

蜜蝋溶融ヒータ制御ユニットおよび充電制御 ユニットの開発

ルーセットストラテジー(株)

福岡 正和

1. 開発要旨

溶けた蜜蝋で線画や文字を描くペンにおいて、蜜蝋の溶融温度制御は重要である。蜜蝋温度が高くなりすぎると低粘性のためにペン先からばた落ちし易くなり、逆に温度が低すぎると、たとえ溶けてはいても滑らかに描けない。そこでペンの構造などの微妙な条件に合わせて最終調節可能な、自由度の高いマイコン型ヒータコントローラを製作した。

さらに本機器を使用するユーザが視覚障害者であることを考慮し、電源状態や温熱状態を音声で知らせるガイド機能も搭載した。

また、ペンは電源コード有り／無し両タイプが企画されているので、NiMH充電電池駆動コードレスタイプ用の充電制御ユニットも開発した。

2. 開発目的

ペン内部の蜜蝋溶融温度は書き心地、滑らかさに直接影響する。高すぎると蜜蝋が出過ぎてばた落ちするし、低すぎると書く時の滑らかさが失われる。

したがって、単純にサーモスタット等でON／OFFすればよいというものではなく、マイコンによる細やかな制御、しかも断熱状況、ペン先のメカニズムや口径など、構造に合わせた調整と制御法が要求される。

本研究では、単に物体の温度を上げて保持するというのではなく、固体→液体という相転移を起こす状況下での温度保持を考慮し、最終的にペン書きの滑らかさを追求できるような温度制御の基礎ユニットを製作することが目的である。これにより、今後、ペンの要素（構造、部材の熱容量、ヒータの特性など）が様々に変更・改良されても、すぐに対

応（制御定数の変更等）できるようになる。

またコードレスタイプではNiMH充電電池を搭載するので、専用の充電制御ユニットを開発する。この場合も原理的には従来の充電方式と変わらないが、充電中に同時にヒータへも電流を供給し、しかもヒータ電流は最大2.5Aにもなる（充電電流と合わせて3.5A以上）ので、その状況を常にモニタしながら充電制御を行う必要がある。これらの条件を満たす専用基板を開発することも目的の一つである。

3. 開発方法

従来、温度制御は比例制御、PID制御など様々であるが、これらはすべてマイコンプログラムによって可能である。また電子回路による制御よりも自由度が高く、初期立ち上がりはファジィ制御、目標値に達してからは比例制御に切り替える、といった複雑な数値制御が可能になる。

本開発では、開始時点で蜜蝋の溶融過程が不明であったため、その現象把握も含め、様々な制御プロセスをファームウェア変更により試験できるように、まずオーソドックスなマイコン制御ユニットを製作した。

図1に全体システムのブロック図を示す。システムは、①ヒータ制御ボード、②充電制御ボード、③音声再生ボードから成る。

同図は今回の開発品のすべての機能をマッピングしたものであるが、実際に試作したのは次の2機種である。

Aタイプ（コードレス）：

ヒータ制御（①）＋充電制御（②）

Bタイプ（電源コード有り）：

ヒータ制御（①）＋音声ガイド（③）

以下、各タイプに必要な機能要件について説明する。

[Aタイプ]

図2にAタイプのブロック図を示す。この

機種の特徴は、使用中は充電電池で動作し、ペンステーション（置き台）にセットしたときに充電されることである。

充電中でも描画作業に備えて蜜蝋の温度を一定に保っておく必要があり、充電電流と同時にヒータ電流供給も必要になる。しかも描画中のヒータ駆動電圧は充電電池電圧（最大約5.2[V]）であるが、充電中はACアダプタから直接駆動されるため、約9[V]に切り替えられる。従って、充電中、9[V]側から充電電池へ逆流しないように、ヒータ制御ボード上に充電電池からの経路を遮断する機能が必要になる。

ヒータ制御ボードには約4[Ω]のヒータが接続され、充電電池を電源とする場合、約1.2[A]、またはACアダプタ（DC9[V]）使用の場合、約2.2[A]の電流が流れるため、ヒータON/OFF用リレーとして、この大電流に耐える部品が必要である。また、制御ボードを収納する空間が非常に狭いので、このリレーは極小でなければならない。これらの条件に合致する部品は現時点でフォトモスリレーAQV252G（パナソニック電工）しかない。これは8.8×6.4×3.6[mm]であるにもかかわらず、最大出力60[V]/5[A]を確保できる。

マイコン（MCU）にはテキサスインスツルメンツ製MSP430F2122を採用した。これは駆動電圧が低く、しかも消費電流が極めて少ないので、電池駆動機器に最適である。サーミスタの電圧検出（温度測定）、リレー制御（ヒータON/OFF）、ブザーおよびLED制御、ヒータ電源電圧検知（充電電池かACアダプタか）を行う。さらに後述のBタイプでは音声ガイドの制御も行う。

図3にヒータ制御の最も単純なON/OFF制御ファームウェアのフローチャートを示す。これにより動作試験を行い、段階的にファジィ制御等を組み込むことにより、そのペン独自の最適な温度制御方法を確立する。

一方、充電制御ボードはペンステーションに内蔵される。これは従来のNiMH充電電池用回路を基に設計すれば良いが、ここでもヒータへの供給電流を考慮する必要がある。

ペンとペンステーションとの接続接点を1系統（1回路2接点）にすると、ヒータのON/OFFに伴い、充電電流が変動し、正しい充電が行えない。これは充電電池の劣化促進や充電中の事故の可能性を示唆する。そこで充電とヒータの供給系統は分離し、さらに大電流のことも考慮して接地も2系統設け、2回路4接点とする。

ヒータ用回路を充電回路と分離したのであれば、ヒータは充電用安定化電源（6[V]）を経由する必要は無く、DC9[V]を直接供給した方が蜜蝋溶解時間は早い。但し、最大2.2[A]以上の電流が流れるので、ACアダプタの容量を十分大きく取るか、あるいはヒータ電流をモニタしながら充電制御を安全に行う必要がある。DC9[V]出力の大容量ACアダプタが一般的でなく入手しにくいいため、本開発では後者の方式を採用し、ヒータ電流モニタ回路を付加した。

充電制御には専用チップBQ24115（テキサスインスツルメンツ）を採用し、その上位制御およびブザー・LEDの制御、ヒータ電流検出に前述のMSP430F2122（テキサスインスツルメンツ）を使用した。このマイコンに搭載する充電制御ファームウェアのフローチャートを図4に示す。

[Bタイプ]

図5にBタイプのブロック図を示す。ヒータ制御ボードはAタイプと同じものを使用するが、ここでは供給電源の切り替え検知機能は不要になる。

Bタイプの特徴は音声ガイド機能を持つことである。音声再生ボードは専用品を開発すると多額の費用が掛かるため、今回は市販品（三共電子株式会社製）をヒータ制御マイコ

ンにより駆動することにした。

端子4個(D0~D3)を有し、この入力のみ合わせにより15チャンネル(種類)のアナウンスを再生可能である。図6は音声再生ボードDIO信号入力パターンと再生信号例である。

4. 開発で得られた成果

AタイプおよびBタイプに共通なヒータ制御ボードの回路図を図7に、またそのプリント基板パターンを図8に示す。基板の大きさは65×25[mm]である。

図9および図10はAタイプ用の充電制御ボード回路図およびプリント基板パターンである。基板の大きさは65×50[mm]である。充電状態を示すLED配列(4個)はケース壁面に取り付けるため、別基板になっている。実際に製作したAタイプの基板写真および配線方法を図11に示す。

充電制御で最も重要な充電電流の安定化について試験した。充電電流は抵抗R4(図9)の前後の電圧降下から求められるので、これを常時モニタする。充電電流値そのものはBQ24115のFB端子に付けられた分割抵抗R7、R8によって決まる。そこで、これらを調節しながら、充電試験を繰り返したところ、充電電流が1[A]を越えると、かなり発熱することが分かった。発熱はユーザに不安を与え、また電池寿命も左右するので、1[A]を目安とすることとした。使用予定の充電電池は単三形で、通常、放電能力が2000~2500[mAh]であるから、1[A]の充電電流では2~2.5時間を要することになる。

1[A]での制御安定性試験を行った結果を図12、13に示す。当初、単三形充電電池4本を電池ホルダにセットして試験していた。その時の結果例が図12であるが、充電電流値が一定に保たれず、次第に低下した。その主たる原因は電池間の接触抵抗であることが判明した。

この音声再生ボードはTTLレベルDIO

そこで同型電池をボンディング(溶接)した充電電池パックを使用した結果、充電電流は最後まで概ね一定に制御され、図13のような結果を得た。このことは接触抵抗がヒータ加熱をも阻害し非効率になっていることをも意味する。

即ち、ペンの実用化に当たり、市販の単三形充電電池をばらばらに装填する方式では、充電は正しく行われないので、予めボンディングされた専用電池パックを採用しなければならない。

また、ペンとペンステーションの接触端子は、面積を広く取ることで接触抵抗を可能な限り小さくする必要がある。

このようにして構成した充電電池でペンを動作させると、80分ほど連続使用できることが分かった。(図14)

次に、Bタイプの基板写真および配線方法を図15に示す。音声再生ボードはDC5[V]駆動であるため、別途電源ボードを追加している。Bタイプは設計通り、問題なく動作した。

5. 考察

今回の製作・試験により、ペンの電気制御系について様々なパラメータを調節可能な基本的ハードが揃い、調節のノウハウが得られた。本機を使って、ペンに最適な温度制御ロジックを搭載することが可能であると思われる。

6. 結論

2系統(9[V]および5.2[V])の供給電源を自動的に切り替えて使用する大電流ヒータ制御モジュール、およびヒータ電流をモニタしながら充電電池の充電制御を行うモジュールを製作した。

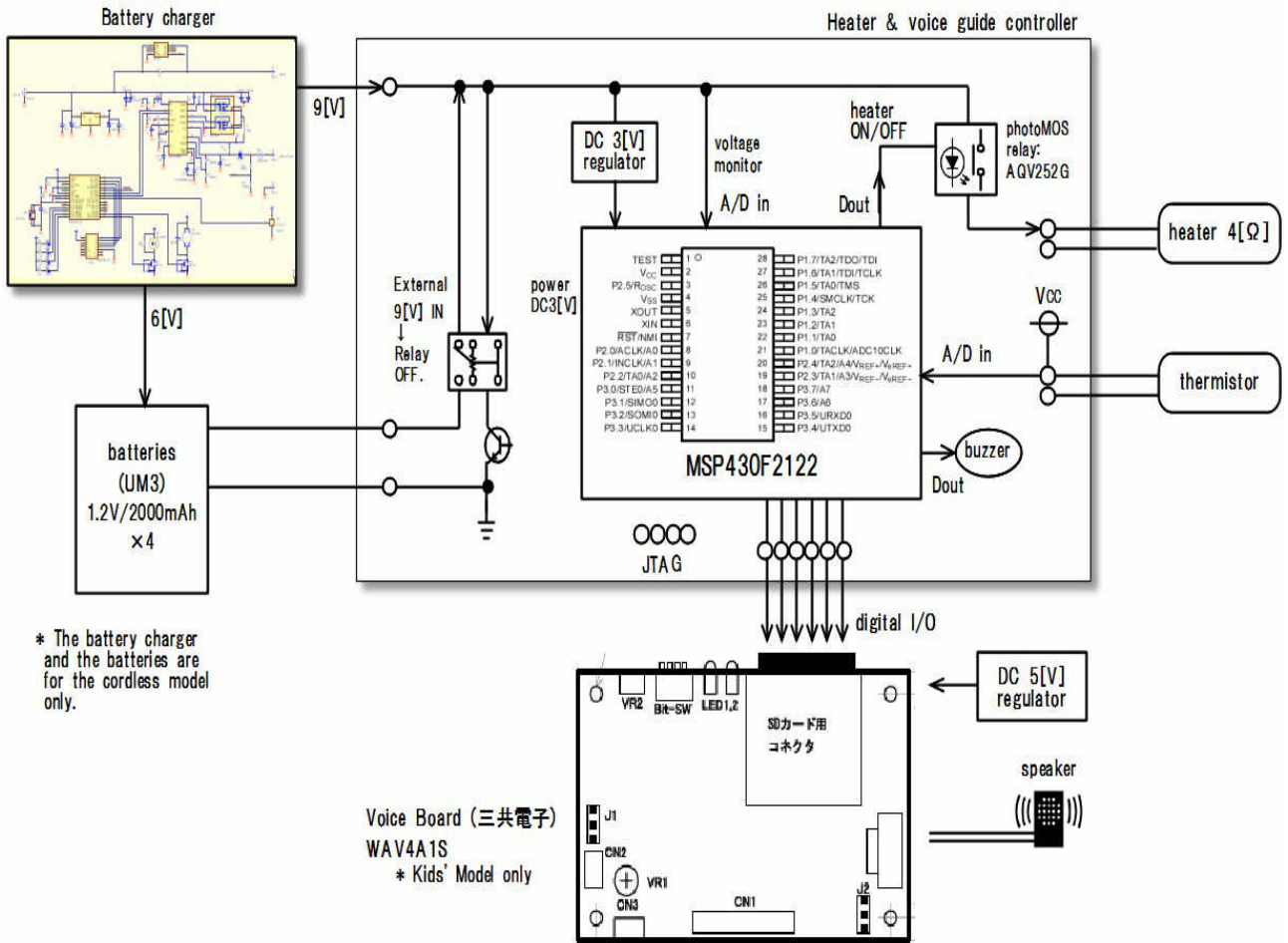


図1 全体機能の関係を示すブロック図

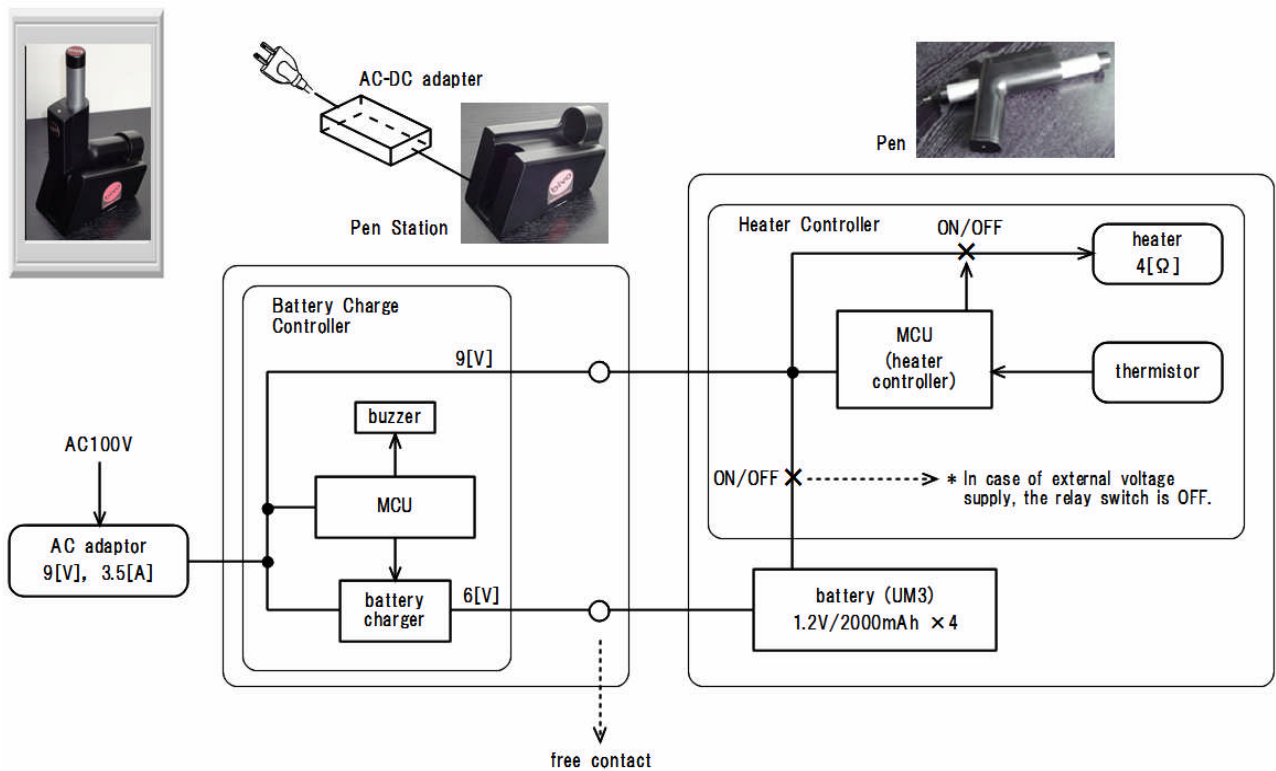


図2 試作したAタイプ (コードレス) のブロック図

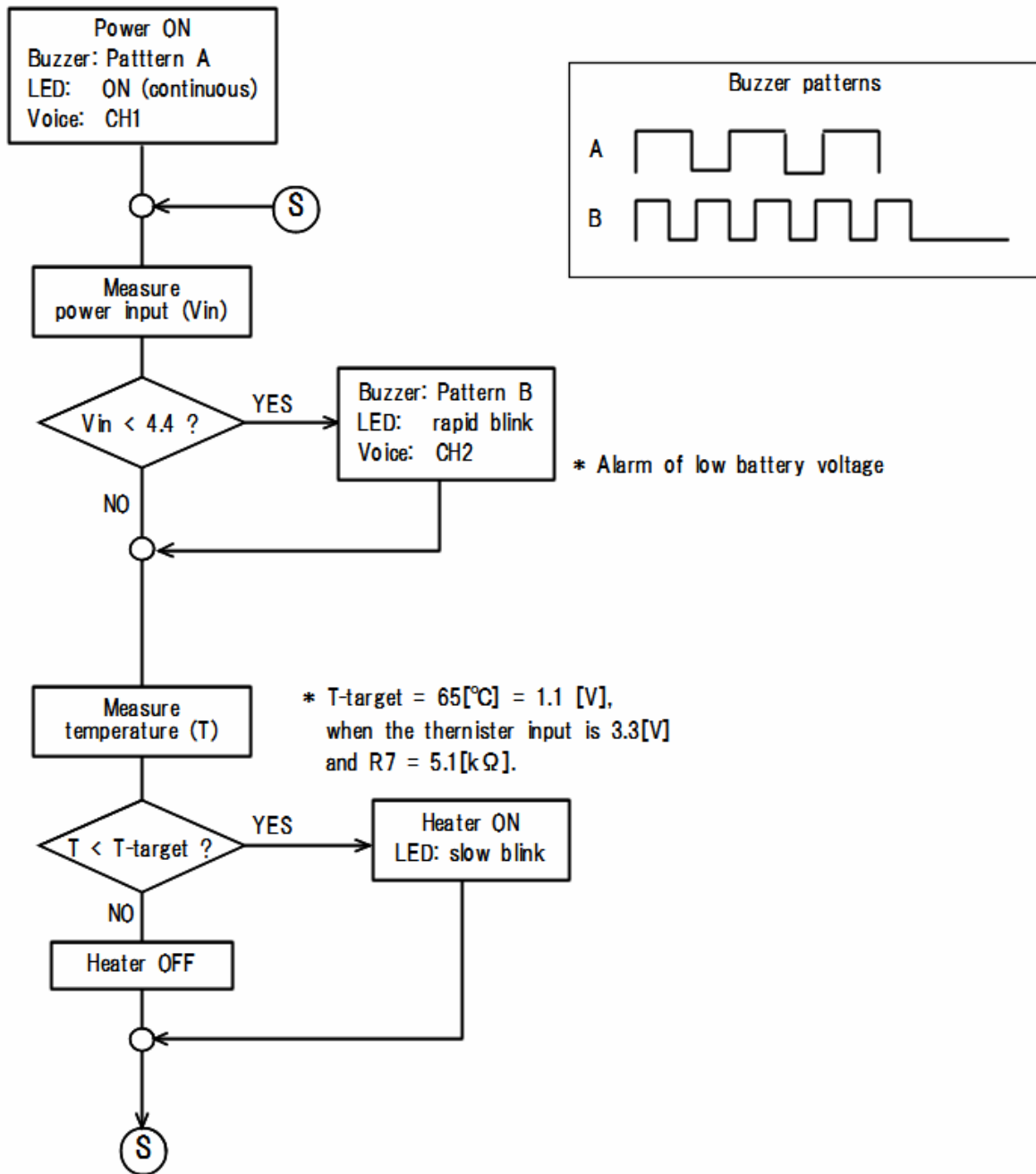


図3 ヒータ制御ボードに搭載マイコンのファームウェアフローチャート
 ※動作試験用の単純なON/OFF制御

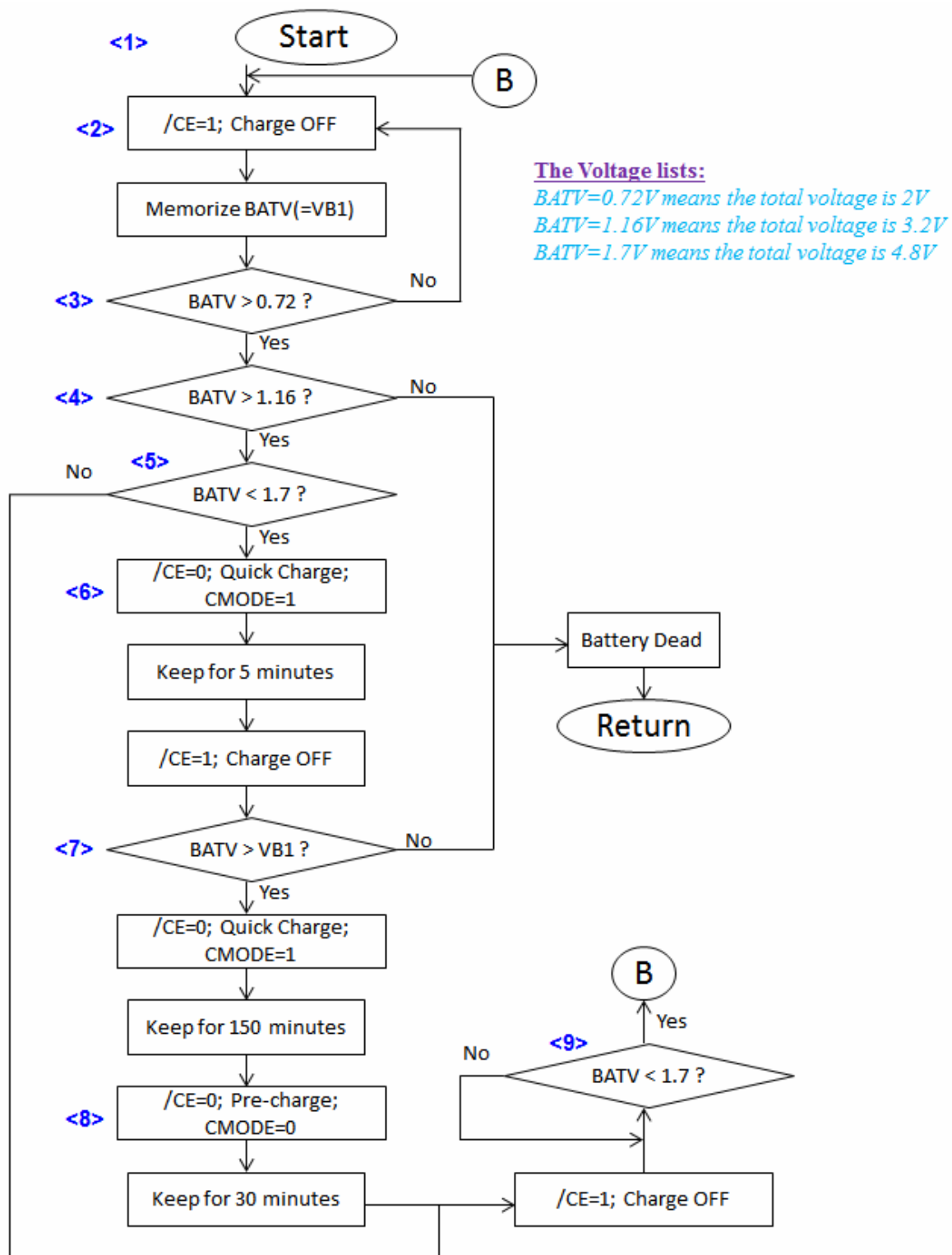


図4-1 充電制御フローチャート

- <1> Power ON.
- <2> Stop Battery Charging by /CE=1 and measure the battery voltage VB1.
- <3> If the total voltage is lower than 0.5V, the battery is not put on device.
- <4> If the total voltage is lower than 3.2V, the battery is dead.
- <5> If the total voltage is upper than 4.8V, the battery is full.
- <6> After quick charging during 5 minutes, check the voltage increase.
- <7> If no increase can be seen, the battery unit may be dead, the battery isn't dead and start the quick charging during 150 minutes.
- <8> Stop the quick charging, and start the pre-charging during 30 minutes.
- <9> After the pre-charging during 30 minutes, keep checking if the total voltage is lower than 4.8V. If the total voltage is lower than 4.8V, go to the start point of this measuring flow.

LED Indication

Red	Yellow(1)	Yellow(2)	Green
-----	-----------	-----------	-------

	<u>LED</u>	<u>BUZZER</u>
When Power ON	>>> Red	short, one time
When quick charging start	>>> Red, Yellow(1)	none
When pre-charging start	>>> Red, Yellow(2)	none
When charging is completed	>>> Red, Green	short, 3 times
When battery is full	>>> Red, Green	none
When battery is away from device	>>> Red	none
When battery is dead	>>> all LED flashing	(long, 4 times) * repeat 3 times

図4-2 充電制御フローチャートの符号説明

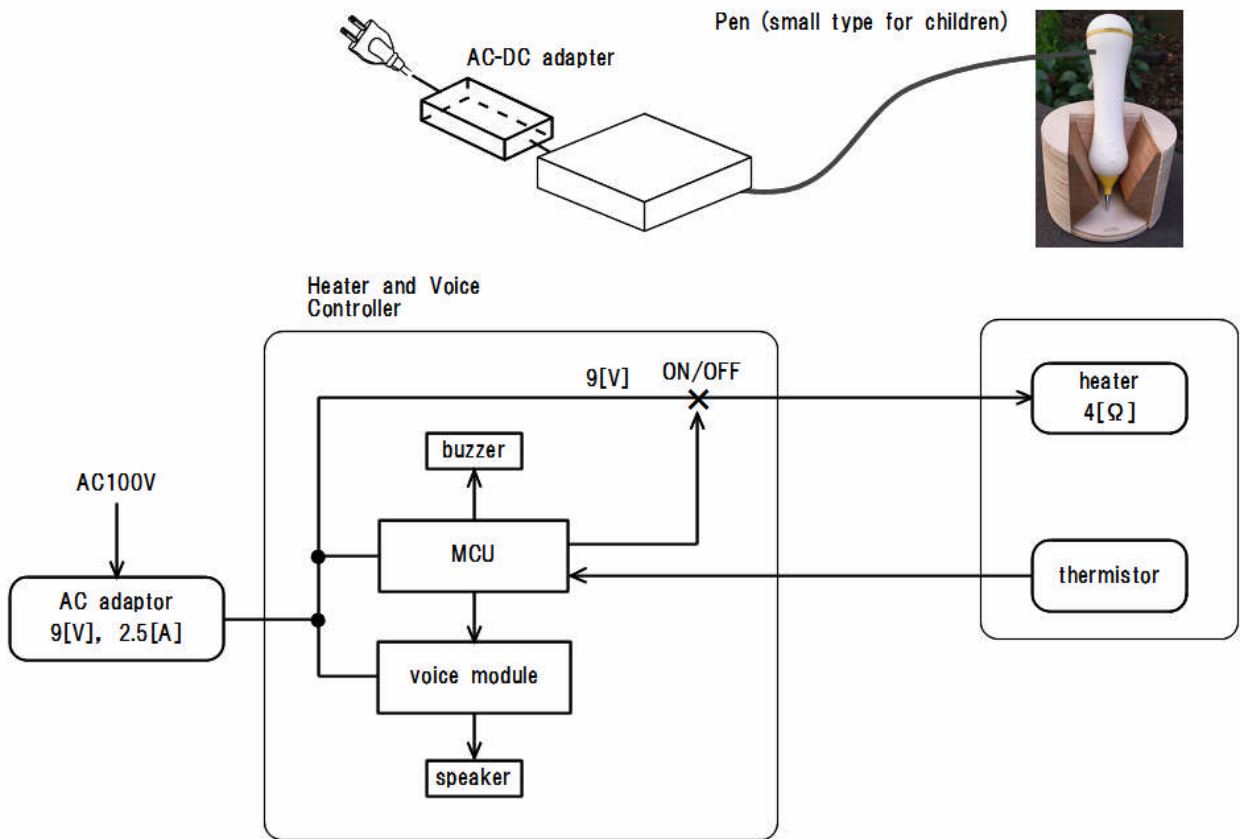


図5 試作したBタイプ（コード有り，音声ガイド付き）のブロック図
 ※「voice module」は音声再生ボード

■WAV-4A1S バイナリ制御モード

●:SW入力 ON

CH No.	待機	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SW1	D0	●		●		●		●		●		●		●		●
SW2	D1		●	●			●	●			●	●			●	●
SW3	D2				●	●	●	●					●	●	●	●
SW4	D3								●	●	●	●	●	●	●	●

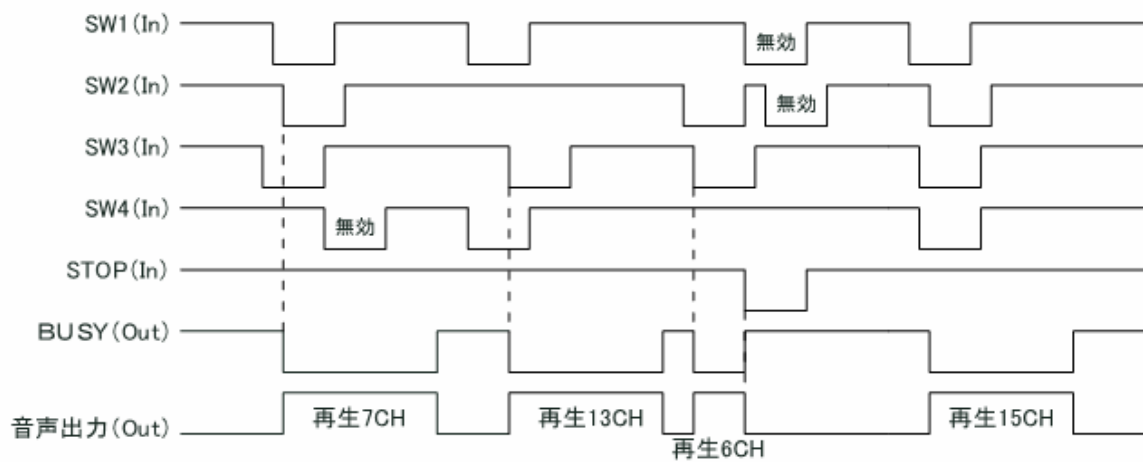


図6 音声再生のチャンネル指定方法と再生信号例

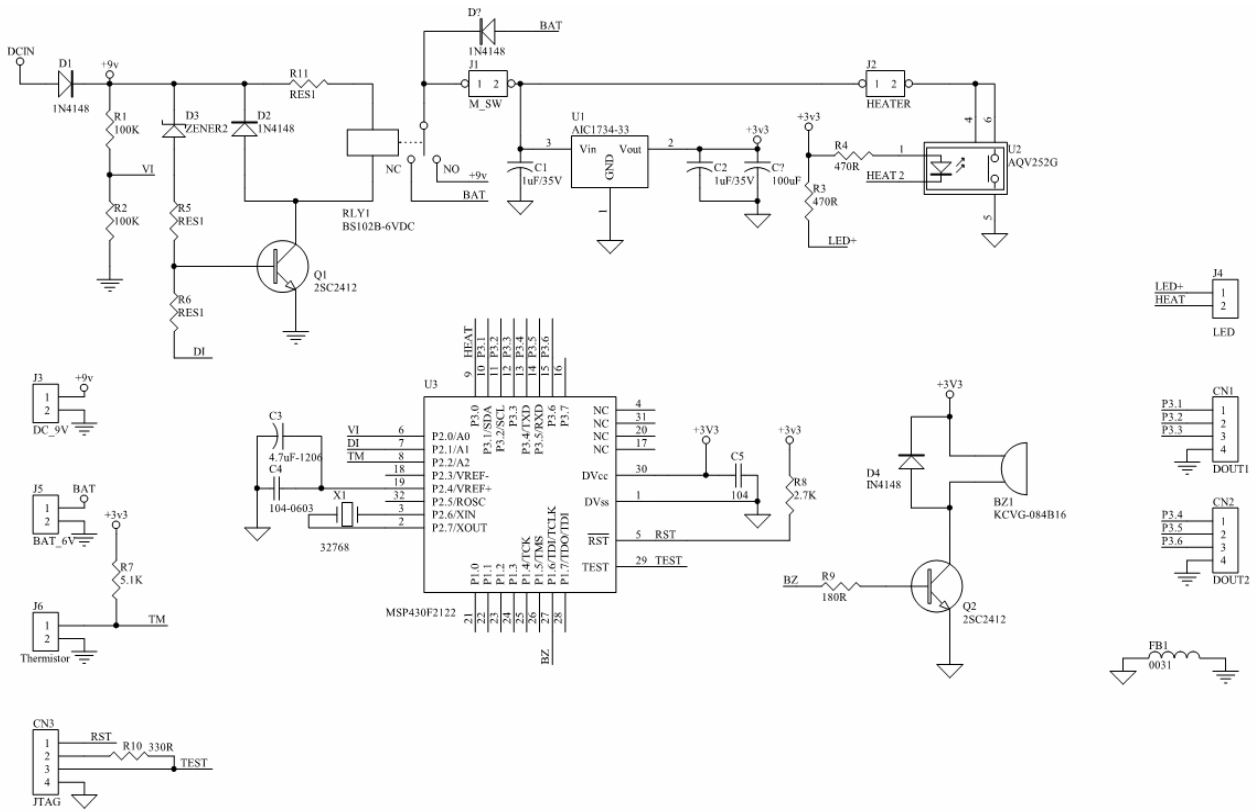


図7 ヒータ制御ボードの回路

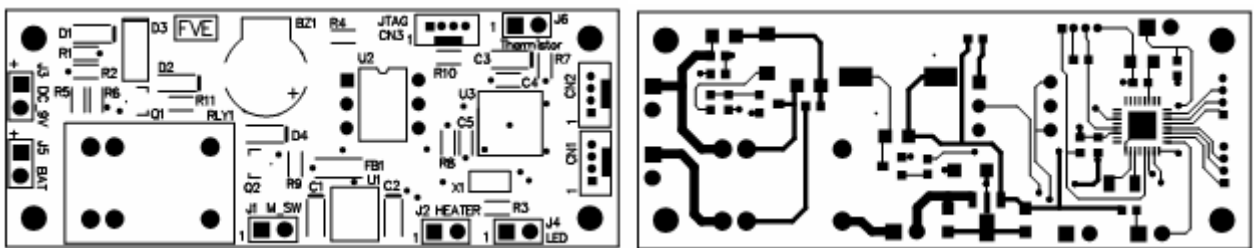


図8 ヒータ制御ボードのプリント基板

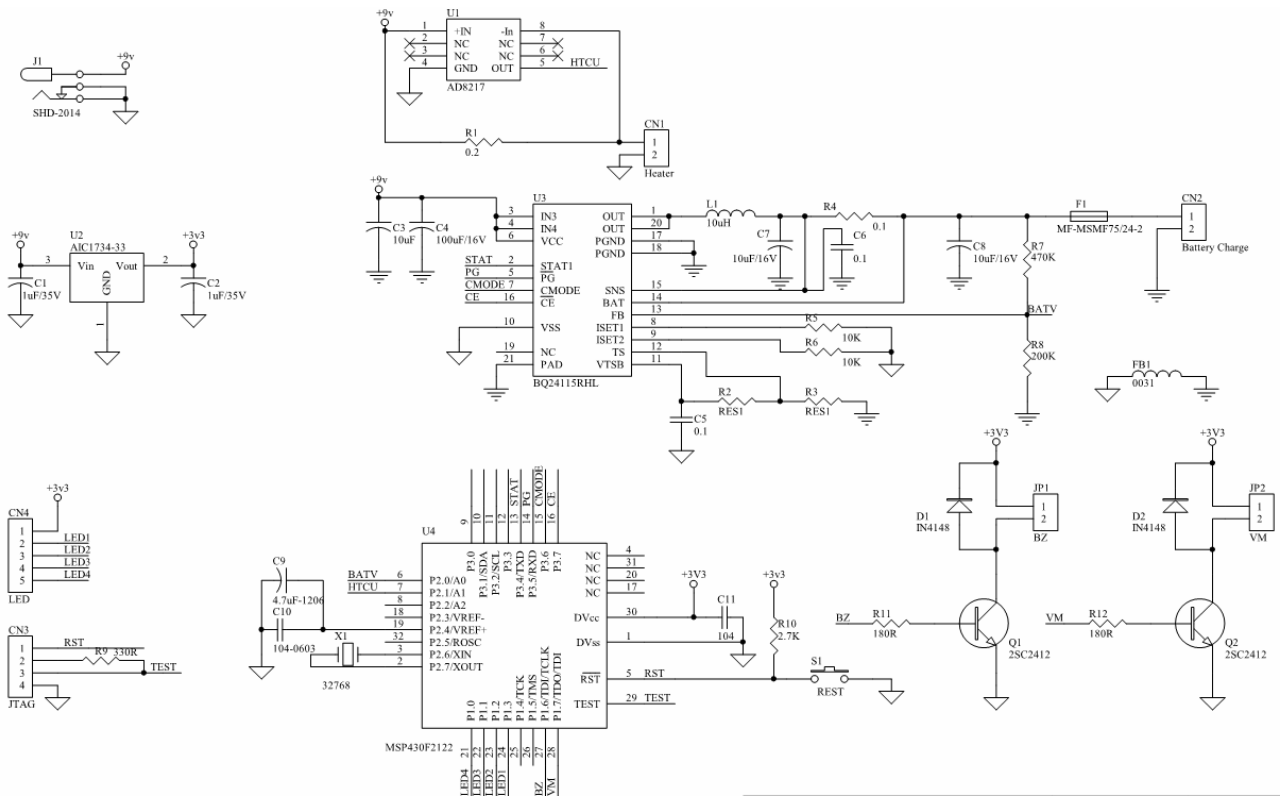


図9 充電制御ボードの回路

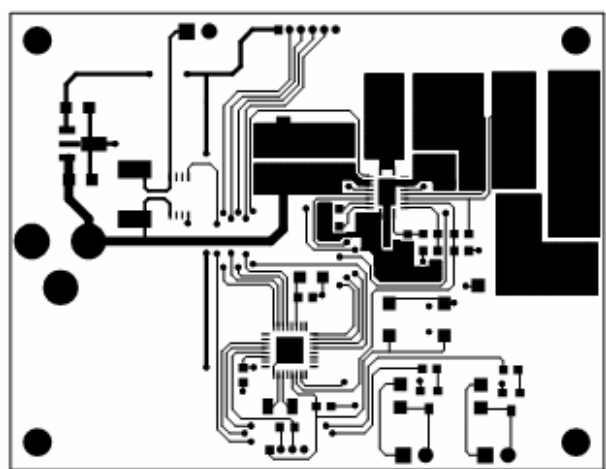
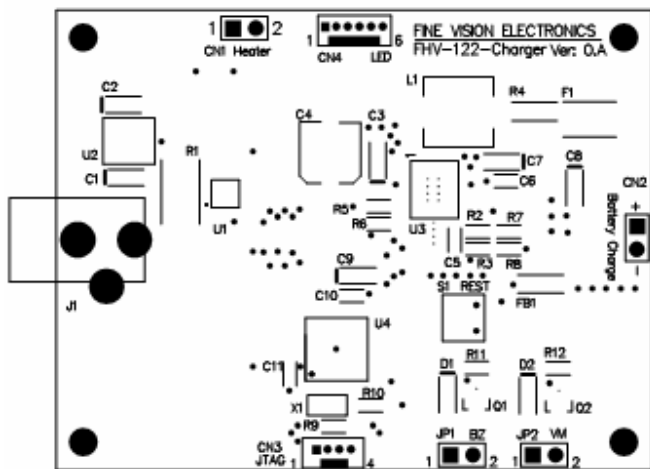
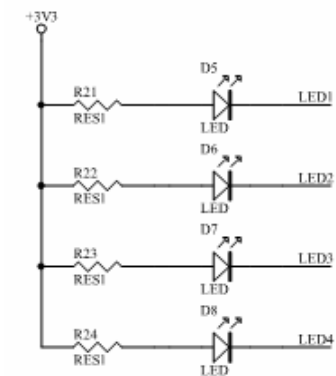


図10-1 充電制御ボードのプリント基板

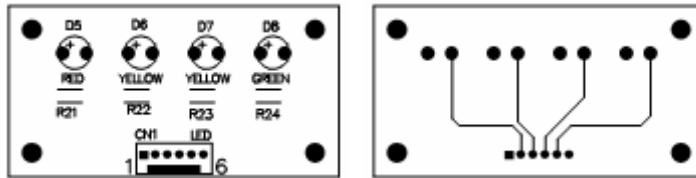


図10-2 充電制御ボードのプリント基板 (LED表示ボード)

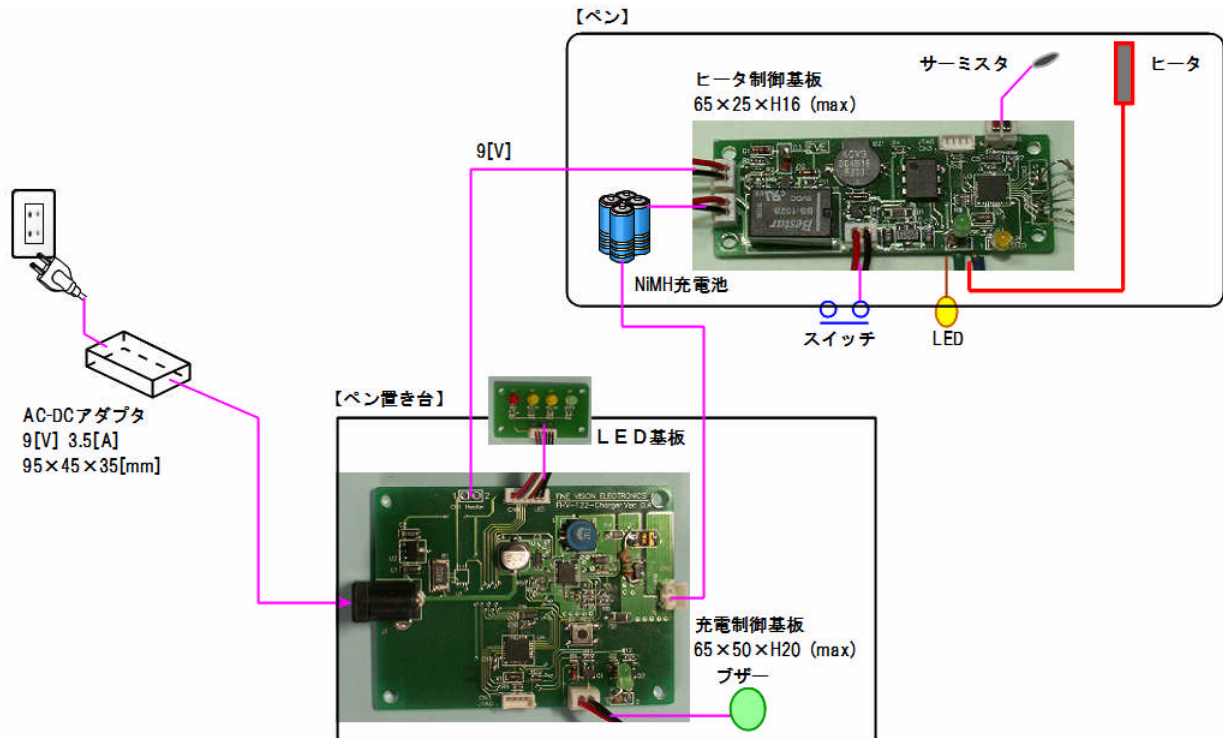


図11 製作したAタイプの基板と接続方法

【試験2】 使用電池： eneloop Typ.2000[mAh]; 4本とも完全放電状態(0.9~1[V]) ⇒ 電池ホルダ使用
 ファームウェア： CE enableの基準値=4.8[V]

時間[min]	R4電位差[V]	電流[A]	LED
0	0.1007	1.007	赤
5	0.1003	1.003	赤・黄1
10	0.0998	0.998	
30	0.0915	0.915	
65	0.0766	0.766	
70	0.0712	0.712	
80	0.0695	0.695	
85	0.0649	0.649	
100	0.0559	0.559	
110	0.0480	0.480	
120	0.0404	0.404	
145	0.0210	0.210	
150	0.0175	0.175	
154	0.0158	0.158	
155	0.0083	0.083	赤・黄2
160	0.0089	0.089	
180	0.0083	0.083	
184	0.0080	0.080	
185	0.0000	0.000	赤・緑

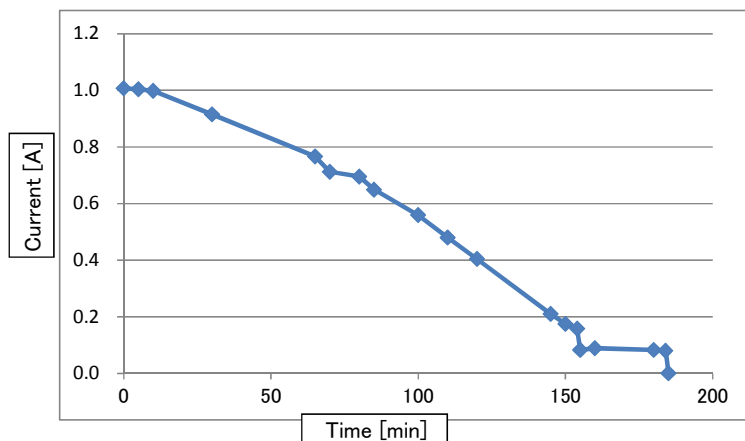


図12 充電電流安定性試験の結果 (1)

時間[min]	R4電位差[V]	電流[A]	LED	CE	
0	0.1000	1.00	赤	0	電池バック電圧: 4.66[V]
2	0.0964	0.98	赤・黄1		
5	0.0995	1.00		0	
10	0.0996	1.00			
25	0.0936	0.94			ほんのりと温か
40	0.0861	0.86			
50	0.0851	0.85			やや温かい
60	0.0813	0.81			
70	0.0780	0.78			
80	0.0790	0.79			
90	0.0855	0.86			温かみが増してきたが、熱くはない
100	0.0920	0.92			
110	0.0950	0.95			温かさがかなり増し、握りめると熱い
120	0.0961	0.98			
130	0.0979	0.98			握れるが、熱い
150	0.0981	0.98			かなり熱い
154	0.0980	0.98			
155	0.0093	0.09	赤・黄2	0	
184	0.0090	0.09			
185	0.0000	0.00	赤・緑	1	電池バック電圧: 5.51[V]

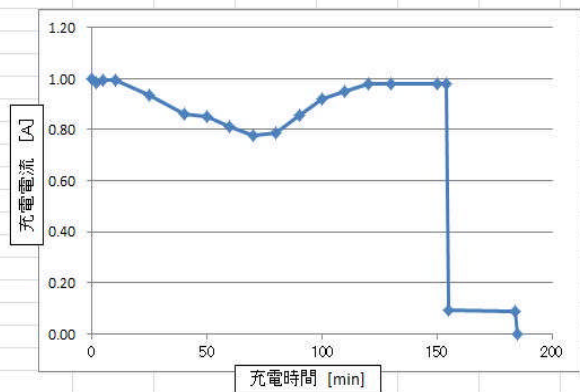


図 1 3 充電電流安定性試験の結果 (2)

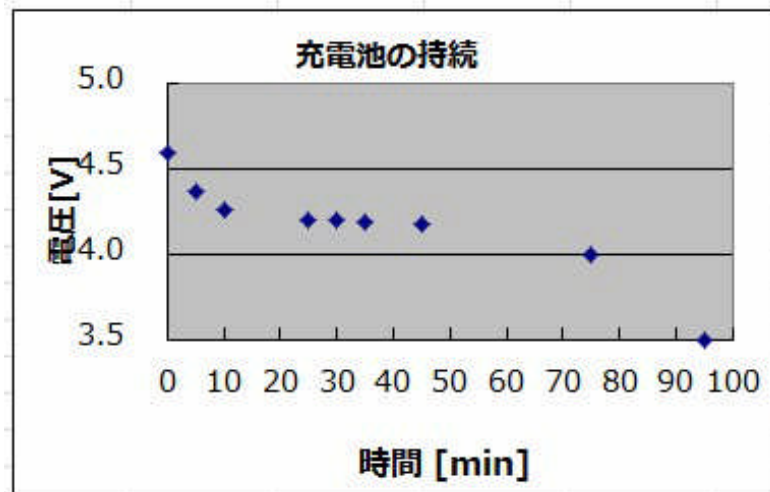


図 1 4 充電電池によるペン動作持続時間試験

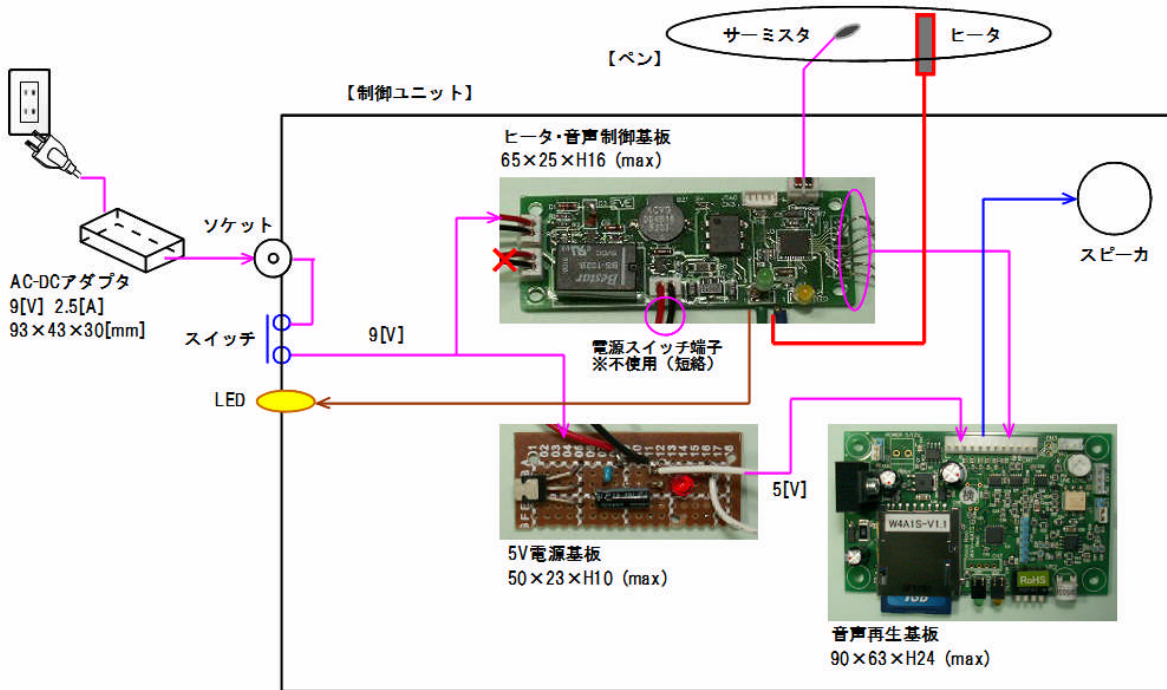


図15 製作したBタイプの基板と接続方法