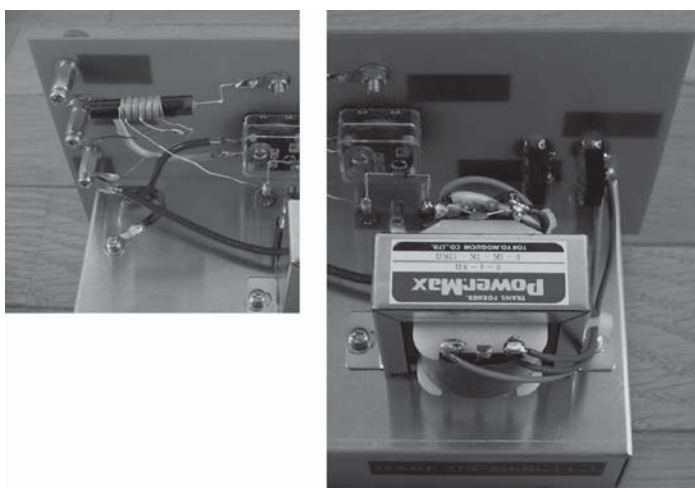


写真3 バーアンテナコイル（左）とトランス（右）近傍の配線の様子

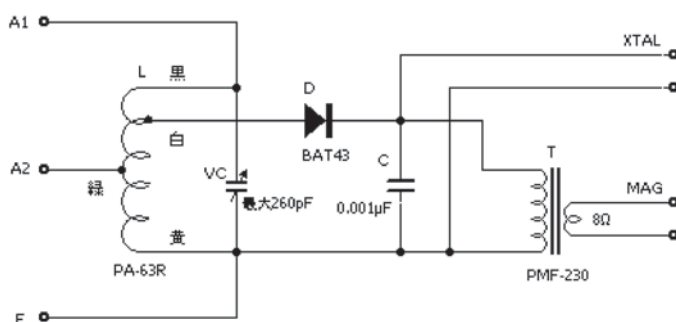


図1 最新型ゲルマラジオの回路

した。そのため、電池管検波ゲルマラジオなどで採用したアルミシャーシとベーク板を使用しました^[15, 16, 18, 19]。写真2が完成したラジオです。また、写真3がシャーシ上の配線の様子です。

更なる変更

イヤホンについては文献^[6]で検討しましたが、その後、小型ながら高い音圧（114 dB/mW）のダイナミックイヤホンを見つけました^[15]。このイヤホンはモバイルライフのSHE-01K型（ステレオ用）です。今回はこれを分割してモノラル用に改造しました。写真4の左側にあるものがそれで、ゲルマラジオのMAGのジャックに繋ぎました。このような両耳聴取から片耳への変更は好結果をもたらしました。また、同じ片耳ながら、ラジオの聴取において、セラミックイヤホンよりもダイナミックイヤホンで大きな音が聞こえました。

更に、500 V、100 pFのスチロールキャパシタ（コンデンサ）を介した電灯線アンテナをA1の端子に、また、Eの端子と窓のアルミサッシの間を電線で繋いだ従来と同じ条件で、小型のダイナミックスピーカーを鳴らすことができました（受信場所が送信所から離れているため^[17]、音量は僅かでした）。

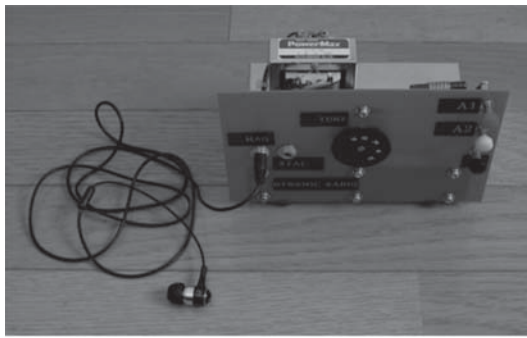


写真4 SHE-01K型ダイナミックイヤホンを付けたゲルマラジオ

まとめ

アンテナから入った電波を効率の良く音声へ変換するための部品の選定が重要であることを今回の一連の製作と実験の結果が示しているようです。著者はこれまでに多数のゲルマラジオを製作しましたが、名実ともに今回のものが最高でした。ここに至るまで11年を要しましたが、この間のラジオ作りを通して色々楽しむことができました。なお、遅ればせながら、PA-63Rに関する資料等をご提供下さいましたサンコー電子の笠井様に心から御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 棚瀬繁雄, “ダイナミック型イヤホンを鳴らせるゲルマラジオ”, ラジオ技術, 1998年, 11月号, 60-61頁.
- [2] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 同調コイルを変えてみた”, ラジオ技術, 2000年, 2月号, 45-47頁.
- [3] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 インダクタ式と検波器の実験”, ラジオ技術, 2000年, 10月号, 63-65頁.
- [4] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 インピーダンス整合の実験”, ラジオ技術, 2001年, 10月号, 61-63頁.
- [5] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 トロイダルコイルに再挑戦”, ラジオ技術, 2002年, 3月号, 15-17頁, 126頁 (ONLY ONE PRODUCTS).
- [6] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオ用イヤホンの研究 6種類のイヤホンの能率を比べる”, ラジオ技術, 2002年, 7月号, 62-65頁.
- [7] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 Qメーターでコイルの特性を評価”, ラジオ技術, 2003年, 8月号, 158-161頁.
- [8] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 μ 同調方式の検討”, ラジオ技術, 2004年, 3月号, 158-160頁.
- [9] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオが取りもった縁 もっとハードウェアに目を向けてほしい”, ラジオ技術, 2005年, 1号, 191-193頁.
- [10] 棚瀬繁雄, “1石トランジスタ検波ラジオを作る”, ラジオ技術, 2005年, 5月号, 140-144頁.
- [11] 棚瀬繁雄, “トランジスタ増幅回路付きラジオの製作 ゲルマラジオの発展型として”, ラジオ技術, 2005年, 12月号, 155-156頁.

- [12] 棚瀬繁雄, “レフレックスラジオを作る ゲルマラジオの延長線で”, ラジオ技術, 2006 年, 4 月号, 152-153 頁.
- [13] 棚瀬繁雄, “1 チップ IC で高感度ラジオを作る ゲルマラジオの延長として”, ラジオ技術, 2007 年, 7 月号, 153-154 頁.
- [14] 棚瀬繁雄, “初の国産ラジオに感銘 シャープ歴史・技術ホールを訪ねて”, ラジオ技術, 2008 年, 11 月号, 157-158 頁.
- [15] 棚瀬繁雄, “電池管 1U5 を検波に使ったゲルマラジオを作る”, ラジオ技術, 2009 年, 8 月号, 139-141 頁.
- [16] 棚瀬繁雄, “検波用電池管を 1A3 に変更 ゲルマラジオを作る 改良編”, ラジオ技術, 2009 年, 9 月号, 130-131 頁.
- [17] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオも放送局次第 自宅近くの電波状況を調べる”, ラジオ技術, 2009 年, 11 月号, 154-155 頁.
- [18] 棚瀬繁雄, “快適なバリキャップ同調 ゲルマラジオも進化しています”, ラジオ技術, 2009 年, 12 月号, 152-155 頁.
- [19] 棚瀬繁雄, “11 年かかってついに完成 ゲルマラジオ最終版”, ラジオ技術, 2010 年, 7 月号, 141-143 頁.

第2節

キットを工夫して楽しむ

2 石直結ラジオの製作

はじめに

ラジオの製作の入門用がゲルマラジオとするならば、その発展型がトランジスタラジオやICラジオになると思います。1998年から2010年にかけての一連の製作の中で、著者は後者のラジオを4台作りました^[4]。ただ、これらのラジオでは、増幅機能を備えた素子の数が1個でした（ここでは、ICも1個と見なしました）。そこで、次ぎの段階として、素子の数が2個のラジオの製作を計画しました。

“科学教材社”では、これに答えることのできるキットを用意しています。“2石直結イヤホンラジオ”^[5]と“簡易型直結2石短波ラジオ”^[6]がこれに該当します。2012年の11月頃、東京に出かけた折に、著者は店頭で後者を買いました。これは前者より値段が高かったのですが、ベークライト製のパネルが付いているのが魅力でした。ただ、そのまま組み立てる事はせず、著者なりの工夫を盛り込みました。以下にその顛末を紹介します。

設計の変更

購入した2石短波ラジオキットを写真1に示します。組み立てに必要な部品と説明書が袋に詰められていました。このキットでは2SC1815（Y）というNPN型のトランジスタを2個使うことになっています。エネメル線を円筒に巻いて、コイルを自作します。同調回路のアンテナ側に、50 pFのセラミックキャパシタを繋ぎ、この先に更にアンテナ線を繋いで放送を受信します。2個のトランジスタの内、1つ目（TR1）が検波用、2つ目（TR2）が低周波信号の増幅用です。TR1のエミッタとTR2のベースが直結され、ここで検波回路からの低周波の信号が増幅回路に伝わります。TR2のエミッタからスイッチを経て、電池（単3、1本）、



写真1 科学教材社の2石短波ラジオキット

出力トランス (ST-30)、TR2 のコレクタの順に電流が流れます。ST-30 は 2 次側の巻線の一部が 1 次側の巻線を兼ねる単巻のトランスで、セラミックイヤホンを能率よく鳴らすために使われています。

ただ、今回は同調コイルを自作せず、バーアンテナコイルの PA-63R を使いました。そのため、短波ラジオではなく、中波ラジオになりました。また、TR1 と TR2 に、それぞれ、2SC373 と 2SA561 (Y) を使いました。更に、出力トランスに ST-32 を使い、セラミックイヤホンとダイナミックイヤホンの両方を使うことが出来るようにしました。この結果、出来上がったラジオの回路を図 1 に示します。これらの変更に伴って、写真 2 に示した部品が余ることになりましたが、いずれも新品であるため廃棄せず、保管して他で活用する予定です。

今回の設計変更の理由の一つに、回路の接地の明確化を上げることが出来ます。トランジスタ 2 石の直結はダーリントン接続に相当し、それぞれのトランジスタの電流増幅率の積に相当する大きな増幅率が得られます。2SC373 の電流増幅率が約 100、また、2SA561 (Y) のそれが約 100 ですから、全体として、約 10,000 の増幅率になります (種々の要因で、実際には、これより小さい値になります)。このように増幅率が大きい場合、回路の発振が問題になることがあります。そのため、同調コイルの片側 (接地側)、TR1 のエミッタ、出力トランスの 1

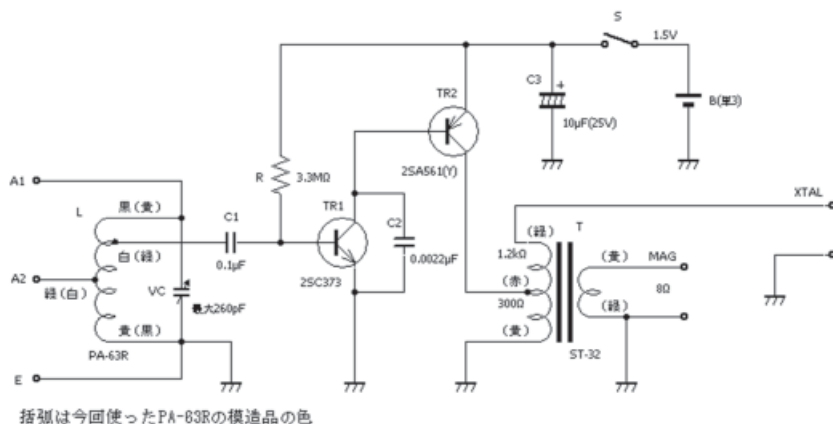


図 1 2 石直結ラジオの回路

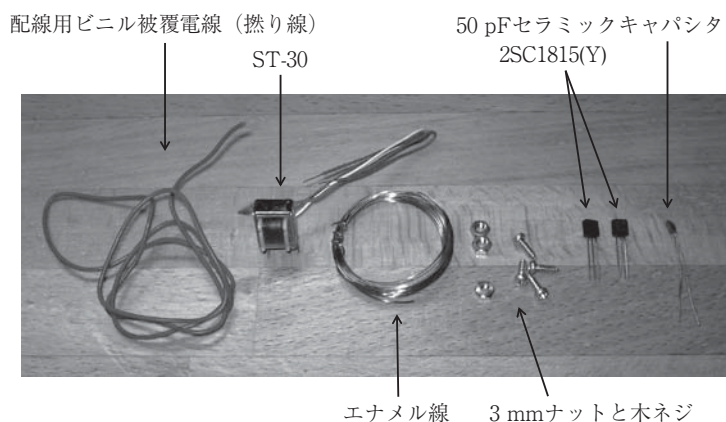


写真 2 キットの部品の余り

次巻線を接地できるようにしました。ただ、これだけでは不十分で、実際に発振が起きました。そこで、出力トランスの2次側を接地しました。これで発振が止まり、放送を正常に受信することが出来ました。

ラジオの組立て

幅10 cm、奥行き6 cm、厚さ1 cmの木板と幅10 cm、高さ7 cm、厚さ1 mmのベークライト板を使ってラジオを組立てました。これらがシャーシや筐体(骨組み)になります。キットに付いていたベークライト板の加工状態を図2に示します。これに穴を追加しました。まず、電源スイッチ用の穴の近くに小穴を開けました。この小穴は、電源スイッチのワッシャに付いている突起を収容するためのものです。現物に合わせて確認して下さい。更に、ターミナルを取付けるための穴をパネル板の右側に縦に3箇所開けました。また、イヤホンジャックを取り付けるための穴を左下に縦に2箇所開けました。ただ、この2つの穴の下側については、イヤホンのコードの引き出し用に開けられていた穴の拡大で対応しました。写真4や5から分かるように、パネル板と木板の固定を強化するためにエル(L)金具を使いました。このための穴もパネル板の中央に2箇所開けました。市販のキットでは、価格を下げるために、機械的な強度を犠牲にする傾向があるようです。そのため、回路や部品だけでなく、部品を収容するためのシャーシや筐体の機械的な強度にも注意が必要です。

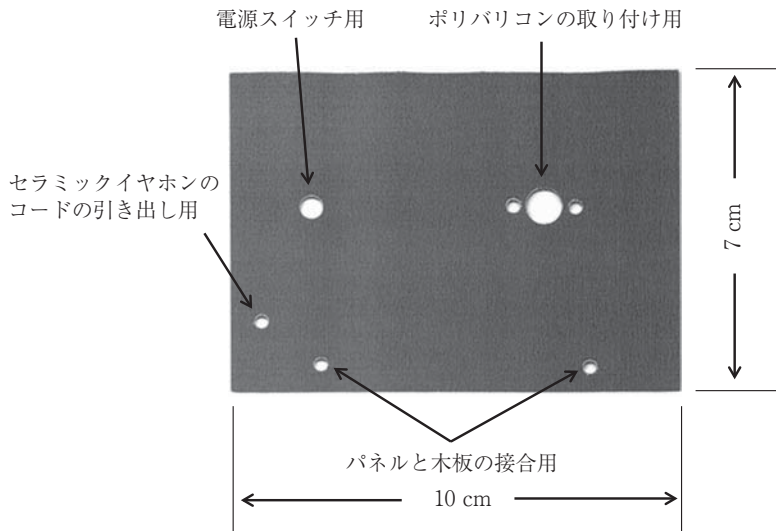


図2 キットに付いていたパネル板

ラジオの組立ての参考として、写真3、4、5を示します。トランジスタ、抵抗、トランスなどを6Pの溝付き平ラゲ板の上に設置しました。ただ、今回の製作では、 $0.0022\ \mu\text{F}$ のキャパシタに対して $0.1\ \mu\text{F}$ のセラミックキャパシタを並列に入れることになってしまいました。これには理由があります。最初は $0.0022\ \mu\text{F}$ のキャパシタだけを使いましたが、この容量がトランジスタ検波に不十分なようで、放送の音声が歪んでいました。そこで、歪み低減のために、キャパシタの容量を増やすことにしました。ただ、最初に付けたキャパシタを外すことが難しく、安直に $0.1\ \mu\text{F}$ のキャパシタを後付けすることになりました。なお、このキャパシタの容量に関して著者が調べた範囲では、多くの製作で $0.1\ \mu\text{F}$ になっていました^[1, 7]。ト



写真3 2石直結ラジオの正面

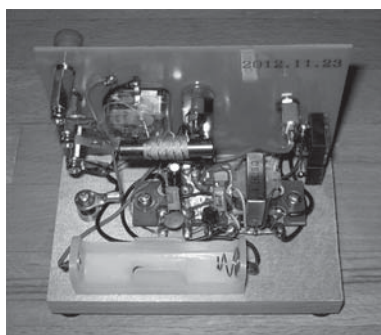


写真4 ラジオの裏側

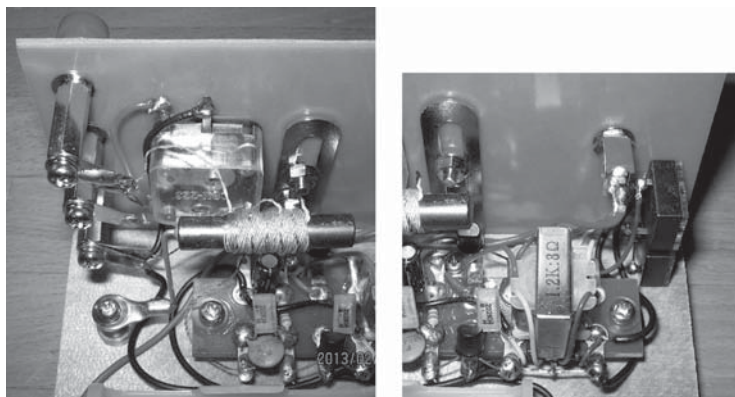


写真5 6Pの溝付き平ラグ板近傍の部品の配置

ランジスタ検波のラジオでは、音質や感度の点で、この容量が最適なのかも知れません。

完成後のラジオにセラミックイヤホンを繋いだ様子を写真6に示します。電池1本(1.5V)だけで放送を受信できました。著者が住んでいる池田市(大阪府)で、ラジオ関西(558 kHz)、NHK第1(666 kHz)、NHK第2(828 kHz)を外部アンテナ無しで実用的な音量で受信出来ました。また、耳で囁くような音ですが、朝日放送(1008 kHz)、毎日放送(1179 kHz)、ラジオ大阪(1314 kHz)もアンテナ無しで受信できました。トランジスタ検波と低周波増幅の組み合わせがそのような結果に繋がったのだと思います。また、ST-32の使用の結果、ダイナミックイヤホンでの聴取も出来ました。今回のラジオは、木板とパネル板が小型であ

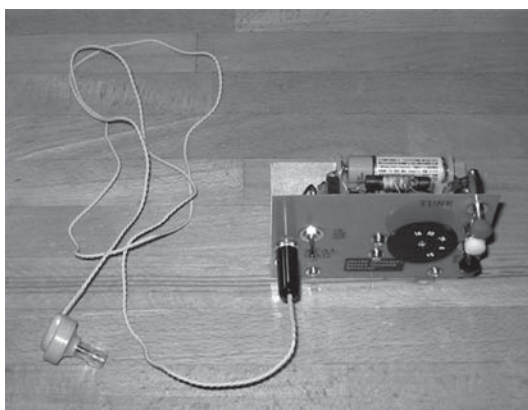


写真6 セラミックイヤホンを付けたラジオ

るため、利便性も良好です。机上や寝床でも不便を感じませんでした。今回の製作で著者はラジオ作りの面白さを今まで以上に実感することが出来ました。ラジオ作りの今後が楽しみです。

参考文献

- [1] 棚瀬繁雄, “1 石トランジスタ検波ラジオを作る”, ラジオ技術, 2005 年, 5 月号, 140-144 頁.
- [2] 棚瀬繁雄, “トランジスタ増幅回路付きラジオの製作 ゲルマラジオの発展型として”, ラジオ技術, 2005 年, 12 月号, 155-156 頁.
- [3] 棚瀬繁雄, “レフレックスラジオを作る ゲルマラジオの延長線で”, ラジオ技術, 2006 年, 4 月号, 152-153 頁.
- [4] 棚瀬繁雄, “1 チップ IC で高感度ラジオを作る ゲルマラジオの延長として”, ラジオ技術, 2007 年, 7 月号, 153-154 頁.
- [5] 科学教材社, <http://store.shopping.yahoo.co.jp/kagaku/br-2.html>.
- [6] “簡易型直結 2 石短波ラジオ”, 泉弘志 編, 図解 1-2 石ラジオ製作集, 139-142 頁, 1975 年, 誠文堂新光社.
- [7] 伊藤尚未, “KIDS 電子工作 コイル チャレンジ編 シンプルな回路で AM ラジオを受信 コレデモラジオ”, 子供の科学, 2012 年, 11 月号, 61-63 頁.

第
3
節

確実な音出しに望まれる回路の選択

イヤホンプラグの使い方を考える

はじめに

ラジオやオーディオ機器の小型化に伴って、イヤホンを利用する機会が増えました。著者の場合、鞆の中にラジオを入れて持ち運び、放送を聞くことがあります。しかし、電車やバスなどの公共の場所では、ラジオのスピーカーを使いません。著者にとって心地良い音であっても、他人にとって不快な音になることがあるからです。ここで、イヤホンが活躍します。

著者の場合、他にもイヤホンを使う理由があります。これまでゲルマラジオの製作に関して報告しましたが、このラジオは増幅回路を持たないため、音のエネルギーは電波の微弱なエネルギーだけです。そのため、ラジオの聴取で音を効率的に耳に届けるために、音が拡散するスピーカーを使わず、耳元に音を集中できるイヤホンを使っています。このイヤホンの使い方に関しては、既に報告しました^[1-3]。

ところが、最近購入した携帯型のラジオ受信機（ELPA ER-20T）で、著者はイヤホンの特異な使い方を発見しました。これは、今までに見聞きしたことのない手法です。そこで、この用例の紹介を兼ねて、改めてイヤホンの使い方を考えたいと思います。

問題のラジオ

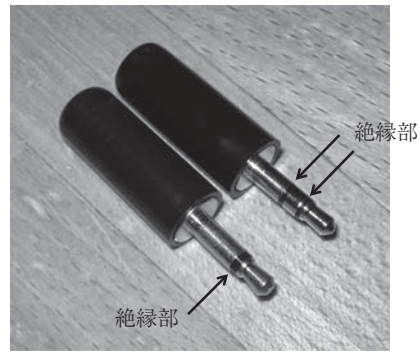
まず、誤解の無いように願いたいのですが、価格や性能から総合的に判断すると、そのラジオは著者にとって満足できる商品です（写真1参照）。この左下のイヤホンジャックにイヤホンのプラグを差し込みます（写真2参照）。ER-20T に付属していたイヤホンは両耳（ステレオ）用で、プラグの形状は写真3の右上にあるような形でした。著者の場合、普段両耳のイヤホンでラジオを聞くことはありません。両耳がラジオの聴取で塞がっている状態は、安全上問題があるからです。参考までに、通常のステレオ用のイヤホンの結線図を図1（b）に示します。ここで、プラグに注目すると、このプラグとジャックの関係は、図2（b）の様になっています。そのため、著者は図1（a）の様なモノラル用のイヤホンを自作して使ってい



写真1 ELPA ER-20T 型ラジオ受信機



写真2 受信機のイヤホンジャック

写真3 イヤホンプラグ：
モノラル用（左下）；ステレオ用（右上）

ます。このプラグであれば、図2 (b) のジャックに差し込んでモノラルの音を聞くことができます。市販のモノラル用のイヤホンでは、写真3の左下の様なプラグが使われています。このプラグは図2 (c) の様なモノラル用のジャックに差し込むときはよいのですが、ステレオ用のジャックに差し込んだときは、(d) の様にステレオの片側（通常、R、右側）の回路が短絡します。この短絡は機器の故障などの原因になるので、できる限り避けることが好ましいと思います。図1 (a) のようなモノラル用のイヤホンであれば、プラグとジャックの関係が図2 (a) の様になるので、機器の安全な使用と音声出力の取り出しが両立できます。

実は、モノラル用に自作したイヤホンの図1 (a)、図2 (a) に対応するジャックを ER-20T のジャックに差し込んで、著者はラジオを聞こうとしました。ところが、音が出ませんでした。不思議に思い調べた結果、音が出ない原因が ER-20T のジャックにあることが分かりました。このラジオのイヤホンジャックの結線は、図3のようになっていました。ラジオの内部を調べて確認しました。結果的にラジオを壊すことになりましたが、写真4を撮ることが出来ました。L、R チャンネルで共通に使われるはずの部分がラジオの回路に繋がっていませんでした。このジャックにステレオ用のイヤホンのプラグを差し込むと、図1 (c) の様

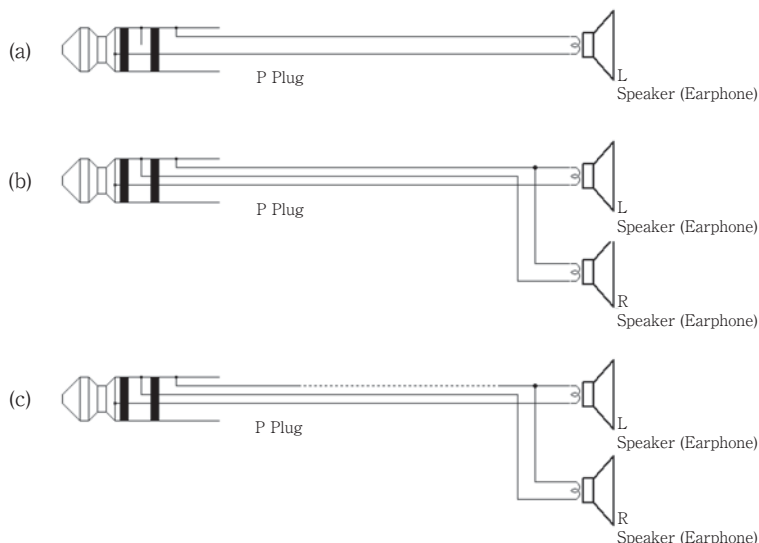


図1 プラグとイヤホンの結線

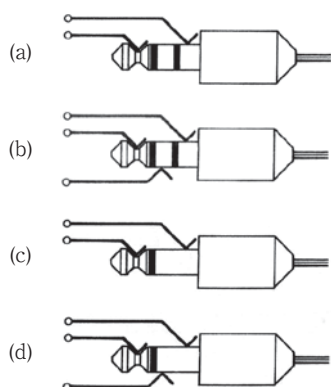
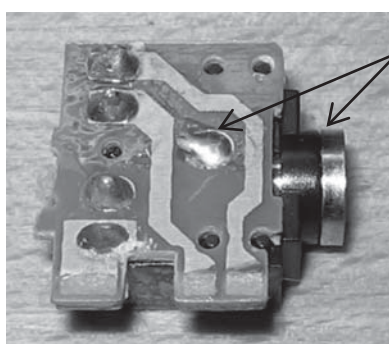


図2 プラグとジャックの結線



図3 ELPA ER-20T 型ラジオ受信機の
プラグとジャックの結線



LとRに共通な部分がラジオの回路に繋がっていない。半田付けは、部品の固定に役立っているだけ？

写真4 ER-20T から外したイヤホンジャック

になります。これであれば、2端子の出力でステレオ用のイヤホンを鳴らすことができます。ただ、モノラルの出力にステレオ用のイヤホンを繋がないければならないことに著者は違和感を覚えました。

まとめ

ER-20T で図3の様な結線が行われた理由については、現時点では推測の域を出ませんが、「多分、ラジオの機能を損なわない範囲で部品の共通化と回路の簡素化を図ったのであろう。」と、著者は考えています。現在、ラジオ等の電子機器では価格競争が激しく、製造原価を下げる努力が求められています。この傾向はやむを得ないかも知れませんが、著者は“もの作り”の王道から外れていると感じています。著者の製作では、プラグとジャックの適切な関係の維持に努めています^[3]。

ER-20T の様な電子機器の登場が著者の頭の体操になりました。機器で起こる現象を解き明かす過程は、楽しみの一つです。どのような機器が今後登場するか楽しみです。

参考文献

- ^[1] 棚瀬繁雄, “ゲルマ・ラジオの高性能化 トロイダル・コイルに再挑戦”, ラジオ技術, 2002年, 3月号, 15-17頁.
- ^[2] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオ用 イヤホンの研究”, ラジオ技術, 2002年, 7月号, 62-65頁.
- ^[3] 棚瀬繁雄, “快適なバリキャップ同調”, ラジオ技術, 2009年, 12月号, 152-155頁.

第4節

部品点数の削減が機器の信頼性の低下をもたらす

ラジオ受信機のスイッチ付きボリュームの得失を考える

はじめに

著者はラジオ受信機の愛好者です。ゲルマラジオから真空管ラジオやトランジスタラジオなど、これまでに色々なラジオを使ってきました。この第一の理由は、ラジオの優れたコストパフォーマンス（費用対効果）にあります。著者が最近使ったラジオは、パナソニックのAMラジオ（レシーバー、受信機）R-P30-S（シルバー、筐体が銀色）です。大阪の梅田にあるヨドバシカメラで、2013年2月15日に930円で買いました。この価格は驚異の低価格です。原産地はインドネシアで、ポリプロピレン製の袋に商品が入っていました。また、モノラルのイヤホンと乾電池が同封されていました。

使用開始から半年ほどの間、ラジオは問題なく動作しました。しかし、その後、音量調整用のボリューム（可変抵抗、50 k Ω （実測値 47 k Ω ））に不具合が発生しました。スイッチを入れるときや音量を上げるときに、雑音が出るようになりました。当初は軽微でしたが、次第に大きくなりました。

使われていたボリュームは、スイッチ付きのものです。そのため、電源の入り切りに伴って、ボリュームが回りました。つまり、音量ゼロの位置と通常の音量の位置の間をボリュームが入ったり来たりしました。参考として、スイッチ（S）付きボリュームの使い方の例を図1に示します。このようにして、S付きボリュームでは、使用に伴って、抵抗体（固定側、図1の1と3の間）の3に近い部分が摩耗します。この摩耗によって、雑音が発生するようになります。このような不調を避けるには、電源スイッチとボリュームを分けることが望ましいのですが、部品点数の削減や組み立て工程の簡素化などによる生産コストの削減を考えると、躊躇（ちゅうちょ）せざるを得ないようです。

著者の場合、価格を考えると、ボリュームが不調になったラジオを廃棄して新しいものを買うのが賢明かも知れません。しかし、このようなラジオの使い捨ては、本意ではありません。

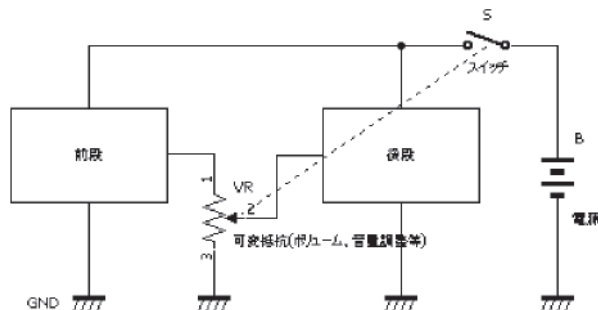


図1 スイッチ付きボリュームの使い方

電子機器に限った訳ではありませんが、手間暇掛けて機器の性能や利便性を上げることも電子工作の醍醐味(だいごみ)の一つであると考えています。そこで、R-P30-Sの修理・改造を行ってみました。この顚末を以下に紹介します。

ラジオの修理・改造

ラジオの概要を写真1と図2で説明します。写真1はラジオの正面です。左側にS付きのボリュームがあります。また、右側に選局用のダイヤルがあります。図2はこのダイヤルに連動した受信周波数の表示部です。



写真1 PanasonicのR-P30-Sラジオ（改造後）

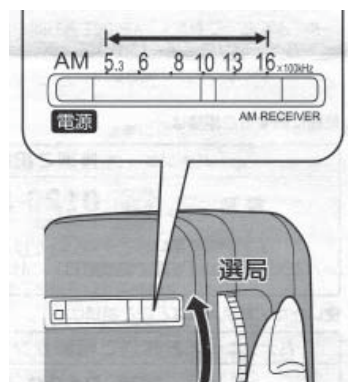


図2 放送の選局

まず、ラジオの蓋を外して内部を見たところ、S付きボリュームがプリント基板にかなり頑丈にハンダ付けされていることが分かりました。そのため、ハンダを溶かしてボリュームを外すことを諦め、ニッパーを使って外しました。写真2の左が外したボリュームです。この段階で確保したボリュームを見本にして、形状や抵抗値が同じボリュームを探しました。大阪の日本橋のシリコンハウスで形状の似たものを見つけました。しかし、抵抗値が10 k Ω でした。このため、ラジオの前段の負荷が重くなったようで、50 k Ω のときと比べて、スピーカーから出る音が小さくなりました。

実のところ、このような部品に関して、同一のものを入手するのはかなり難しいようです。

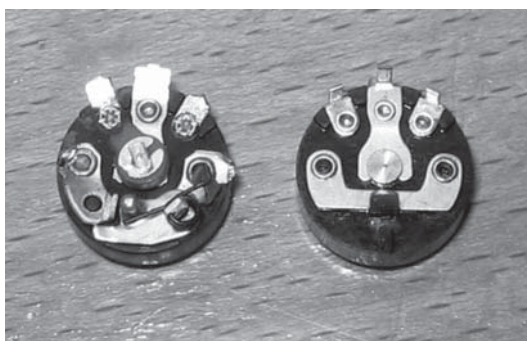


写真2 取り外したS付きボリューム（左）と交換用のボリューム（右）

写真2の右が交換用のボリュームです。両者の形状はほぼ同じですが、ボリュームの端子の取り出し方が異なっていました。そこで、ラジオペンチを使って、交換用のボリュームの端子の方向を変えました。著者はこの作業を慎重に行いましたが、ボリュームの3本の端子の内の1本を折ってしまいました。この原因は端子に使われている（黄銅らしい）金属の性質にあるようです。著者はこの金属の脆さが気になりました。この折れた箇所には銅線を取り付け、プリント基板にハンダ付けしました。

電源スイッチに関しては、まず、写真3に示した部分を開口しました。木工用の錐を使って穴を開けてから、この穴をヤスリで広げました。ここに、写真4のようなスイッチをエポキシ系の接着剤を使って接着しました。

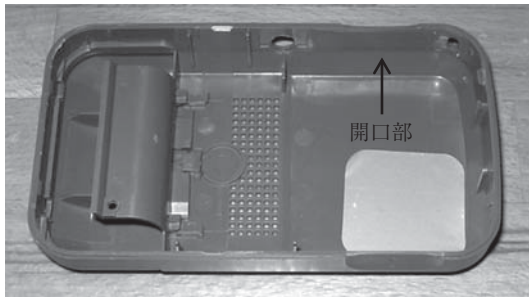


写真3 蓋の開口

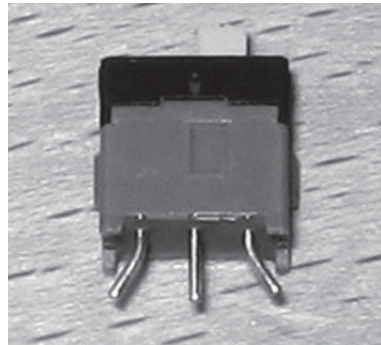


写真4 電源スイッチ

この後、電池の正極端子とプリント基板の電源入力部を繋いでいる電線の間に電源スイッチを組み込みました。写真5と6がその様子です。また、写真6に示したように、改造前にS付きボリュームのスイッチ部が繋がっていた箇所をジャンパー線で短絡しました。なお、写真7が改造後の電源スイッチとボリュームの外観です。

今回の改造では、図2に示した選局のための周波数の表示部を取外しました。この結果、選局ダイヤルの回転が円滑になりました。実のところ、このラジオの周波数表示部の機構は、購入当初から、円滑に動きませんでした。表示部を外すことで、受信周波数の数値を知ることができなくなりましたが、受信周波数の表示部が無くても、ダイヤルの凡その位置から、

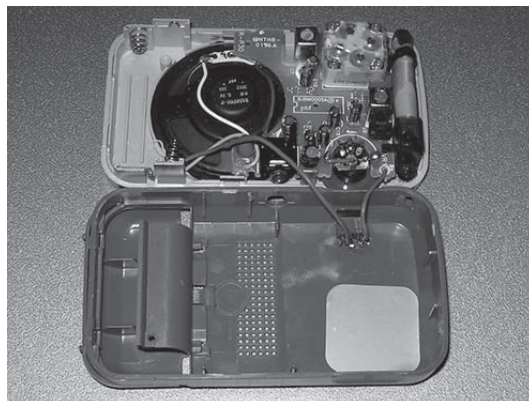
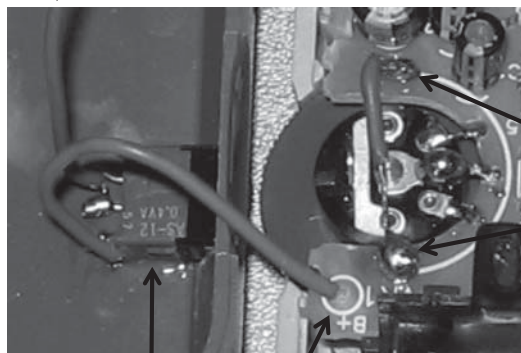


写真5 配線後のラジオの内部

電池の正極端子から



電源スイッチ

プリント基板の電源入力部

ジャンパー線接続部

写真6 電源スイッチとボリューム近傍の配線



写真7 改造後の電源スイッチとボリューム

どの放送局を受信しているかは分かりました。ラジオの操作に慣れれば、これでも実用になりました。

蛇足になりますが、改造後、ラジオの小音量の領域におけるボリュームの調節が以前より楽になりました。勿論、新しいボリュームの特性はAカーブです。

まとめ

真空管ラジオの時代では、ラジオが比較的大きいことが幸いして、部品さえ確保できれば、S付きボリュームの交換は比較的容易でした。ところが、トランジスタラジオやICラジオでは、ラジオ自体が小型であるため、そのボリュームの交換は容易ではありません。その結果、取りあえずボリュームに接点復活材を吹きかけて、これで症状が改善すればよし、効果が無ければラジオ自体を廃棄することになります。

部品調達や改造に掛かる時間や労力などを考えると、今回の改造は、割の合う話ではありません。しかし、ラジオ工作の技術向上の観点では、著者にとって良い経験になりました。そうは言っても、今回のような改造を必要としないラジオの製造が一番大切です。ラジオの量産でゴミの山を作るのは、この辺りで終わりにしたいものです。

第5節

真空管アンプの設計や製作を通して学べることがある

大学における真空管アンプ製作の活動に参加して

はじめに

最近、学生生活の充実や学習の支援を目指して、ラーニングコモンズという名前の共有の場を設ける大学が増えています。ここでの話題は、英会話、国際交流、エネルギー・環境問題など多岐にわたっていますが、古典的な事柄が話題になることもあります。大阪府の寝屋川市にある大阪電気通信大学で2011年の6月から始まった真空管アンプ講座は、この代表の一つです^[1, 2]。著者が学生であった1970年頃は電子工学の分野で真空管と半導体（トランジスタ）が共存していましたが、現在は後者が大部分を占め、前者は極僅かです。技術の進歩のお陰で大半の電子機器が半導体で動くので、半導体の使い方さえ知っていれば、真空管を知らなくても不便はありません。しかし、専門家を目指す学生の教養として、真空管について学ぶことは価値があると思います。

講師は工学部の岸岡先生です。この講座は、最初、“真空管アンプよもやま話”という題で始まりました。その後、2012年2月頃から10月頃にかけて、講座の参加者が実際にアンプを製作しました。このアンプは、岸岡先生の設計によるシングルステレオアンプで、6DJ8-12BH7-6AS7G（いずれも双3極管）の構成になっていました。このアンプ製作では、学生に加えて、OBや職員の参加がありました。

著者は非常勤講師として2010年の4月から大阪電気通信大学に勤めています。そのため、大学の構内の掲示を見て、真空管アンプ講座の存在を知りました。また、アンプ製作の現場を見学する機会もありました。アンプの製作を目指した著者の、この講座への参加は、2013年7月から始まりました。今回の講座の内容は、真空管アンプの特徴、真空管の構造、原理、歴史、アンプの作り方などに関する講義と、実用できるアンプの製作でした。毎回2時間程度の聴講や作業であったので、時間的・体力的に、著者は無理なく続けることが出来ました。講座の前段としての講義は10月まで続き、この過程で6BM8 プッシュプルステレオアンプを製作することが決まりました。著者による、このアンプ製作の顛末を以下に紹介します。

部品と回路

電子機器製作の手順としては、最初に回路を決め、その後、部品を調達するというのが一般的です。しかし、著者の場合、必ずしもその一般則に従っている訳ではありません。部品の調達における費用や時間を減らすため、著者は汎用部品を常備しています。今回の製作を予想していた訳ではありませんが、著者の手元には、電源トランスのPMC-190M、ボンネット付きシャーシのMK-350などが事前に用意されていました。そこで、これらを活用するため、講義を通して岸岡先生が提案された回路を基にして、独自のアンプを作ることにしました。定電流ダイオードを使った差動アンプの利用という点を除いて、著者のアンプは岸岡先生が提案されたものとはかなり異なっていました。また、シャーシの形状や部品の配置も

異なりました。

回路の設計では、まず概略の設計を行い、これに基づいて実際にアンプを製作し、製作したアンプに関して測定や試聴を行い、回路を修正しました。このような過程を経て最終的にでき上がった回路が図1です。

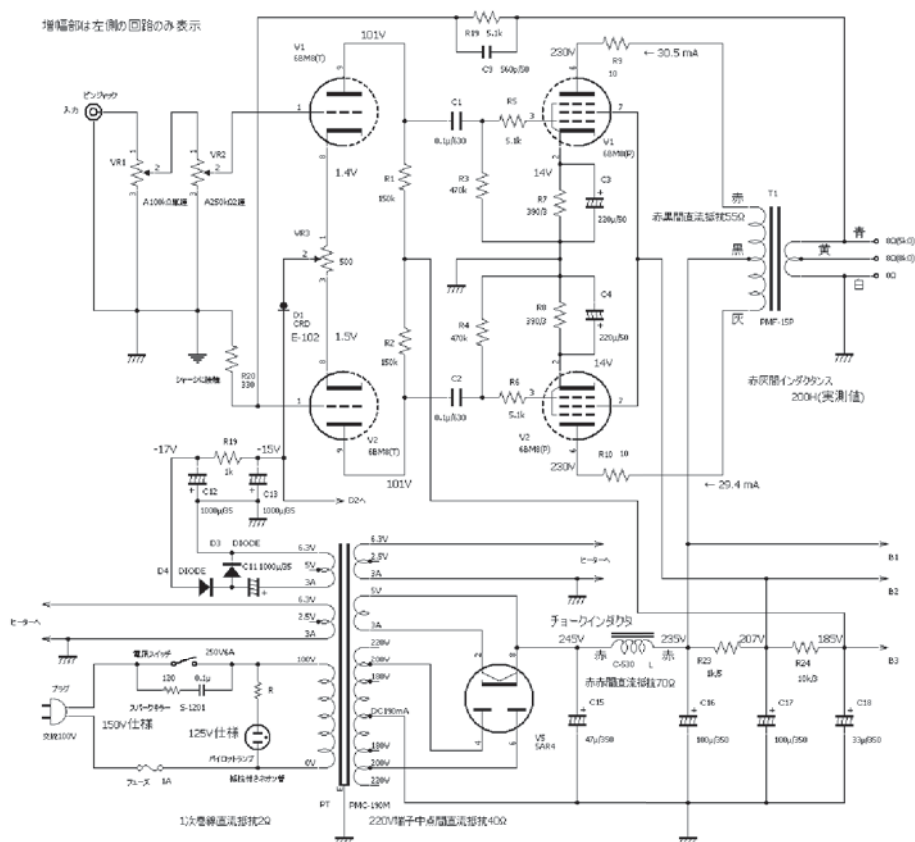


図1 6BM8 プッシュプルステレオアンプの回路

シャーシの加工と配線

本機のシャーシの加工に先だって設計図を作成しましたが、加工の過程で変更がありました。シャーシ加工の後、順次部品を取り付け配線しましたが、この工程では、可能な限りシャーシに取り付ける前に部品の配線を行うことに努めました。お陰で、確かな配線に仕上げることができました。ただ、著者の場合、組立の容易さに主眼を置いたため、シャーシ内部の配線が煩雑になりました。しかし、アンプの動作の安定性は確保されています。

組立後の作業

まず、6BM8の5極部のプレート電流を測って、電流の揃ったペアチューブを選別しました。しかし、アンプの左チャンネルの2本の6BM8の5極部のプレート電流の不均衡が約1mA、また、右チャンネルのそれが約2mAでした。このような状況でしたが、実用上の問題は認められません。次に、カソードの可変抵抗（VR3）によって、3極部のプレート電圧



写真1 アンプの正面

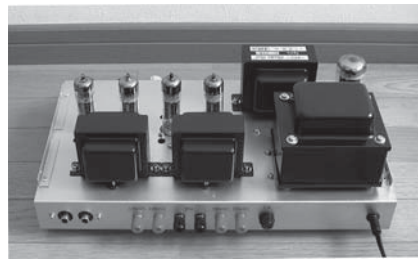


写真2 アンプの後部

をほぼ同じ値に揃えました。更に、アンプの入力に 10 kHz の方形波を加え、出力の波形をオシロスコープで観察しました。方形波の立ち上がりの様子から、10 dB の負帰還を掛けるための R19 に並列に繋いだ位相補償用のキャパシタ (C9) の容量を決めました。なお、写真 1 と 2 が完成したアンプの外観です。

まとめ

2013 年の 10 月から 2014 年の 5 月頃まで、時間をかけて丁寧に作った今回のアンプは、著者がこれまでに製作した真空管アンプの中で最高の出来映えになりました。最大出力が 9 W と非力ですが、雑音特性、入出力特性などは、他の作者によって作られた同型のアンプと同等です。これも岸岡先生の指導のお陰と感謝しています。

さて、話が変わりますが、現在の若い技術者は真空管を全く知らないと思います。トランジスタや IC などの固体素子が主流の時代では、やむを得ないと思いますが、真空管を知らない人口が増えると、真空管に関わる技術が世の中から消える恐れがあります。「これも時代の流れだから仕方がない。」と言ってしまえばそれまでですが、「真空管が存在することを若い世代に伝えたい。」「真空管アンプ作りの楽しさを伝えたい。」との思いは、先輩諸氏に共通するものであると思います。

ところで、過去に製造された真空管が商品として今も流通し、更にロシアや中国で真空管が製造されている状況は、規模が小さいながらも、真空管や、これに関連する事業が産業として成り立っていることの証です。しかし、これら支えているのは、実のところ、半世紀ほど前にラジオ作りに熱中した、かつての少年（著者もその一人）なのです。そのため、真空管アンプを若者に広めないと、ソケットやトランスなどを含めた真空管を中心とする一連の産業が消滅する恐れがあります。

オーディオの面白さは音の多様性にあります。電気的な特性追求の極致にある半導体アンプもよいのですが、人間の感性が音の善し悪しを決めるのであれば、レコードや CD プレーヤーなどの音源とスピーカーを繋ぐインターフェースとしての真空管アンプの存在を無視することはできません。また、真空管アンプでは、製作、計測、保守などに関して技術が存在します。それなりの性能と耐久性を備えた真空管アンプを製作するためには、知識と経験の蓄積が必要です。ラーニングコモンズにおける真空管アンプの製作が、そのための切っ掛けになると思います。著者は若者による真空管アンプ作りの活動が今後も続くことを願っています。

参考文献

[1] <http://www.osakac.ac.jp/campuslife/support/getcafe/>.

[2] <http://www.osakac.ac.jp/campuslife/support/getcafe/pdf/schedule2014.pdf>.

第6節

アンプの性能を越えた音出しは可能か？

バスレフ型スピーカーの使い方を考える

はじめに

著者が使っているオーディオシステムの構成は、CD プレーヤー、真空管アンプ、スピーカーだけの簡単なものです。これらの内、CD プレーヤーとスピーカーは既製品で、真空管アンプだけが自作品です。著者のオーディオシステムでは、6AR5 アンプと 6AQ5 アンプを交互に使っています。前者は小型で使い易いのですが、後者と比べると、低音が欠けるようです。この原因の一つはアンプの周波数特性にあるようで、出力トランスが PMF-6W であるため、やむを得ないかも知れません。しかし、スピーカーにも原因があるようです。著者はこれまで密閉型のスピーカーを使ってきました。一般に、密閉型のスピーカーは低音が出にくいと言われています。以前、フルレンジスピーカーを 2 ウエイに換えたことがありますが、低音の改善は僅かでした。

ところで、最近のスピーカーは殆どバスレフ型です。音楽愛好家の好みが変化して、“重低音”が好かれるようになりました。バスレフ型は“重低音”の再生が得意です。しかし、著者は“重低音”を好きになれません。

話は変わりますが、著者が使っていた密閉型のスピーカーに錆が目立つようになりました。元々、インターネットのオークションで落札した中古品のため、やむを得ませんが、更新を考えるのが得策のようです。代替のスピーカーの調達では、今回もインターネットのオークションを利用しました。ただ、密閉型のスピーカーの出品は皆無でした。その結果、バスレ



SD-AT10-Sは、傾斜型のスピーカーで、ここを浮かしている。

写真1 SD-AT10-S の正面（左）と側面（右）



写真2 SD-AT10-S の裏面と開口部



写真3 スピーカー、アンプ、CD プレーヤーの配置（上:左側から撮影、下:右側から撮影）

フ型のスピーカーを選ぶことになりました。

落札したスピーカーはシャープのSD-AT10-Sです（写真1 参照）。11 cm のウーハーと 2 cm のツイーターを備えた2ウェイです。インピーダンスが4 Ω であることが気掛かりでしたが、思い切って6AR5 アンプ（出力インピーダンスは8 Ω ）に繋いでみました。“重低音”が出ました。低音はアンプよりもスピーカーの特性に大きく依存しているようです。

そこで、スピーカーの開口部を部分的に閉鎖することで、低音を減らすことを考えました（写真2 参照）。幸い、SD-AT10-S の開口部が裏にあり、箱を壁に押しつけることで、開口部の機能を押さえることができました。これに関しては、SD-AT10-S が傾斜配置になっていることが更に上手く働いているようです。低音が欠ける6AR5 アンプと低音が強調されるバスレフ型スピーカーを組み合わせ、好みの音を得ようというアイデアです。この試みは大成功でした。写真3 に著者のオーディオシステムを示します。

第7節

廃品利用と工程の簡素化による量産
真空管保管箱の製作

はじめに

真空管を保管するための紙箱については、既に報告しました^[1]。ただ、この記事には誤植があります。247 頁の右欄の下から 7 行目、“真空管の構造” → “真空管の製造”、下から 6 行目、“追い込まれるまで” → “追い込まれるなど”、下から 3 行目、“止むを得ない” → “やむを得ない” のように訂正します。

今回の記事の執筆は 2013 年 12 月です。前回の執筆から 15 年が経過し、状況が変わりました。今回は、市販の商品に使われていた箱の厚紙を使って、従来の製作工程を簡素化し、保管箱を作りました。以下に、その内容を紹介します。

厚紙の加工

今回の保管箱の製作では、身の回りにある生活用品で使われている厚紙の内、片面が平滑な 0.2 ～ 0.4 mm の厚さの紙を利用しました。この厚紙の裏面（紙の素材が剥出の粗面）に図 1 を作図しました。この図は、MT 管を収容する標準的な箱の展開図です。図の左端がのりしろで、ここに糊を塗って、“つなぎ合わせ”と書いた部分で接合しました。図の実線はナイフの刃で厚紙を加工する場所を、また、破線は折り曲げる場所を示しています。加工の順序は、①作図、②切断、③折り曲げ、④糊付、⑤乾燥になります。

写真 1 に作図、切断、折り曲げの工程で使う道具を示します。鉛筆と物差しを使って、紙の裏面に作図し、次に、曲尺（かねじゃく）とカッターナイフを使って、紙を切断しました。プラスチック製の物差しは傷つき易いのが欠点です。そのため、著者はステンレス製の曲尺

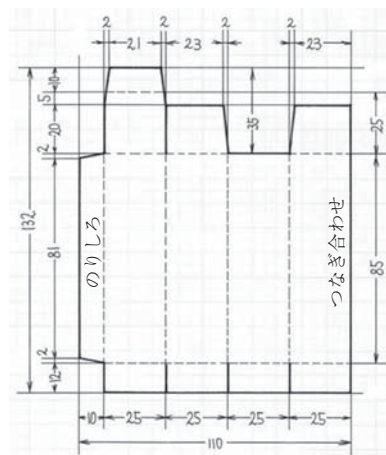


図 1 厚紙の加工図の例（単位、mm）

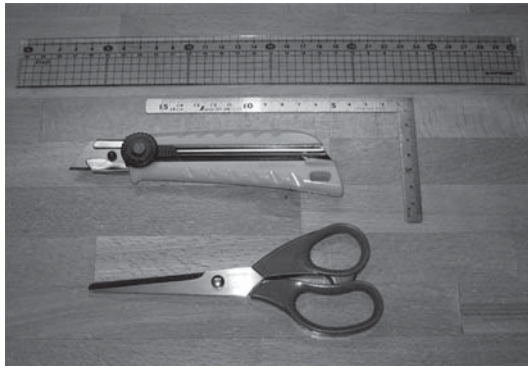


写真1 作図、切断、折り曲げのための道具

を愛用しています。なお、箱の上蓋の差し込みの角取りでハサミを使いました。

カッターナイフを使った切断の段階で、紙は写真2に示されているような形状になりました。次に、箱の上蓋の差し込みの部分加工しました。実際には、この部分は種々の形状になっています。写真3の左端は、市販の箱で採用されている丸形の差し込みです。これと異なり、右端のような差し込みもあります。この形状でも構いませんが、確実な差し込みという点では、不満があります。そこで、今回は真ん中のように差し込みの角を取りました。

写真4が折り曲げた箱を示しています。折り曲げは結構熟練が必要でした。物差しを利用

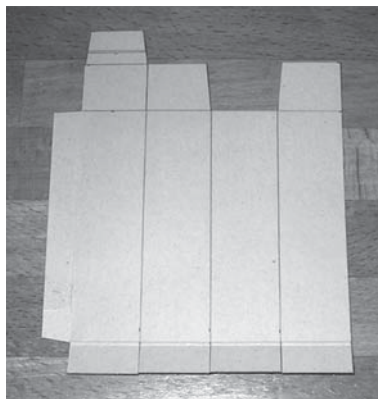


写真2 切断後の厚紙

下側の線が誤っていたので、再度正しい線を描いた

角取り

角取り

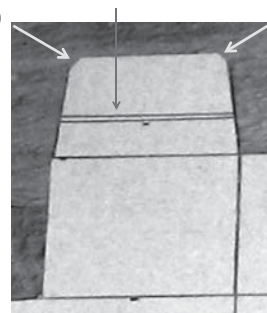
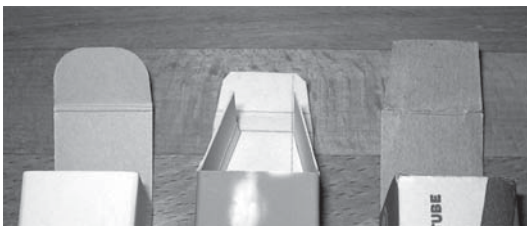


写真3 角の形

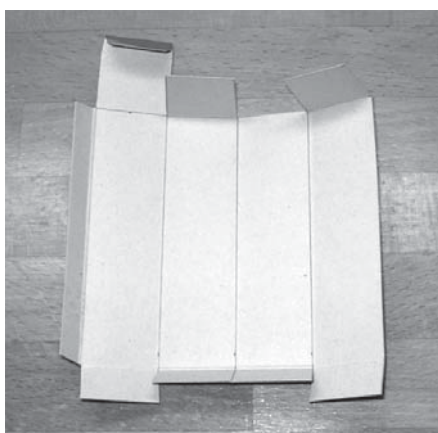


写真4 折り曲げ

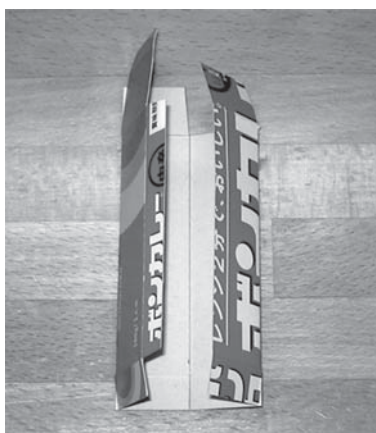


写真5 糊付前

して、慎重に行いました。更に、箱の仮組立を行いました。仮組立を行うことで、箱の出来不出来を事前に予測することが出来ました。また、箱が上手く出来ていないときは、折り曲げの位置を修正しました。

この後、のりしろに糊を塗り、加圧した状態で1時間以上掛けて糊を十分乾燥しました。乾燥が不十分だと、後の工程で糊付箇所が剥がれる恐れがあります。乾燥後の箱は、写真6のように、扁平に折れた状態になっています。以後の作業で糊付した部分が剥がれるのを防ぐために、この段階で、糊付した部分に外側からセロテープを貼りました(写真7参照)。次に、箱を90度回して平らに押して、箱の形を整えました(写真8参照)。糊付とセロテープの貼付が適切に行われていれば、箱を四角な筒にすることができます。



写真6 糊付後

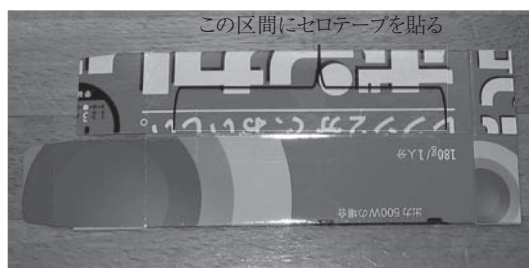


写真7 セロテープ止め



写真8 箱の整形（90度回して平らに押す）

その後、セロテープを使って、箱の底部を形成しました。まず、写真9のように一方向を固定し、次に、90度回してセロテープを貼りました（写真10参照）。念のため、更に90度回してセロテープを貼りました。箱の底部を確実に形成するために、合計3枚のセロテープを貼りました。

箱の底部を簡略化したことが功を奏して、今回はかなりの数の箱を作ることが出来ました（写真11参照）。製作作業では、線引きの誤りなどの失敗がありましたが、多数の箱を比較的楽に製作することができました。

真空管収納の例

著者が自作した保管箱には箱の内部に真空管を保持する機構がありません。そこで、空気抜きのために端を開口したビニール（ポリエチレン）袋に真空管を入れ、その後に保管箱に



写真9 底部のセロハンテープによる固定

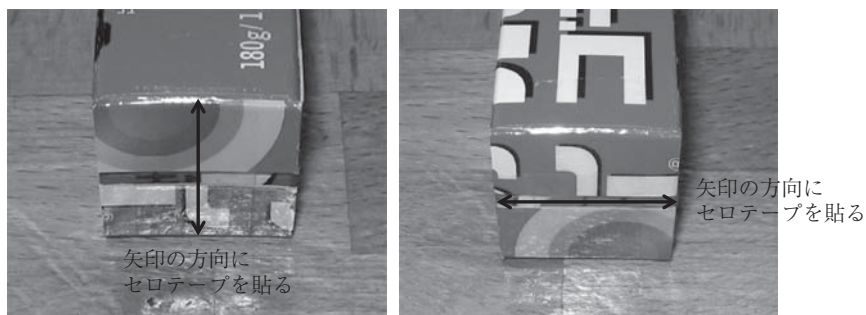


写真10 セロハンテープの十字貼付



写真 11 今回量産できた箱



写真 12 真空管の保管方法

入れました（写真 12 参照）。ビニール袋が緩衝材として働くので、この方法は真空管の保護の点でも効果があると思います。

参考文献

- ^[1] 棚瀬繁雄, “たかが箱, されど箱”, ラジオ技術, 1998 年, 1 月号, 247-249 頁.

第4章 施設訪問と未来への心構え

著者の電子工作に関する活動は、殆どの場合、自宅で行われています。しかし、見聞を広めるために、ラジオや真空管などに関連した施設を見学することがあります。これまでに行われた施設の訪問については、“NHK 放送博物館をたずねて”（ラジオ技術、1997年1月号、246～247頁）、“松下電器歴史館をたずねて”（ラジオ技術、1998年9月号、178～179頁）、“初の国産ラジオに感銘”（ラジオ技術、2008年11月号、157～158頁）、などとして、既に報告しました。ただ、これらが訪問の全てではありません。内容が断片的であるなどの理由で雑誌に掲載されなかった訪問記もありますし、電子工作集成での掲載を予定して作成したものもあります。第4章では、これらをまとめて紹介します。また、第1章から第3章に含まれない記事も取り入れました。

第1節 電子工作集成に加えた訳 “真空館”の近況を考える

著者が執筆した、「真空館」に関する記事の掲載は1997年7月号（「ラジオ技術」）が最初でした。それ以来、同館に関する記事の原稿を度々執筆し、その雑誌に投稿しました。ただ、雑誌への投稿では、記事の掲載が常に許可される訳ではありません。これまでは、苦勞して作成した記事が不掲載になることがありました。しかし、インターネットの普及のお陰で、個人がホームページを開いて、情報を自由に公開できるようになりました。また、それなりの費用の負担を伴いますが、個人が本を比較的容易に出版できる環境も整備されました。情報の発信に関する、このような環境の変化が、既存の出版社や出版界に変化を与えています。

実を申しますと、原稿を雑誌に投稿する理由の一つに原稿料があります。著者がこれまで投稿した雑誌の中には、原稿料を出すものがありました。この原稿料が次なる原稿執筆の資金になりました。ただ、近年の傾向として、一雑誌当たりの発行部数が減る傾向にあり、結果として出版社の売り上げが減り、原稿料の不払いに至るようです。このような状況の中で、これまで、“原稿募集”の広告を見たことが無かったある雑誌が、最近、“原稿募集”の広告を掲載しました。ことによると、出版社に寄せられる原稿の数が減っているのかも知れません。原稿料を払えない雑誌は、もはや商業誌ではありません。

商業ベースに乗らない雑誌は、状況によっては休刊（廃刊）の恐れがあります。著者がこれまでに購読や投稿したことのある雑誌の内、“模型とラジオ”、“電子展望”、“初歩のラジオ”、“エレクトロニクスライフ”、“ラジオの製作”、“モービルハム”、“レッツハミング”などが休刊になりました。

著者が小学生だった頃は、ラジオやテレビの大半が真空管で動いていました。その真空管も時代と共にトランジスタや集積回路に置き換えられました。この潮流が結果としてコンピュータによる情報通信の発展に繋がりました。そのような歴史の中で、“CQ”、“トランジスタ技術”、“子供の科学”、“無線と実験”などは健闘しています。特に真空管に関しては、“無線と実験”が重要な役割を担っています。実は、著者が「真空館」の存在を知ることになった切掛けは、“無線と実験”の記事でした^[1]。聞くところによると、中学から大学に至る教育の課程で、真空管に関する授業や講義は、既に消えたそうです。しかし、真空管は科学技術の歴史の中では重要な地位を占めています。この真空管を展示している場所が「真空館」なのです。

参考文献

- ^[1] 松田兆史, “HiFi 追求リスニングルームの夢 No. 374 中域重視の楽しく感じられる音を求めて”, 無線と実験, 1996年, 5月号, 8-13頁.

第2節

「真空館－萩原コレクション－ 2002 年版」も完成

“真空館”の近況（その4）

「真空館 / 萩原コレクション」については既に雑誌“ラジオ技術”の1997年7月号、1999年4月号及び2001年1月号のクロストーク欄で紹介しました。この展示館は、新潟県上越市にある上越教育大学の萩原茂男先生が長年にわたって収集した真空管をその大学に寄贈したことにより1997年3月28日に開館し現在に至っています。著者はこの「真空館」に1997年3月と2000年5月に訪問していますが、この度3度目の訪問の機会を得ました。そこで、先の2つの紹介^[1,2]との重複はお許し頂いて、「真空館」の近況を紹介したいと思います。

以前にも紹介しましたように、「真空館」は上越市山屋敷町1番地にある上越教育大学内にあります。展示館のいわゆる本館に相当するところが附属図書館の1階にあり、別に分館が実験棟の1階にあります。本館の展示では、真空管を受信管、ブラウン管、X線管、ガス封入管、送信管、マイクロ波管、特殊表示管、光電変換管に大別した上で、それぞれについてさらに細かく分類しています。また、この本館の展示については音声による（全体で30分程度の）説明もあります。そのため、最初に本館を見て、その後、分館に回るのがよいと思います。本館から分館への移動時間は僅かで、見学の所要時間は通常、全体で1時間程度です。ただ、展示をじっくり見る場合はそれなりの時間が必要です。なお、分館は受信管を中心とした展示になっています。

「真空館 / 萩原コレクション」の価値は、もちろん、その展示にあると思いますが、それを紹介した冊子の存在も無視できません。この冊子の発行は、著者が知る限り、1993年に始まりました。著者は1993年発行の冊子を偶然その大学の図書館で見つけました。これはB5版の薄い冊子でした。その後、1997年に本格的なA4版の冊子が発行され、1998年にその改訂版が発行されました。さらに、「真空館」の公開以後に展示品の寄贈などがあり、これに対応するため2000年に増補版が発行されました。この増補版は1998年発行の改訂版をまさに増補するもので、改訂版と増補版を合わせてちょうど1冊分と考えるのがよいようです。増補版には、1997年3月の公開以来新たに集められた電子管と、改訂版で詳しく触れられていなかった「真空館・分館」の電子管についての写真と説明が載せられています。また、音声による展示の説明の台本が載せられています。

その後、それらの改訂版と増補版を合わせ、新たな内容を盛り込んだ2002改訂第二版が2002年11月30日に発行されました^[3]。この冊子は260頁にもわたる大作で、真空管の誕生からオーディオアンプ、鉱石ラジオまで幅広い内容を含んでいます。そのため、展示の説明資料としてだけでなく、技術教育のための参考書としても価値があると思います。

この他に、「真空館」については上越教育大学の定本研究室のホームページ (http://www.juen.ac.jp/scien/sadamoto_base/topics.html) でも紹介されています。ここには展示真空管の写真が掲載されており、冊子「真空館」についての紹介や「真空館」への道のりを示す地図もあります。なお、遠方のため「真空館」へ出かけられない方は、その冊子で「真空館」を



写真1 真空館 2002 改訂第二版

理解することができるでしょう。“冊子真空館希望”と明記して、切手(送料相当額:金額はホームページ等で確認して下さい)とA4版の雑誌が入る封筒を同封して、〒943-8512 新潟県上越市山屋敷町1番地 上越教育大学 自然系 定本嘉郎 先生 宛てに郵便で申し込めば、郵送して下さるそうです。

著者の今回の訪問は2003年3月22日でした。この時期、大学は春休みで、建物の入口のほとんどが閉められていました。そのため著者は大学本部の入口で警備員の方に“真空館見学”の旨を告げ、建物に入れてもらいました。

2000年5月の訪問から3年近く経過したため、展示などに若干の変化がありました。展示については展示品の充実が顕著で、展示パネルの修正と追加がありました。しかし、展示品の増加とともに陳列場所が手狭になったように感じました。それともう一つ、JR春日山駅が従来の場所から直江津よりに400m程(上越市役所近くに)移動し、大学から駅までの距離が少し長くなりました。しかし、歩く時間(30分程度)への影響は少ないようです。

話は変わりますが、著者が小学生だった頃は、ラジオやテレビの大半が真空管で動いていました。その真空管も時代と共にトランジスタや集積回路に置き換えられました。著者は仕事でX線を取り扱うことがありますが、X線を発生するためのX線管が(2極)真空管であることを著者の周りにいる同僚や学生は知りません。聞くところによると、大学の講義で真空管に関するものは、今は無いそうです。しかし、真空管に関する知識を持ち合わせているのといないのでは、X線発生装置の使い方に差がでます(X線発生装置も真空管も丁寧な取り扱いが肝要です)。著者が使っている回転対陰極型のX線管は、排気のための真空ポンプを備え、管内の真空度をイオンゲージ(電離真空計)で測っています。このイオンゲージは3極管にそっくりです。このように、真空管は形状や機能を変えながら、依然として使われています。

資金や人員、場所などを考えると施設の運営は容易でないと思いますが、技術教育の推進のためにも、「真空館」の展示が今後とも続くことを著者は願っています。

参考文献

- ^[1] 棚瀬繁雄, “公開された「真空館／萩原コレクション」上越教育大学（上越市）に完成”, ラジオ技術, 1997 年, 7 月号, 170 頁.
- ^[2] 棚瀬繁雄, ““真空館”のその後の動向「真空館—萩原コレクション—1998 年版」も完成”, ラジオ技術, 1999 年, 4 月号, 171 頁.
- ^[3] 棚瀬繁雄, “公開された上越教育大の“真空館”郵便で冊子「真空館」を入手出来ます”, ラジオ技術, 2001 年, 1 月号, 199-201 頁.

第3節

2011 年 8 月 8 日の訪問の報告

“真空館”の近況（その6）

「真空館 / 萩原コレクション」については既に雑誌“ラジオ技術”の1997年7月号、1999年4月号、2001年1月号及び2009年6月号のクロストーク欄で報告しました^[1-3,5]。この「真空館」と著者との関わりも1997年3月以来、15年近くになりました。この期間の中で、最近では2009年、2010年、2011年と続けて、「真空館」を訪問しました。この理由は、上越教育大学の図書館の訪問にあります。著者は2009年の4月から関西にある工業高等専門学校で、また、2010年の4月からは大学で非常勤講師として働いており、上越教育大学の図書館で得た情報や文献が講師の仕事に役立っています。今後も「真空館」を訪問する機会があると思いますが、「真空館」と著者の関わりの中での一つの区切りとして、その近況をまとめてみました。

ところで、2011年は3月11日を境として国内の様相が一変しました。著者はそのことを今回の「真空館」訪問をとおして、改めて認識することができました。地震と電力不足への対応が上越教育大学でも求められているようです。特に、真空管はそのほとんどがガラス製のため、地震の被害が心配です。しかし、今回の訪問で、「真空館」、「真空管・分館」とともに地震の被害が無かったことを確かめることができました。

以上のことがらに加えて、今回の訪問では、更なる成果がありました。これは、「真空館」の展示に新たに加えられたエジソン電球に関するものです。

この電球は炭素をフィラメントに使ったもので、現在のタングステンフィラメントの電球とは若干異なっています。そのエジソンの電球はフィラメントの寿命が短いという欠点があり、実用に至りませんでした。炭素のフィラメントの消耗（蒸発）によって、ガラス球の内部に形成されたフィラメントの影の発見が真空管発明の切っ掛けになりました。エジソン電球が持つそのような意義をたたえて、その電球に関する資料が「真空館」に加えられたものと思います。



写真1 図書館の窓の掲示（節電への取り組み）

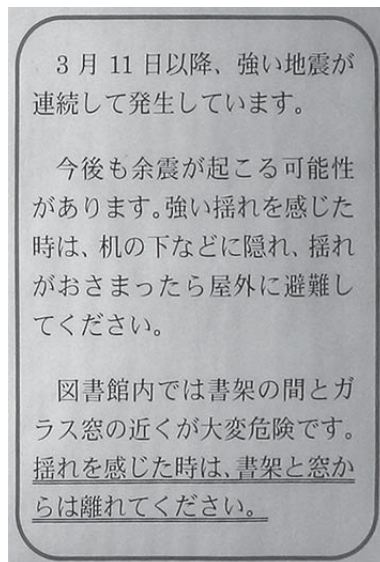


写真2 図書館の壁の張り紙（地震への注意）



写真3 「真空館」の展示の現況



写真4 「真空館」の展示の現況（図書館の出入り口付近）



写真5 エジソン電球に関する資料

話は変わりますが、今回の訪問では大阪から春日山まで往復ともにJRの在来線を利用しました。青春18切符を使うことができたので交通費は格安でした。ただ、大阪から春日山まで10時間ほど掛かりますので、上越市（春日山近くのホテル）で2泊し、結局、2泊3日の旅行になりました。旅行の二日目が大学への訪問でした。宿から大学の間は1時間ほど掛けて歩きました。ただ、北に位置する上越といえども、夏の午後はかなり暑かったです。そのため、帰りは大学から直江津まで路線バスを利用し、直江津から春日山までJRを利用しました。著者は今までに上越教育大学を7回ほど訪問しました。訪問の度に新たな発見がありました。自身の年齢を考えると、体力の衰えを隠せませんが、今後とも工夫して訪問を続けるつもりです。

最後になりましたが、「真空館」に関する著者の記事の出典を“参考文献”に示します。

参考文献

- [1] 棚瀬繁雄, “公開された「真空館／萩原コレクション」上越教育大学（上越市）に完成”, ラジオ技術, 1997年, 7月号, 170頁.
- [2] 棚瀬繁雄, ““真空館”のその後の動向「真空館—萩原コレクション—1998年版」も完成”, ラジオ技術, 1999年, 4月号, 171頁.
- [3] 棚瀬繁雄, “公開された上越教育大の“真空館”郵便で冊子「真空館」を入手出来ます”, ラジオ技術, 2001年, 1月号, 199-201頁.
- [4] ““真空館”の近況（その4）”, 前掲.
- [5] 棚瀬繁雄, “知られていない真空管の役割 8年振りの「真空館」訪問”, ラジオ技術, 2009年, 6月号, 152-154頁.

第4節

かつて一世を風靡した
三田無線研究所の現状

はじめに

“デリカ”という愛称で知られた三田無線研究所を知る人の数が年々減っています。この会社は、茨木 悟（1900～1994）氏が東京三田の地において1924年に創業以来、日本の無線通信産業を先導してきました。しかしながら、最近、電子機器の製造を終了したそうです^[1]。これに関する経緯について、著者は詳しくは知りませんが、2013年11月26日の時点において、三田無線研究所のホームページの更新日が2011年5月25日のままであったことを考えると、この頃に製品の製造を終了したのかも知れません。

著者は子供の頃から、CQなどのアマチュア無線関連の雑誌を見る機会があり、三田無線



写真1 651型Qメーター



写真2 デリカの製品に関する資料

研究所の名前だけは知っていました。著者と三田無線研究所との直接的な関わりは、2002 年の 651 型の Q メーターの購入が最初でした^[2](写真 1 参照)。その後、2007 年にデジタルディップメーターを購入しました(写真 2 参照)。著者がこれらの製品を選んだ理由は、①手頃な価格と性能、②使い易さ、③点検・修理の充実にあります。

このような経過の中で、著者は以前から、三田無線研究所を訪ねたいと思っていました。しかし、訪問する機会はこれまでありませんでした。ところで、著者が知る限り、三田無線研究所の施設に関する写真は、インターネットのラジオ工房の“三田無線訪問記”だけです^[3]。そのため、著者としては、三田無線研究所が現在どのようになっているのか大変気になりました。2011 年から 2 年が経過しましたが、最近ようやく訪問の機会が巡って来ました。この日は 2013 年の 9 月 3 日でした。

ここで、今回の訪問の一部始終を紹介します。まず、前日の夜に大阪の梅田から夜行の高速バスに乗りました。翌日の 8 時頃、終着の池袋に到着しました。ここから最初に行った場所は、北千住にある東京電機大学の千住学舎でした。今回の東京行きの第一の目的は、電気学会の電気技術史研究会への参加でした。当日の午前中は、東京電機大学で過ごしました。また、今回の研究会は午後 1 時に始まり、4 時 30 分頃に終わりました。その後、北千住から広尾まで鉄道で移動し、ここから徒歩で三田無線研究所へ向かいました。三田無線研究所の住所は、港区南麻布 1 丁目 2 番 3 号です。地下鉄の広尾駅を出て東へ向かいました。有栖川記念公園の南側の道路沿いに南部坂を上り、仙台坂上の交差点を過ぎた 100 m 程のところに、三田無線研究所がありました。到着した時刻は 6 時を少し過ぎていました。辺りは少し暗くなっていました。このときの様子を写真で紹介します。

港区南麻布 1 丁目 2 番 3 号には、デリカビルと言う名の建物が建っていました。写真 3 が道路の斜め向かい側から撮影したデリカビルと周辺の建物の様子を示しています。このビルはコンクリート作りの 4 階建てでした。写真 4 がビルの入口の様子を示しています。このビルには入口が 2 つあり、道路から向かって左側がビルの通用口(写真 5)で、右側が三田無線研究所の玄関になっていました(写真 6)。デリカビルでは、殆どの窓がカーテンやブラインドで覆われており、建物の内部の様子を窺うことはできませんでした。ただ、外見から判断すると、このビルは工場というよりはむしろ住宅のようでした。

かつて隆盛を極めた三田無線研究所を示すものは、通用口と玄関にある表札だけでした。1924 年以来、この場所でどのような活動が行われてきたのか、著者はその詳細を知りません



写真 3 デリカビルと周辺の建物



写真 4 デリカビルの入口

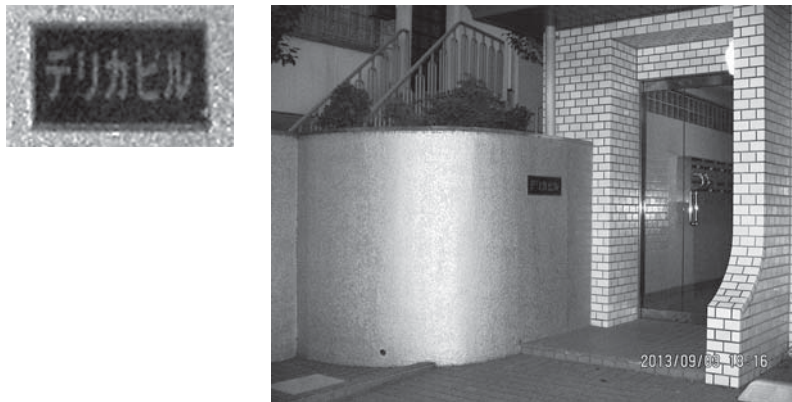


写真5 デリカビルの通用口と表札（左）



写真6 三田無線研究所の玄関と表札

が、現在の状況を敢えて例えるならば、“夏草や強者どもが夢の後”といったところでしょうか。ただ、誤解の無いように申し添えますが、デリカのようなさほど大きくない企業を90年近く存続した経営者やその傘下ですばらしい製品を作った従業員の方々の努力に、著者は感服しています。「皆様、長い間ご苦勞様でした。」

デリカビルを後にして、帰路につきました。広尾から池袋に移動し、ここから（大阪）梅田行きのバスに乗りました。運賃や利便性を考えると、定年後の年金生活者にとって、夜行高速バスの存在は実に有り難いものです。

今回の訪問で著者は長年の夢の一つかなえることができました。体力の衰えはあるものの、今後とも工夫してラジオやオーディオ、真空管などに関する施設の訪問を続けようと著者は考えています。

参考文献

- [1] <http://www.mitamusen.co.jp/>.
- [2] 棚瀬繁雄, “ゲルマラジオの高性能化 Qメーターでコイルの特性を評価”, ラジオ技術, 2003年, 8月号, 158-161頁.
- [3] <http://radio.eucaly.net/siryou/DELICA/index.html>.

第5節

歴史と伝統、規模と内容に圧倒

UEC コミュニケーションミュージアムの訪問

東京都の調布市に電気通信大学があります。東京大学、京都大学などといった日本の国立大学の多くが所在する地名を使って大学の名前としているのとは異なり、電気通信大学は大学の本務を名前としています。この大学に“UEC コミュニケーションミュージアム”があります。歴史を辿ると、このミュージアムは1998年に「歴史資料館」として発足し、その後建物が新築され、2008年にUEC コミュニケーションミュージアムとして再出発しました。

著者がその存在を知ったのは、雑誌“無線と実験”の2009年の3月号の“MJ オーディオ情報”の記事を見たときでした^[1]。これ以来、ミュージアムの見学を心待ちにしていたところ、2014年9月3日に訪問の機会を得ました。ミュージアムの開館時間が12時～16時になっていましたが、実際には早く大学に到着しました。先に場所を確認し、昼食を済ませてから見学するつもりでミュージアムがある先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター（建物番号17）に行ったところ、見学だけであれば入館可能とのことでしたので、受付の係の方のご厚意に甘えて、一人で見学を開始しました。

大学のホームページにUEC コミュニケーションミュージアムの紹介がありましたので、著者は展示の内容を事前に把握していました^[2]。しかし、ホームページでの紹介はその一部で、実際に見たとき、その規模の大きさに圧倒されました。第1展示室から順に見学を進めましたが、ミュージアムの学術調査員の方が12時を少し過ぎた頃お見えになり、その後、調査員の方が説明を加えて下さいました。全ての展示を見るのに2時間近く掛かりましたが、大変有意義な時間を過ごすことが出来ました。

話が変わりますが、アマチュア無線の人气が下降しています。これに伴って、JARL（日本アマチュア無線連盟）の会員数が減り、会費収入が減少しています。そのため、JARLは経費削減を迫られ、この一環として、JARLの展示室に所蔵されていた無線機、真空管などを2002年の9月に電気通信大学に寄贈したそうです^[3]。また、大塚 久氏の真空管コレクショ



写真1 電気通信大学の看板（正門前付近で撮影）



写真2 冊子

ンも大学に寄贈されたそうです。

時代の変化によって、規模が小さくなっていく組織や個人が歴史的に価値のある遺産を持ち続けることが難しくなっています。著者が紹介したことがある「真空館」の上越教育大学と同様、大学が遺産の保管・展示の役割を担うことが求められています。大学であれば、真空管、ラジオ、通信機といったものを歴史や技術の教育のために役立てることが出来ると思います。

国立大学法人の電気通信大学^[4]は、私立の大阪電気通信大学^[5]と同様、通信士の養成所を起源とした大学とも言われています（これらのURLで上手く検索できないときは、“電気通信大学”をキーワードにして検索して下さい）。その点で共に歴史的に特色のある大学であると思います。著者は両校の末永い繁栄を願っています。

UEC コミュニケーションミュージアムには、冊子が用意されていました。帰りがけに1冊頂きました。日本語と英語による説明があり、カラーで綺麗に印刷されていました。今回の貴重な記念品になりました。

最後になりましたが、当日対応下さった受付の係の方々、貴重な時間を割いて丁寧に説明下さった学術調査員の山肩昭夫様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1] “MJ オーディオ情報 お知らせ”，無線と実験，2009年，3月号，81頁。
- [2] <http://www.museum.uec.ac.jp/index.html>.
- [3] JARL NEWS, 2002年，12月号. http://www.jarl.org/Japanese/2_Joho/2-1_Digest/2002/JN0212.htm.
- [4] <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E6%B0%97%E9%80%9A%E4%BF%A1%E5%A4%A7%E5%AD%A6>.
- [5] <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%A4%A7%E9%98%AA%E9%9B%BB%E6%B0%97%E9%80%9A%E4%BF%A1%E5%A4%A7%E5%AD%A6>.

第6節 細く長く生きるための知恵 電子工作の永続を目指して

はじめに

今回の表題は“電子工作の永続を目指して”としました。題名は大げさですが、内容は電子工作における著者の人生観の紹介です。

1760年頃からイギリスで始まった産業革命の潮流がエジソンらを巻き込んで現在の電気工学・電子工学に繋がったお陰で、電子工作を楽しむことが出来たと著者は考えています。しかし、この産業や科学技術の発展の歴史は、資源・エネルギーの消費の拡大の歴史で、結果的に資源・エネルギーやゴミにかかわる事柄が現在及び将来における重要な課題として浮上してきました。それらに関しては、電子工作も無関係ではありません。

著者は2014年の2月頃に“身の回りの整理整頓”と、“暮らしの中のゴミ”に関する講演を聞く機会がありました。これら2つの講演で得た知見を基に、電子工作を末永く楽しむための著者の方策を述べたいと思います。

入り口の検討

著者の場合、電子工作の目的が2つあります。一つは趣味として、電子機器の設計、製作などを楽しむものです。他の一つは、研究・教育等で使うための電子機器の製作です。これらのいずれの場合も、著者に資金、時間などの制約が課せられています。そのため、電子機器の製作に先だって購入する部品等の規格や数量を十分検討する必要がありました。

一般に、品質の良い部品は高価になります。そのため、経済的な状況によっては、低価格品を買うことになります。ここでは、“安物買いの銭失い”に気をつけなければなりません。これは金銭の損失だけに留まらず、部品を製造するために必要な資源・エネルギーの損失もあります。また、使えなかったり、壊れたりした部品はゴミになり、廃棄が必要になります。この廃棄においても適切な対応が求められ、相応の費用を負担しなければならない場合があります。

ところで、購入する部品が少量の場合、単価が上がります。そのため、場合によっては、ある程度纏まった数量で購入することがあります。この場合、単価が下がれば、経済的に有利になります。著者の場合、製作の不手際などによる部品の損傷に対応するため、1個～2個余分に部品を購入することがあります。また、数量と単価を勘案して、割安になれば、5個、10個などの単位で纏め買いをすることもあります。ただし、この場合は、余った部品を将来使うということが前提になります。そうでないと、その部品が最終的にゴミになります。

安いからとか、金があるからなどという理由だけで、部品を大量に購入することは勧められません。最終的にゴミになると、その行為が資源・エネルギーの浪費を助長することになります。

保管場所と出口の検討

ここでいう保管場所は余った部品と製作した機器の2つを対象にしています。著者の場合、前者については、主にホーザンの部品箱 B-10 を利用しています。現在 14 個の箱があります。比較的小さな部品が多いので、それで殆ど事足りていますが、大物の部品は戸棚で、また、真空管などは段ボール箱で保管しています。なお、長期保存出来るように保管方法に注意が必要です。埃と湿気が大敵です。紙やビニール製の、種々の大きさの箱や袋を使って、丁寧な梱包に努めています。加えて、保管中の物品については、定期的な点検を行っています。特に紙やプラスチック製の部品では、保管中に変色・変質することがあり、また、金属製の部品では、錆が発生することがあります。そのような瑕疵が起きた（きずや欠点が発生した）ときは、瑕疵のある部品を先に使う、錆取りをする、或いは、廃棄するなど、症状に合わせて対応しています。部品を利用することなく廃棄することは、取りも直さず、資源・エネルギーの無駄遣いです。

以上のような対応は、製作した電子機器についても必要になりますが、著者の場合、現在までのところ、大きな問題は起きていません。その理由は、①保管方法が概ね（おおよそ）良好であった。②製作後、ある程度の年月を経た機器を処分した。の2点にあります。特に、後者では、A. 再利用される方への（無償）譲渡、B. インターネットオークションなどを利用した売却、C. 解体による処分が主なものです。A. では、引き取り手を探す手間が掛かりますが、提供する機器が完動品であれば、送料の引取り手負担で処分することが出来ます。B. は、A. に似ていますが、上手く行くと売却品の部品代程度の金銭的な収入が期待できます。C. では、再利用できそうな部品を取り外して、残りを廃棄します。著者の住まいのある池田市（大阪府）では、廃棄物を袋（有料）に入れて指定された日に玄関先に出しておく、それが粗大ゴミとして回収されます。回収されたものは清掃工場などで分別され、一部は原料として再利用され、残りは埋め立て処分されるそうです。

有料で購入した部品や苦勞して製作した機器を廃棄する事に抵抗はありますが、著者の書斎兼実験室（工作室、広さ7平方メートル）の健全性を維持するためには、このような対応が不可欠です。そうでないと、集めた部品と製作した作品で著者の書斎が埋まってしまう。

ここでの努力は、部品や作品を減らすという Reduce と再利用するという Reuse や Recycle の発想に準拠しています。これらの 3R の考え方は、資源・エネルギー・環境問題を考えた 3R の発想と完全に同一であるわけではありませんが、これに倣って著者なりに努力しています。なお、不用品の廃棄は、一時的にゴミの増加をもたらします。「ゴミの発生を減らしたい。」ということで、国も自治体も色々な努力をしていますが、ゴミの問題については、“もの”に関する入り口から出口まで幅広く考えなければなりません。入り口を狭めることなく出口を狭めれば、保管場所にものがあふれることになります。

資源・エネルギー・環境に直結した問題

著者は自作した真空管アンプで音楽を楽しんでいます。これまでに製作したアンプの出力は最大でも 6BM8 プッシュプルステレオアンプの 9 W（左右で合わせて 18 W）程度です。ところが、いわゆる音楽マニアと称する人々は、このような小出力のアンプをあまり使いません。真空管は、ヒーターを点灯するための電力が必要であるので、トランジスタなどを使った半導体アンプより電力消費の点で不利です。そのため、大出力を目指すのであれば、真空管アンプの使用を避けて、半導体アンプを使うのが良いと思います。これは、オーディオの

分野への省エネルギーの発想の導入です。また、真空管アンプは、銅、アルミニウム、鉄などを多用しています。そのため、資源・エネルギーの観点から問題を抱えています。更に、真空管アンプに使われたハンダに含まれている鉛は環境を汚染する物質です。無鉛ハンダを使えばこの問題は解決するでしょうが、無鉛ハンダによる真空管アンプの配線は、簡単ではありません。これまでに1台だけですが、著者は無鉛ハンダを使って真空管アンプを組み立てたことがあります。しかし、ハンダの融点が高いため、ハンダ付けに大変苦勞しました。これに懲りて、その後のアンプでは、従来通り鉛ハンダを使っています。環境に優しいアンプになりますが、現状では、どうしようもありません。

まとめ

取り止めのない話になりましたが、著者の意図は理解できると思います。著者の部品の箱の中には、中古部品も保管されています。また、真空管アンプに使われている真空管の大半は、長期保存品（いわゆる NOS、New Old Stock）や中古品（Reuse、Recycle）です。中古部品を使った真空管アンプや電子機器は、資源の有効利用にそれなりに貢献しているかも知れません。また、資源の有効利用を考えないと、電子工作の永続が困難かも知れません。

需要の少ない部品が製造中止に追い込まれています。企業の存続や後継者、製造を担う人材の確保が難しくなっています。そのため、今後必要な部品を著者の努力で確保する必要性が生まれています。ただ、年齢を考えると、著者が後何年生きること出来、電子工作を継続できるか分かりません。部品の確保には今後とも努力しますが、資金や場所に関する課題もあります。そのような状況の中、保管している部品の在庫を徐々に減らしながら、活動が続いています。

また、合わせて、雑誌、単行本なども少しずつ減らしています。これについては、近隣の図書館の蔵書で十分補完出来そうです。著者の場合、国立国会図書館関西館（京都府相楽郡精華町）、大阪府立中央図書館（大阪府東大阪市）、大阪府立中之島図書館（大阪市北区中之島）、池田図書館（大阪府池田市）、蛍池図書館（大阪府豊中市蛍池）、箕面中央図書館（大阪府箕面市）、大阪電気通信大学図書館（大阪府寝屋川市）、産業技術総合研究所関西センター図書室（大阪府池田市）などを利用することが出来そうです。これだけあれば、著者の書庫としては十分な広さです。

まとめ

以上のように、電子工作などに関する断片的な原稿を集めることで一冊の本を成立させた結果、今回の“電子工作集成”を刊行することができました。電気工学や電子工学の専門家の方々から見れば取るに足らないものですが、電子工作の楽しみ方の参考にはなると思います。

著者が電子工作に興味を持ち、“模型とラジオ”、“初歩のラジオ”、“ラジオの製作”などから学んだ技術の延長線上に、本書があります。電子工作の領域における著者の著作活動を振り返ると、1976年の“CQ”への掲載が最初でした。それ以来、製作記事を含む多数の記事が“CQ”、“トランジスタ技術”、“電子展望”などに、また、一部(2件)がReview of Scientific Instrumentsに掲載されました。そのような状況を考えると、電子工作は著者にとって単なる趣味にとどまらず、応用化学に匹敵するもう一つの専門分野として位置付けられるかも知れません。人生の歩みにおいて、二足のわらじを履くことになりましたが、二足目のわらじは、一足目(応用化学)を越えた存在であったかも知れません。結果的に、その二足目のわらじが定年退職後の著者の活動で重要な地位を占めるようになりました。ことによると、今後は、電子工学に根ざした活動が著者の“本業”になるかも知れません。「定年後の(多分)人生最後の仕事が本当の本業」になれば、これにすぐる喜びはありません。

私見ですが、著者は“研究業務”と“研究”を区別しています。前者は仕事としての研究ですが、後者は仕事と趣味の両方の要素を含んだ“研究”です。著者は既に50年以上の間、電池に関する領域で生きてきましたが、このことが対価(賃金)を得るためだけのものであるとすると、長期に亘って生き続けることは出来なかったと思います。“好きこそものの上手なれ。”との例えもあり、趣味や遊びの要素があればこそ、興味を持って研究を続けることが出来たと思っています。このような思想は、もの作り日本の復活を目指して産学官の連携の下、新産業の育成を第一の目標とする現在の研究環境では、殆どは認められないと思います。しかし、勉学や研究に遊びの要素が少ないからこそ、理科離れが進んでいるのかも知れません。ただ、ここで誤解の無いように、著者の言うところの研究では、遊びの要素(好奇心)と仕事の要素(自制心)の均衡が大切です。これら2つの車輪の大きさが異なると、研究は円滑に進みません。これは勉学も同じです。著者の研究に遊びの要素を与えるのに、電子工作が役立ちました。

上記のような多面性が研究者としての著者の特徴です。そのような研究者として活動の成果を巻末にまとめました。これらの成果は玉石混交で、論文の投稿先は多種多様です。また、「研究に遊びの要素を持ち込んでも、この程度の業績を上げることが出来る。」のか、「研究に遊びの要素を持ち込んだからこそ、このような業績を上げることが出来た。」のか、見方は様々だと思います。更に、この一覧に記載されていないものを集めたものが、本書です。本書は著者の生き方を紹介した“自分史”の性格も持っており、これまでの教育・研究のあり方に対する著者の対案を暗示しています。

学生時代に作成した3冊のノートが著者の書斎の書棚に保管されています。1冊には、有馬先生の電気工学の講義内容がまとめられています。2冊目は、日比野先生のセラミックスの講義に関するものです。3冊目は、立木、高橋、山本、並びに、岩原先生による電気化学

の講義に関するものです。人生は何かと苦勞が多いものですが、前記の先生方との出会いは著者にとって幸運であったと感じています。

最後になりましたが、本書の出版では、ユニオンプレスの方々に大変お世話になりました。心より御礼申し上げます。

著者の経歴と業績

著者が若かった頃、将来の外国留学を期待して、経歴と業績の表を英字で作成しました。幸にして留学の機会を得ることが出来ましたが、帰国後も表は英字のままでした。今更和字に直すのも煩雑なので、現在使っている体裁のまま紹介します。なお、論文は自らの手で執筆したものに限定しました。玉石混交ですが、著者は自ら執筆したことに喜びを感じています。

Shigeo Tanase was born in 1949 in Nagoya. He has been involved in **Ceramics, Solid Electrolytes, Fuel Cells and Batteries, and Scientific Instruments**. He studied the solid state reaction between powdered CaCO_3 and Al_2O_3 at high temperatures under Dr. T. Hibino at the University of Gifu from 1972 to 1973. He investigated solid proton conductors with Prof. T. Takahashi at the University of Nagoya and obtained Dr. Eng. in electrochemistry in March 1978. He joined the Government Industrial Research Institute, Osaka (GIRIO) in April 1978 and was engaged in a survey of the electrocatalysts for hydrogen-oxygen fuel cells. He served as a specialist for Development Program in Office of Moonlight Project (Energy Conservation Technology) of the Agency of Industrial Science and Technology (AIST), Ministry of International Trade and Industry (MITI) from 1982 to 1983. He visited Rutgers, The State University of New Jersey, as an exchange visitor to join the research group of Prof. M. Greenblatt from 1988 to 1989. He has worked on a variety of electrochemical devices (fuel cells, and so on) in GIRIO (AIST, Kansai) for 32 years and was retired in March 2010. He also worked as a part-time lecturer at Kobe City College of Technology from 2009 to 2011 and Osaka Electro-Communication University from 2010 to 2014. He has been managing LEAC (Laboratory of Electronics and Applied Chemistry).

List of the Papers Written by S. Tanase

1. Ceramics

- (1) Corrosion Study on Ceramics for Conductance Measurements of Molten Carbonates [*English*], S. Tanase et al., *Ceram. Int.*, **11**, [2], 71 (1985).
- (2) Studies on Ceramics for Conductance Measurements of Molten Carbonates [*English*], S. Tanase et al., *New Materials & New Processes*, **3**, 340-344 (1985).

2. Solid Electrolytes

- (1) Proton Conduction in Triethylenediamine- and Hexamethylenetetramine-Sulfate [*English*], T. Takahashi, S. Tanase, O. Yamamoto, and S. Yamauchi, *J. Solid State Chem.*, **17**, 353 (1976).
- (2) Electrical Conductivity of Some Hydroxyapatites [*English*], T. Takahashi, S. Tanase, and O. Yamamoto, *Electrochim. Acta*, **23**, 369 (1978).
- (3) Electrical Conductivity of Urea Nitrate Single Crystal [*English*], T. Takahashi, S. Tanase, and O. Yamamoto, *Solid State Commun.*, **26**, 705 (1978).
- (4) Proton Conduction in Some Solids and the Fuel Cell with a Proton Conducting Electrolyte [*English*], T. Takahashi, S. Tanase, O. Yamamoto, S. Yamauchi, and H. Kabeya, *Int. J. Hydrogen Energy*, **4**, 327 (1979).
- (5) Techniques of Electrode Preparation in Solid Electrolytes [Japanese], S. Tanase, Kotai Butsuri (Solid State Phys. Japan), **14**, 406 (1979).
- (6) An Electrochromic Cell Using a Solid Proton Conductor [*English*], T. Takahashi, S. Tanase,

- and O. Yamamoto, J. Appl. Electrochem., **10**, 415 (1980).
- (7) Electrochemical Integrating Elements [Review, Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **21**, [8], 445 (1984).
 - (8) Electrochemical Integrating Elements [Review, Japanese], S. Tanase, "Transistor Gijutsu Denshikairoubunkatsuyou Handbook", p.178-188, 1985, CQ Syuppansha (Tokyo).
 - (9) The Principle and Application of Electrochemical Integrating Elements [Review, Japanese], S. Tanase, IONICS, No.105, [7], 1 (1984).
 - (10) Glass Technology for Materials in the Field of Solid State Ionics [Review, Japanese], S. Tanase et al., IONICS, **12**, No.127, [5], 27-43 (1986).
 - (11) Humidity Sensing Technology in the Area of Solid State Ionics [Review, Japanese], S. Tanase et al., IONICS, **15**, No.164, [6], 15-26 (1989).
 - (12) Humidity Sensor with Sintered β -Ca(PO₃)₂ for High Temperature Use [**English**], M. Greenblatt, P. P. Tsai, T. Kodama and S. Tanase, Solid State Ionics, **40/41**, 444-447 (1990).
 - (13) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1992&1993 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.9-11, April, 1994, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (14) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, **English**], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1992&1993 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.10-11, April, 1994, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (15) Characteristics of Tantalum-containing Mixed Oxides in the Ceria-Samarium System as an Electrolyte [Japanese], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **45**, 83-90 (1994).
 - (16) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1994 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.7-9, April, 1995, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (17) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, **English**], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1994 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.8-9, April, 1995, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (18) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1995 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.6-9, April, 1996, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (19) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, **English**], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1995 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.6-8, April, 1996, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (20) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1996 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.6-9, April, 1997, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (21) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, **English**], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1996 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.6-9, April, 1997, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (22) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1997 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.1-4, April, 1998, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (23) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, **English**], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1997 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.1-4, April, 1998, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (24) Preparation of LaGaO₃-analogous and -based Mixed Oxide Powder and Characterization of the Sinters as an Electrolyte [Japanese], E. Suda, Y. Katayama, K. Nomura, and S. Tanase, Rare Earths, No.32, 254-255 (1998).
 - (25) High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase et al., The history of Osaka National Research Institute in the past eight decades and the summary of the R&Ds in the late one decade, p.63-64, October, 1998, ONRI, AIST, MITI.
 - (26) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, Japanese], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1998 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.1-5, April, 1999, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (27) Work on High Temperature Water Vapor Electrolysis [Review, **English**], S. Tanase, JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1998 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.1-5, April, 1999, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (28) Work on Hydrogen Production and Separation Using Solid Electrolytes [Review, Japanese], S. Tanase et al., JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1999 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.1-5, April, 2000, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (29) Work on Hydrogen Production and Separation Using Solid Electrolytes [Review, **English**], S. Tanase et al., JAPAN'S NEW SUNSHINE PROJECT 1999 ANNUAL SUMMARY OF HYDROGEN ENERGY R&D, p.1-5, April, 2000, NSP PROMOTION HEADQUARTERS, AIST, MITI.
 - (30) Characteristics of Mixed Rare Earth Oxide as an Electrolyte and the Application to Fuel Cells [**English**], S. Tanase et al., ITE Letters, **6**, [5], B6-B9 (2005).
 - (31) Electrolyte Characteristics of Solids Made from a Mixed Rare Earth Oxide Powder Prepared by a Co-precipitation Method [**English**], S. Tanase et al., ITE Letters, **7**, [4], B10-B15 (2006).

3. Fuel Cells and Batteries

- (1) Survey of the Electrode Catalysts for Hydrogen-Oxygen Fuel Cell (I) [Japanese], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **31**, 65 (1980).

- (2) Survey of the Electrode Catalysts for Hydrogen-Oxygen Fuel Cell (II) [Japanese], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **31**, 221 (1980).
- (3) Survey of the Electrode Catalysts for Hydrogen-Oxygen Fuel Cell (III) [Japanese], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **32**, 1 (1981).
- (4) Present Status of the Electrode Catalysts for Fuel Cells [Review, Japanese], S. Tanase, Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **32**, 313 (1981).
- (5) Ternary Mixed Oxides as the Electrode Catalysts for Hydrogen-Oxygen Fuel Cells [English], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **33**, 107 (1982).
- (6) Fuel Cells and their Electrolytes [Review, Japanese], S. Tanase, Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **33**, 221 (1982).
- (7) Preliminary Work on New Electrode Catalysts for Fuel Cells [English], S. Tanase et al., Prog. Batteries Sol. Cells, **4**, 235-241 (1982) and Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **33**, 257 (1982).
- (8) Advanced Battery Energy Storage System [Comment, Japanese], S. Tanase, The Energy Conservation, **35**, [2], 53 (1983).
- (9) Fuel Cell Power Generation [Comment, Japanese], S. Tanase, The Energy Conservation, **35**, [4], 53 (1983).
- (10) Present Status of the Advanced Battery Electric Power Storage System Project in Japan [Review, English], A. Niimura, T. Sasao, K. Ueno, and S. Tanase, Prog. Batteries Sol. Cells, **5**, 350-356 (1984).
- (11) Points for Development of Fuel Cell Technology [Comment, Japanese], S. Tanase, "Nenryohdentintou Hatten-o Kitaishite", p.213, 1986, MITI-AIST-M/L-FC-5.
- (12) An Apparatus for Electrical Conductance Measurements with Molten Carbonates [English], Y. Miyazaki, M. Yanagida, K. Tanimoto, T. Kodama, and S. Tanase, J. Electrochem. Soc., **133**, [7], 1402-1404 (1986).
- (13) Conductance Measurements in Molten Alkali Carbonates [English], S. Tanase et al., Prog. Batteries Sol. Cells, **6**, 195-200 (1987).
- (14) Work on Electrically Conductive Materials for Molten Carbonate Fuel Cells [English], S. Tanase et al., Prog. Batteries Sol. Cells, **7**, 389-395 (1988).
- (15) Numerical Formulation of Electrical Conductance Data of Molten Alkali Carbonates [English], S. Tanase et al., Prog. Batteries Sol. Cells, **7**, 396-402 (1988).
- (16) An Achievement of Conductance Measurements with Materials for MCFCs by GIRIO [English], S. Tanase et al., Prog. Batteries Sol. Cells, **9**, 218 (1990).
- (17) Conductance Measurements in Molten Carbonates I. Alkali Carbonates [Japanese], T. Kojima, Y. Miyazaki, M. Yanagida, K. Tanimoto, H. Okuyama, T. Kodama, and S. Tanase, Denki Kagaku, **59**, [3], 247-249 (1991).
- (18) Fuel Cells and Zirconia [Review, Japanese], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka, **42**, 142-149 (1991).
- (19) Fuel Cells and Zirconia [Review, Japanese], S. Tanase et al., "Japan MRS New Materials Series Zirconia Ceramics 11", p.137-148, December, 1991, Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd., Tokyo, Japan.
- (20) Solid Oxide Fuel Cells [Review, Japanese], S. Tanase et al., "The History of Osaka National Research Institute in the Past Eight Decades and the Summary of the R&Ds in the Late One Decade", p.51-52, October, 1998, ONRI, AIST, MITI.
- (21) Fuel Cells and the Fabrication Technique [Review, Japanese], S. Tanase, "Report on the Latest Trends of Advanced Functional Thin Film Technology (V)", p.180-190, May, 2002, Shin-mukimaku Kenkyukai.
- (22) The Other Types of Fuel Cell [Review, Japanese], S. Tanase, "Report on the Latest Trends of Advanced Functional Thin Film Technology (V)", p.228-236, May, 2002, Shin-mukimaku kenkyukai.
- (23) Batteries [Review, Japanese], S. Tanase, "Report on the Fabrication of Nano-structured Thin Film and Their Application", p.150-155, March, 2004, Shin-mukimaku Kenkyukai.
- (24) A Report on the Actual Use of Commercial Ni-Cd Batteries and their Cycle Durability (An Interim Report) [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [7], 149-151 (2005).
- (25) Lanthanum Silicate with Apatite-type Structure as an Electrolyte for Intermediate Temperature SOFCs and the Electrode Materials [English], Y. Nojiri, W-F. Chen, M. Iwasa, Y. Matusmura, T. Sakai, and S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **1**, 38-46 (2008).
- (26) A Report on the Actual Use of Commercial Ni-Cd Batteries and their Cycle Durability (A Final Report) [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [7], 146-150 (2008).
- (27) A Report on the Actual Use of Commercial Ni-Cd Batteries and their Cycle Durability [English], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **5/6**, 53-57 (2009).
- (28) A Reconsideration of Electrical Conduction in Molten Alkali Carbonates [English], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **5/6**, 58-62 (2009).
- (29) Present Status and Trends of R&Ds on Batteries and Fuel Cells [Review, Japanese], S. Tanase, "Report on Present Status and Future Trends of Thin Film Technology", p.59-73, June, 2010, Shin-mukimaku Kenkyukai.
- (30) Work on cascade use of used dry batteries and modification of battery checker [English], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **3**, [2], 33-38 (2010).
- (31) Development of a Dry Battery Kit for Technical Education [Japanese], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **3**, [3], 41-48 (2010).
- (32) An Interim Report on the Actual Use of Commercial Ni-MH Batteries [English], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **3**, [4], 41-45 (2010).
- (33) Development of a Dry Battery Kit for Technical Education (Part 2)—Improvement of the Battery and Application of a Third Electrode [Japanese], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **4**, [1], 41-46 (2011).
- (34) Preliminary Study of SOFCs for AIP System [Japanese], S. Tanase, ITE-IBA Letters on Batteries, New Technologies & Medicine, **4**, [1], 47-51 (2011).
- (35) Feasibility in the Field of Energy and Ecology: Fuel Cells, Ozonizers, and Membranes for Hydroden

Separation [Review, Japanese], S. Tanase, "Report on Present Status and Future Trends of Thin Film Technology", p.160-170, June, 2012, Shin-mukimaku Kenkyukai.

- (36) A Course in Experiment on Hand Made Dry Batteries with Cylindrical Vessels Made of Polystyrene [Japanese], S. Tanase and Y. Yuguchi, Studies in Science and Technology, **2**, [2], 155-162 (2013).
- (37) Secondary Batteries [Japanese], S. Tanase, "Suiso-no-jiten (The Dictionary of Hydrogen), p.113-120, April, 2014, Asakura-shoten (Bookstore).
- (38) An Improvement on Hand Made Dry Batteries with Cylindrical Vessels Made of Polystyrene: Novel Separators and the Revised Sequence of an Assembly [Japanese], S. Tanase and Y. Yuguchi, Studies in Science and Technology, **3**, [2], 177-182 (2014).

4. Scientific Instruments

- (1) Soldering Iron with the Thermostat Using Transistors [Japanese], S. Tanase, CQ Ham Radio, No.358, [4], 230 (1976).
- (2) Soldering Iron with the Thermostat Using Operational Amplifiers [Japanese], S. Tanase, CQ Ham Radio, No.369, [3], 233 (1977).
- (3) Soldering Iron with the Thermostat Using Operational Amplifiers [Japanese], S. Tanase, "Syohono Seisaku Gijutsu", p.117, 1977, Seibundoh Shinkohsha (Tokyo).
- (4) Multi-Range DC Power Supply [Japanese], S. Tanase, CQ Ham Radio, No.389, [11], 265 (1978).
- (5) Electronic Reference for Thermocouples [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **16**, [1], 318 (1979).
- (6) Multi-Range AC and DC Power Supply [Japanese], S. Tanase, Denshi Tenboh, [5], 68 (1979).
- (7) Electronic Analog Time Switch with a Power Controller [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **16**, [10], 359 (1979).
- (8) Multi-Purpose Mini Alarm [Japanese], S. Tanase, Syohono Radio, [12], 56 (1979).
- (9) Proportionally Controlled AC Power Supply [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **20**, [10], 386 (1983).
- (10) Programmable Temperature Controller [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **21**, [6], 430 (1984).
- (11) Programmed Temperature Controller Using "MEMORIDE" for Solution Crystal Growth [English], S. Tanase et al., Rev. Sci. Instrum., **56**, 1964 (1985).
- (12) Chart Speed Controller [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **23**, [3], 481 (1986).
- (13) Automatic Zero Suppression Unit [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **24**, [1], 485-490 (1987).
- (14) Programmed Temperature Controller Using "MEMORIDE" [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **24**, [3], 489-494 (1987).
- (15) Sloped Automatic Mortar [Japanese], S. Tanase et al., Kagaku To Kogyo (Chemistry and Chemical Industry), **40**, [12], 1074 (1987).
- (16) Kitchen Timer Using "MEMORIDE" [Japanese], S. Tanase, Transistor Gijutsu, **25**, [4], 498-502 (1988).
- (17) Portable Impedance Converter [Japanese], S. Tanase et al., Kagaku To Kogyo (Chemistry and Chemical Industry), **42**, [8], 1416 (1989).
- (18) Apparatus for Evaluating Humidity-Sensing Characteristics of Solid Electrolytes [English], S. Tanase et al., Rev. Sci. Instrum., **60**, [12], 3809-3811 (1989).
- (19) An Application of FC Timer to Vacuum Tube Audio Amplifiers [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [12], 60-61 (1992).
- (20) Simple Cold Isostatic Press and its Use to Mold the Powder of Solid Oxide Electrolytes [Japanese], S. Tanase et al., Bull. Gov. Ind. Res. Inst. Osaka (Bulletin of the Osaka National Research Institute, AIST), **46**, [3-4], 92-95 (1995).
- (21) Conductance Measurement [Japanese], S. Tanase, Electrochemistry, **71**, [9], 814-819 (2003).
- (22) Electrical Conductance Measurement in Electrode-Electrolyte System [Japanese], S. Tanase, "Measurement and Characterization of Electrical Parameters", p.98-111, May, 2005, Gijutsu-Johou Kyoukai (Technology and Information Center).
- (23) An Experimental Electrochemical Cell Made of Plastic Bottles and an Idea of the Simulated Electronic Circuit [Japanese], S. Tanase, Studies in Science and Technology, **1**, [2], 151-154 (2012).

5. Others

- (1) Collection Case for Electronic Parts [Japanese], S. Tanase, Mokei To Radio, [9], 69-71(1980).
- (2) Recent Trends of the Research on Electronic Materials in Rutgers University [Japanese], S. Tanase, IONICS, **15**, No.161, [3], 10-11 (1989).
- (3) A Visit to Rutgers University [Japanese], S. Tanase, GIRIO's News, **33**, [7], 3 (1989).
- (4) Stereo Amplifier with Three Valves [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [8], 201-202 (1990).
- (5) Recent Trends of the Application of Nano-technology [Review, Japanese], S. Tanase, "Report on the Fabrication of Nano-structured Thin Film and Their Application", p.97-106, March, 2004, Shin-mukimaku Kenkyukai.
- (6) Audio System with High Cost Performance [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [1], 172-173 (2009).
- (7) 6BM8 Stereo Amplifier [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [3], 156-157(2010) and [8], 152-153 (2010).
- (8) 6AR5 Stereo Amplifier [Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [11], 56-59 (2010).
- (9) Which is better, "full-wave rectification" or "double-wave one" in Japanese as a technical term? [Comment, Japanese], S. Tanase, Radio Gijutsu, [1], 168-169 (2011).
- (10) An Essay on the 20th Anniversary of Shin-mukimaku Kenkyukai [Japanese], S. Tanase, "The Memorial Issue of Shin-mukimaku Kenkyukai at the 20th Anniversary", p.6-7, June, 2011, Shin-mukimaku Kenkyukai.
- (11) Expressing Japanese Technical Terms in the Field of Electrical Engineering [Japanese], S. Tanase, Studies in Science and Technology, **1**, [1], 57-63 (2012).

電池、ラジオ、アンプ 電子工作集成

—電子工学と応用化学を基礎にした趣味と実用の工作、評論と報告—

2015 年 6 月 1 日 初版発行

著者 棚瀬 繁雄

発行者 池田 宏史

発行所 ユニオンプレス／株式会社ユニオンサービス

542-0062 大阪市中央区上本町西 5 丁目 1 番 6 号

電話 06 6763-5431 テレファックス 06 6763-5463

E-mail info@union-services.com

振替口座 00900-0-33598

印刷・製本 デザインインターナショナル

ISBN 978-4-946428-74-6

© Shigeo Tanase 2015

Printed in Japan

定価は、裏表紙に明示してあります。乱丁・落丁はお取り
替えいたします。本書の一部または全部について、弊社から
文書による許諾を得ずに、複写複製、転載することは法律
で認められた場合を除き、著作権及び出版権の侵害となり
ます。

ISBN978-4-946428-74-6
C3055 ¥2200E

発行 ユニオンプレス／株式会社ユニオンサービス
定価 本体2,200円＋税

Cover design
Design International