

「CPU 組み立てキット」 CPU1738

製作手順書

ver 1.0 2020/04/13

※本手順書は、トランジスタ技術 2020 年 5 月号 (CQ 出版) の特集「大解剖！CPU はこうやって動いている」とあわせて読まれることを前提としています。

目次

1. 使用する工具	2
2. テスタによるダイオードの極性確認方法	3
3. 電源	4
4. 動作チェッカを作る	5
5. 論理ゲート回路 (デジタル回路ブロック) を作る	6
6. CLOCK & STATE MACHINE 基板を作る	10
7. ROM 基板を作る	13
8. I/O 基板を作る	15
9. Program Counter 基板を作る	16
10. ALU 基板を作る	16
11. A Register 基板を作る	16
12. B Register 基板を作る	16
13. Instruction Decoder 基板を作る	16
14. 回路図	16
15. 各基板のレイアウト	16
16. 全体を接続する	18
17. プログラム例	19
18. モータ・ドライバ基板を作る	22
19. ロボット部分を作る	23
20. ロボットのプログラム例	26

1. 使用する工具

- はんだごて (図1のような温度制御機能付きのはんだごてをおすすめします.)
- はんだ
- フラックス (例えば図2のようなもの.)
- ピンセット (先の細い, 図3のようなものをおすすめです.)
- ルーペあるいは双眼実体顕微鏡 (10倍から40倍程度. 例えば図4のようなもの.)
- やすり (小基板の端面を整えるために使います. 無くても構いません.)
- フラックス・リムーバ (例えば図5のようなもの. 無くても構いません.)
- キムワイプ (フラックスを拭き取るために使います. 無くても構いません.)
- プラスドライバー
- ペンチ
- ニッパ
- はさみ
- テスタ (抵抗レンジがあるもの. ダイオードの極性チェックに使います.)
- マスキング・テープ (部品の仮止めに使います. 例えば図6のようなもの.)



図1: はんだごての例.
本体: HAKKO “FX-951”
こて先: HAKKO “T12-B”



図2: フラックスの例.
HAKKO “FS-200”



図3: ピンセットの例.
HOZAN “P-891”



図4: ルーペの例.
モノタロウ “L-15X”



図5: フラックス・
リムーバの例.
HAKKO “017”



図6: マスキング・テープの例.
モノタロウ 6mm幅.

2. テスタによるダイオードの極性確認方法

●ダイオードは左右対称な形状で、極性があります

本キットで使用するチップ部品には、抵抗、ダイオード、トランジスタ（MOSFET）があります。このうち、抵抗には極性がないので取り付け方向に指定はありません。また、トランジスタはパッド形状が非対称なので極性を間違えて取り付ける可能性は低いと考えられます。

これに対して、ダイオードは左右対称な形状にもかかわらず極性があるので、誤って逆方向に取り付けてしまう可能性があります。基本的にはカソード・マークを目視確認して取り付けますが、ここではテスタを使って電氣的に極性を確認する方法を紹介します。

●デジタル・テスタの場合

デジタル・テスタの場合は、図7のように「アノードにテスタのプラス端子、カソードにテスタのマイナス端子」を接続したときに抵抗値が小さくなります。これは、ダイオードの順方向に電圧が印加されるためです。

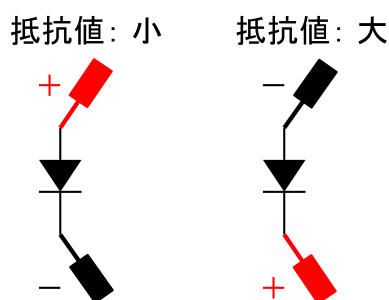


図7：「デジタル・テスタ」の抵抗測定モードを使ってLEDの極性を判定する方法。

●アナログ・テスタの場合

アナログ・テスタの場合は、図8のように「アノードにテスタのマイナス端子、カソードにテスタのプラス端子」を接続したときに抵抗値が小さくなります。これは、アナログ・テスタの抵抗測定モードではマイナス端子の電位がプラス端子よりも大きくなっているからです（抵抗レンジとその他のレンジ（電圧、電流）では、測定値の大きさに対するメータの針の動き方が逆になるため）。

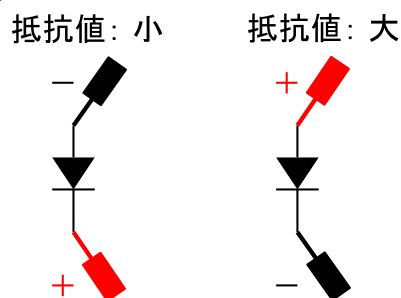


図8：「アナログ・テスタ」の抵抗測定モードを使ってLEDの極性を判定する方法。

3. 電源

●電池を使う場合

本キットの標準電源電圧は 3 (V) です。「CLOCK & STATE MACHINE」基板に単 3 乾電池 2 本用の電池ボックスを取り付けて、電源として使用してください。

●AC-DC アダプタを使用する場合

「I/O」基板には、AC-DC アダプタ用のジャックを取り付けられます。AC-DC アダプタを使用する場合は、3.3 (V) 品を推奨します。5 (V) 品も使用可能です（電源電圧を大きくした場合に最初に故障するのは発振回路の部分です）。

●電源スイッチ

「CLOCK & STATE MACHINE」基板には、電池の経路の電源スイッチが付いています。また、「I/O」基板には AC-DC アダプタの経路の電源スイッチが付いています。両方のスイッチが同時に ON 状態にならないように注意してください。

●動作確認用の電源端子

各基板への電源供給は、基板間を接続するフラット・ケーブルに含まれる電源ラインを通して行われます。これとは別に、各基板には単体で動作確認をするための電源端子がついています。図 9 のようにシルクで“VDD”および“GND”と書かれている箇所にスズメッキ線（あるいは部品のリードの余りなど）をはんだ付けして使用してください。あくまでも動作確認用なので、必須ではありません。

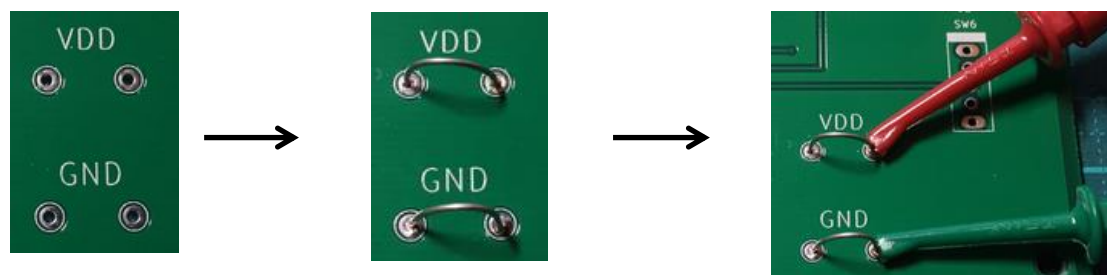


図 9： 各基板の動作確認用電源端子の使い方。

4. 動作チェッカを作る

●部品リスト

最初に「動作チェッカ」を作ります。基板上のシルクと部品の対応を表1に示します。

表1: 「動作チェッカ」基板のシルク表示と実装部品リスト。

#	シルク	部品	極性
1	R1	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
2	R2	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
3	R3	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
4	R4	10 k Ω カーボン抵抗 (茶黒橙金)	なし
5	R5	10 k Ω カーボン抵抗 (茶黒橙金)	なし
6	R6	10 k Ω カーボン抵抗 (茶黒橙金)	なし
7	R7	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
8	R8	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
9	D1 (X3)	LED ϕ 5, 赤	あり (シルクに従う)
10	D2 (X2)	LED ϕ 5, 赤	あり (シルクに従う)
11	D3 (X1)	LED ϕ 5, 赤	あり (シルクに従う)
12	D4 (/Y)	LED ϕ 5, 青	あり (シルクに従う)
13	D5 (Y)	LED ϕ 5, 緑	あり (シルクに従う)
14	SW1	トグル・スイッチ	なし
15	SW2	トグル・スイッチ	なし
16	SW3	トグル・スイッチ	なし
17	J1	ピン・ヘッダ	なし
18	J2	ピン・ヘッダ	なし

●完成図

完成した動作チェッカを図10に示します。電源電圧は3(V)で使用してください。

このチェッカに取り付けた論理ゲート (デジタル回路ブロック) が“1”を出力した場合は、“Y”のLED (緑) が光ります。また、論理ゲートが“0”を出力した場合は、“ \bar{Y} ”のLED (青) が光ります。



図10: 組み立てた「動作チェッカ」。

5. 論理ゲート基板（デジタル回路ブロック）を作る

●基板の数を確認する

「デジタル回路ブロック」は、いくつかの基板が面付けされた形になっています。手で折り曲げて、切り離してください。端面をやすりで整えると綺麗に仕上がります。

表2に、各基板の個数を示します。実際にCPUで使用するのは、「使用数」の欄に書かれている個数です。面付けの都合により、いくつかの基板が余ります。余った基板は予備として扱ってください。

表2：「デジタル回路ブロック」の基板リスト。

#	論理ゲート名	使用数	内容数	予備数
1	NOT	19	20	1
2	Schmitt Trigger	11	12	1
3	2 NAND	128	130	2
4	2 NOR	34	36	2
5	2 AND	19	20	1
6	2 OR	2	4	2
7	3 NAND	85	90	5
8	3 NOR	7	8	1
9	EXOR	15	16	1
10	Tri-State Buffer	16	18	2
合計		336	354	18

●各基板に実装する部品

「デジタル回路ブロック」の基板には、MOSFET（NMOSとPMOS）、LED、抵抗、ピン・ヘッダを実装します。実装部品の種類は、すべての基板で共通です。これを表3に示します。

表3：「デジタル回路ブロック」に実装する部品。

#	部品名	型番	極性	備考
1	N型 MOSFET	BSS138	あり（パッド形状に従う）	SOT-23パッケージ。
2	P型 MOSFET	BSS84	あり（パッド形状に従う）	SOT-23パッケージ。
3	赤色 チップLED	1608サイズ	あり（下側がカソード）	インチ規格なら0603。
4	緑色 チップLED	1608サイズ	あり（下側がカソード）	インチ規格なら0603。
5	1kΩ チップ抵抗	1608サイズ	なし	LEDの電流制限抵抗。
6	100kΩ チップ抵抗	1608サイズ	なし	入力プル・ダウン抵抗。
7	3pin ピン・ヘッダ	2.54mm ピッチ	なし	

●手順 1： 表面のパッドにはんだを付ける

以下、「デジタル回路ブロック」の組み立て手順を説明します。手順はすべての基板で同じです。ここでは「2 NAND」基板を例にして説明します。

まずは図 11 のように、1つの部品あたり 1箇所ずつパッドにはんだを付けます。

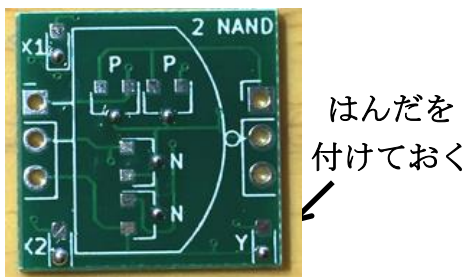


図 11： 表面にはんだを付ける。



図 12： MOSFET をはんだ付けする。

●手順 2： MOSFET をはんだ付けする

シルクで“P”と書かれている箇所には PMOS の“BSS84”を取り付けます。シルクで“N”と書かれている箇所には NMOS の“BSS138”を取り付けます (図 12)。

MOSFET を取り付けるときは、先に 1 端子だけはんだ付けして仮止めし、続いて残りの 2 端子をはんだ付けする方法がおすすめです。

はんだ付けした後に位置を調整したいときは、すべての端子にフラックスを塗り、MOSFET の端子全体が埋もれるくらい多めにはんだを付けます。この状態ではんだを溶かすと、表面張力によって MOSFET が動いて各端子がパッドの中心に移動します。

●手順 3： LED をはんだ付けする

図 13 のように、LED をはんだ付けします。入力側 (X1, X2) は赤色の LED, 出力側 (Y) は緑色の LED を使用します。「基板の下側」にカソードがくるようにはんだ付けしてください。LED の極性は、図 14 に示すとおりです。なお、LED の品種は変更される場合があります。ご了承ください。

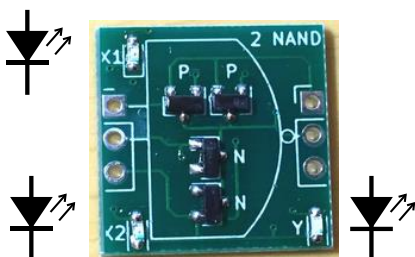


図 13： LED をはんだ付けする。

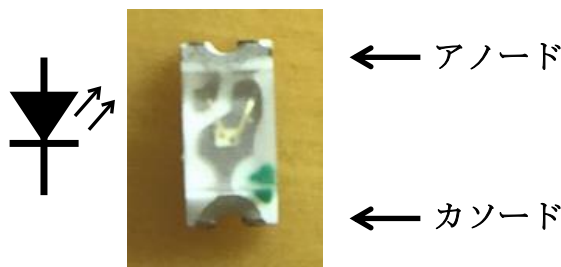


図 14： LED の極性。

●手順4：裏面のパッドにはんだを付ける

図15のように、基板の裏面にも1部品あたり1箇所ずつはんだを付けておきます。

裏面の作業をするときは、図16のように「動作チェッカ」を治具として利用すると便利です。なお、図16ではピン・ヘッダを挿入して基板を固定していますが、この時点ではまだピン・ヘッダをはんだ付けしません。

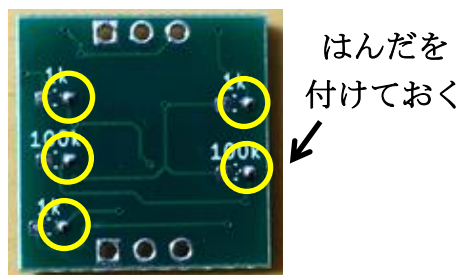


図15：裏面のパッドにはんだを付ける。



図16：「動作チェッカ」を基板固定用の治具として利用する。

●手順5：抵抗をはんだ付けする

シルクで“1k”と書かれている箇所には1(k Ω)のチップ抵抗を取り付け，“100k”と書かれている箇所には100(k Ω)のチップ抵抗を取り付けます(図17)。

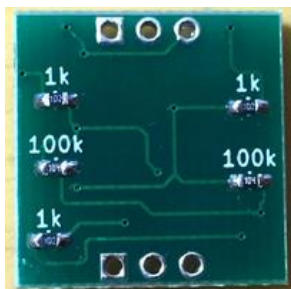


図17：抵抗をはんだ付けする。

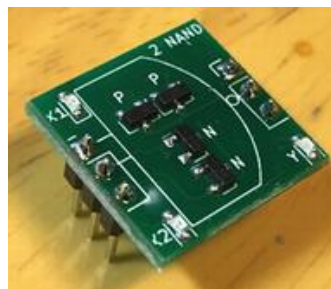


図18：ピン・ヘッダをはんだ付けする。

●手順6：ピン・ヘッダをはんだ付けする

表面・裏面両方の部品実装が完了したら、図18のようにピン・ヘッダをはんだ付けして完成です。このときも、「動作チェッカ」を治具として使用します。

●間違ってはんだ付けした部品を取り外す場合

取り外す部品のすべての端子にフラックスを塗り、はんだを多めに流し込みます。部品全体がはんだで埋まる状態にしても構いません。この状態ではんだごてを当てて、そのままゆっくりと持ち上げます。すると、はんだの表面張力によって部品と溶けたはんだが一緒にはんだごての先についてきます。ピンセットでこて先から部品を回収します。

●大量にはんだ付けする場合

本キットには、大量の「デジタル回路ブロック」基板が含まれています。効率良く作業を進めたい場合は、同じ工程をまとめて実行することをおすすめします（表面の予備はんだ作業をまとめてやる、NMOS を取り付ける作業をまとめてやる、など）。

●動作チェックをする

「デジタル回路ブロック」の基板が完成したら、「動作チェッカ」を使って動作確認をしてください。下記に、各論理ゲートの真理値表を示します。もし真理値表のとおりに動作しない場合は、端子の接触不良か部品の取り付け方向ミスが考えられます。

表 4： NOT
の真理値表

X	Y
0	1
1	0

表 5： Schmitt Trigger
の真理値表

X	Y
0	1
1	0

表 6： 2 NAND
の真理値表

X2	X1	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 7： 2 NOR
の真理値表

X2	X1	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

表 8： 2 AND
の真理値表

X2	X1	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

表 9： 2 OR
の真理値表

X2	X1	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

表 10： 3 NAND
の真理値表

X3	X2	X1	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

表 11： 3 NOR
の真理値表

X3	X2	X1	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

表 12： EXOR
の真理値表

X2	X1	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

表 13： Tri-State Buffer
の真理値表

E	X	Y
0	0	High-Z
0	1	High-Z
1	0	0
1	1	1

※High-Z の場合、
動作チェッカの緑・青 LED は
両方とも光りません。

6. CLOCK & STATE MACHINE 基板を作る

●部品表

表 14 に、シルクと部品の対応表を示します。

表 14： CLOCK & STATE MACHINE 基板のシルクと部品の対応表

#	シルク	部品	極性	備考
1	R1	2.2 k Ω カーボン抵抗 (赤赤赤金)	なし	
2	R2	2.2 k Ω カーボン抵抗 (赤赤赤金)	なし	
3	R3	10 k Ω カーボン抵抗 (茶黒橙金)	なし	
4	R4	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし	
5	R5	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし	
6	R6	10 k Ω カーボン抵抗 (茶黒橙金)	なし	
7	R7	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし	
8	R8	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし	
9	R9	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし	
10	R10	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし	
11	C1	1000 pF フィルムコンデンサ (102)	なし	
12	C2	1 uF 積層セラミックコンデンサ (105)	なし	0.1 uF (104)と間違わないように注意.
13	C3	10 uF 無極性電解コンデンサ	なし	
14	C4	100 uF 無極性電解コンデンサ	なし	
15	C5	10 uF 電界コンデンサ	あり (上側がプラス)	
16	C6	10 uF 電界コンデンサ	あり (上側がプラス)	
17	D1	LED ϕ 5 赤 (CLOCK)	あり (シルクに従う)	
18	D2	LED ϕ 5 緑 (RESET)	あり (シルクに従う)	
19	D3	LED ϕ 5 黄 (HALT)	あり (シルクに従う)	
20	D4	LED ϕ 5 青 (STATE)	あり (シルクに従う)	
21	J1	5pin x 2列 ピンヘッダ	なし	
22	SW1	トグルスイッチ	なし	
23	SW2	トグルスイッチ	なし	
24	SW3	トグルスイッチ	なし	
25	SW4	プッシュスイッチ 赤 (CLOCK)	あり	押した時に上側の2端子間がON.
26	SW5	トグルスイッチ	なし	
27	SW6	プッシュスイッチ 黒 (RESET)	あり	押した時に上側の2端子間がON.
28	SW7	トグルスイッチ	なし	
29	-	3pin ピンソケット	なし	すべての論理ゲートに取り付ける.
30	-	電池ボックス 単3 x 2	-	ねじで基板に取り付ける.

●抵抗, コンデンサ, LED, ピン・ヘッダを取り付ける

表 14 にしたがって、抵抗, コンデンサ, LED, ピン・ヘッダなど、背の低い部品を先に取り付けます。

●ピン・ソケットを取り付ける

続いて、ピン・ソケットを取り付けます。ピン・ソケットは1つ1つはんだ付けしても構いませんが、次の手順でまとめて取り付けることをおすすめします。

1. ピン・ソケットをすべての箇所へ挿入する。
2. 図 19 のようにマスキング・テープで仮止めする。
3. 各ピン・ソケットの中央のピンだけはんだ付けする。
4. マスキング・テープを外す。
5. 1つ1つのピン・ソケットの角度を調整する（はんだを溶かしながら）。
6. すべての端子をはんだ付けする。

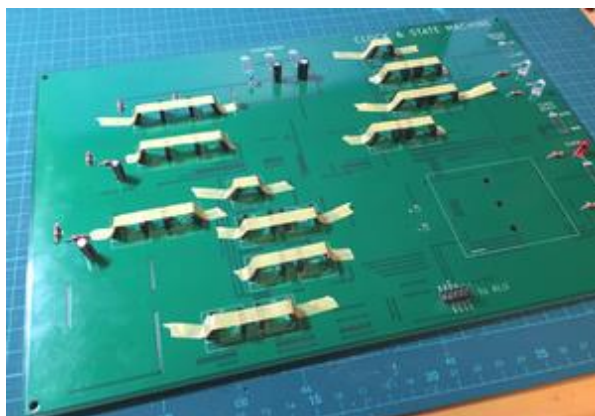
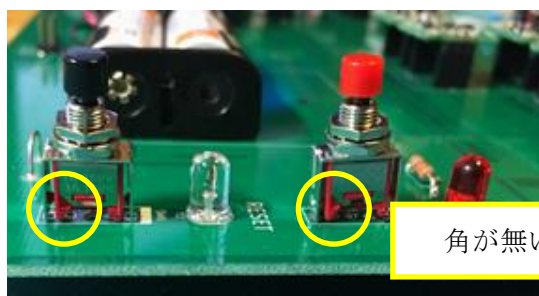


図 19：ピン・ソケットをマスキング・テープで仮止めしてはんだ付けする。

※ピン・ソケットのパッドのうち、GND に接続するパッドは熱容量が大きいのではんだが付きにくくなっています。念入りにはんだを流し込むようにしてください。

●スイッチを取り付ける

トグル・スイッチおよびプッシュ・スイッチを取り付けます。プッシュ・スイッチには向きがあるので注意してください。基板をシルクの文字が読める向きに置いたとき、プッシュ・スイッチの「押したときに導通する 2 端子」が基板の上側にくるように取り付けてください（図 20）。念のため、テスタでチェックしてください。



角が無い部分を基板の下方向にする。

図 20：プッシュ・スイッチの取り付け方向。

●電池ボックスを取り付ける

電池ボックスを基板にねじで固定します。ねじ穴は 3 つあります。使用する穴の位置は自由に選択してください。

電池ボックスを固定したら、電池スナップを基板にはんだ付けします。

●「デジタル回路ブロック」を取り付ける

シルクに合わせて、「デジタル回路ブロック」をピン・ソケットに挿入します。

●動作確認

・リセット

CLOCK & STATE MACHINE 基板単独で、電源を入れてください。続いて、ピン・ヘッダ “J1” の “N_HALT” 端子を “1” (VDD 電位) にしてください。この状態で “RESET” のプッシュ・スイッチを押すと、緑色の “RESET” LED が光り、黄色の “HALT” LED が消えた状態になることを確認してください。

・クロックの “AUTO” モード

“SW1”, “SW2”, “SW3” をすべて ON (上側) にします。このとき、発振回路の部分が約 2 (Hz) で動作することを確認してください。ここで、“CLOCK SELECT” のスイッチを “AUTO” 側にすると、赤色の “CLOCK” LED が点滅することを確認してください。また、クロックの 2 倍の周期で青色の “STATE” LED が点滅することを確認してください。

・クロックの “MAN” モード

“CLOCK SELECT” スイッチを “MAN” 側にして、“CLOCK” のプッシュ・スイッチを押すと、それに合わせて赤色の “CLOCK” LED が光ることを確認してください。

・“HALT” 動作の確認

ピン・ヘッダ “J1” の “N_HALT” 端子を “0” (GND 電位) にしてください。この状態でクロックを入れると、黄色の “HALT” LED が点灯することを確認してください。

●クロック周波数の切り替え

クロック周波数は以下のように変更できます。

- ・ SW1, SW2, SW3 すべて OFF : 約 200 (kHz)
- ・ SW1 だけ ON : 約 200 (Hz)
- ・ SW2 だけ ON : 約 20 (Hz)
- ・ SW3 だけ ON : 約 2 (Hz)

上記以外のスイッチ設定にした場合は、それぞれの周期の足し合わせになります。

7. ROM 基板を作る

●部品表

表 15 に、基板上のシルクと部品の対応表を示します。

表 15： ROM 基板のシルクと部品の対応表

シルク	部品	極性
R1 - R128	1 k Ω チップ抵抗 (1608サイズ)	なし
R129 - R136	10 k Ω チップ抵抗 (1608サイズ)	なし
D1 - D128	赤色 チップLED (1608サイズ)	あり (上側がカソード)
D129 - D256	ショットキ・バリア・ダイオード BAT43XV2	あり (右側がカソード)
SW1 - SW16	8連 DIPスイッチ	あり (字が読める方向)

●表面実装部品のパッドに予備はんだを付ける

「デジタル回路ブロック」を作るときと同じ要領で、表面実装部品 (R1-R136, D1-D256) のパッドにはんだを付けておきます。はんだは、1つの部品あたり 1箇所だけ付けるようにします。

●ショットキ・バリア・ダイオード (D129 から D256) を取り付ける

シルク番号 D129 から D256 の位置には、ショットキ・バリア・ダイオード (BAT43XV2) を取り付けます。このダイオードには、図 21 に示すようにカソード側に白線が付いています。基板上をシルクが読める向きに置いたとき、カソード・マークが基板の右側になるように取り付けます。



図 21： BAT43XV2 の極性.

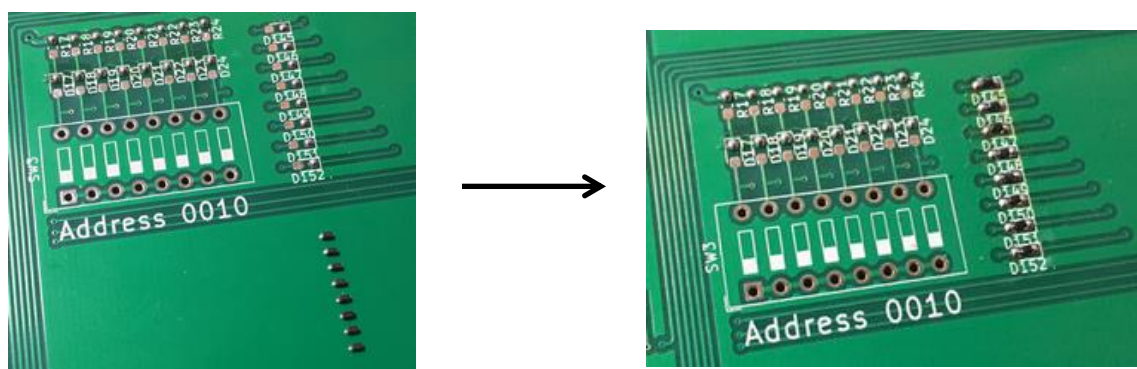


図 22： BAT43XV2 は、先に極性をそろえて並べてから一度に取り付けると良い。

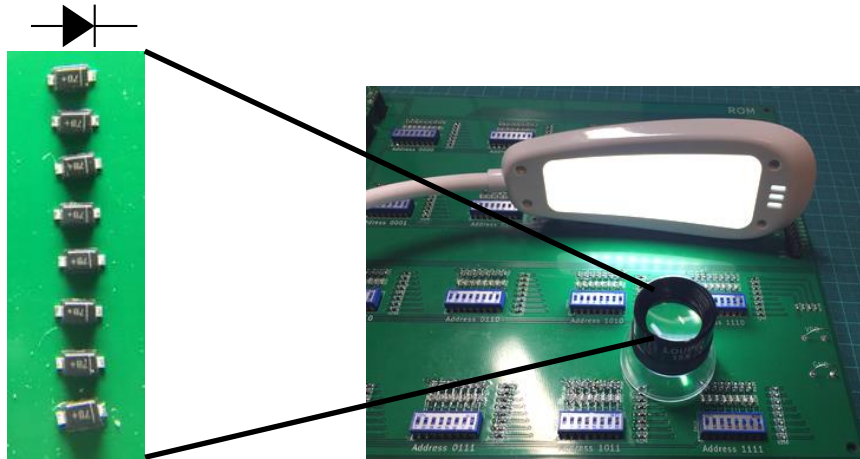


図 23： 基板上に並べた BAT43XV2 の極性をルーペで確認している様子。

BAT43XV2 を取り付けるときは、図 22 のように 1 ブロック (8 個) のダイオードの極性を揃えて並べておき、まとめてはんだ付けすることをおすすめします。ダイオードの極性確認は、図 23 のようにルーペ (あるいは顕微鏡) を使って目視するか、テスタを使って行ってください。

はんだ付け後も、念のためテスタを使って極性確認をしてください。なお、はんだ付け後はフラックスがダイオードの表面に付着するため、目視による確認が難しくなります。フラックスを取り除きたい場合は、フラックス・リムーバを使用してください。

●赤色 LED (D1 から D128) を取り付ける

LED をはんだ付けします。シルクの文字が読める向きに基板を置いたとき、基板の「上側」のパッドがカソードになります。

●1 kΩ抵抗 (R1 から R128) を取り付ける

1 kΩ のチップ抵抗を取り付けます。

●10 kΩ抵抗 (R129 から R136) を取り付ける

10 kΩ のチップ抵抗を取り付けます。

●DIP スイッチを取り付ける

DIP スイッチを、文字が読める向き (スイッチを上側にしたときに “ON” になる向き) に取り付けます。DIP スイッチの一番右側のビットが LSB (最下位ビット) です。

●ピン・ヘッダ、ピン・ソケット、デジタル回路ブロックを取り付ける

残りのピン・ヘッダおよびピン・ソケットをはんだ付けします。最後に、シルクに合わせて「デジタル回路ブロック」を取り付ければ完成です。

8. I/O 基板を作る

●部品表

表 16 に、基板上のシルクと部品の対応表を示します。

表 16： I/O 基板のシルクと部品の対応表

#	シルク	部品	極性
1	R1	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
2	R2	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
3	R3	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
4	R4	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
5	R5	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
6	R6	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
7	R7	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
8	R8	330 Ω カーボン抵抗 (橙橙茶金)	なし
9	R9	1 kΩ カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
10	R10	1 kΩ カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
11	R11	1 kΩ カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
12	R12	1 kΩ カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
13	C1	欠番	なし
14	C2	0.1 uF 積層セラミックコンデンサ (104)	なし
15	C3	0.1 uF 積層セラミックコンデンサ (104)	なし
16	C4	0.1 uF 積層セラミックコンデンサ (104)	なし
17	C5	0.1 uF 積層セラミックコンデンサ (104)	なし
18	D1	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
19	D2	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
20	D3	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
21	D4	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
22	D5	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
23	D6	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
24	D7	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
25	D8	赤 LED φ5	あり (シルクに従う)
26	SW1	トグル・スイッチ	なし
27	J1	2 x 5 ピン・ヘッダ	なし
28	J2	1 x 6 ピン・ヘッダ	なし
29	J3	1 x 6 ピン・ヘッダ	なし
30	J4	DCジャック	あり (シルクに従う)

●抵抗, コンデンサ, LED, ピン・ヘッダ, DC ジャックを取り付ける

表 16 に従って、抵抗、コンデンサ、LED、ピン・ヘッダ、DC ジャックを取り付けます。

●ピン・ソケットおよび「デジタル回路ブロック」を取り付ける

ピン・ソケットをはんだ付けし、シルクに従って「デジタル回路ブロック」を取り付けます。

最後に背の高いトグル・スイッチを取り付けて、完成です。

9. Program Counter 基板を作る

●ピン・ヘッダ, ピン・ソケット, 「デジタル回路ブロック」を取り付ける

ピン・ヘッダとピン・ソケットを取り付けます。ピン・ソケットを取り付けたら、シルクにあわせて「デジタル回路ブロック」を取り付けてください。

10. ALU 基板を作る

●ピン・ヘッダ, ピン・ソケット, 「デジタル回路ブロック」を取り付ける

ピン・ヘッダとピン・ソケットを取り付けます。ピン・ソケットを取り付けたら、シルクにあわせて「デジタル回路ブロック」を取り付けてください。

11. A Register 基板を作る

●ピン・ヘッダ, ピン・ソケット, 「デジタル回路ブロック」を取り付ける

ピン・ヘッダとピン・ソケットを取り付けます。ピン・ソケットを取り付けたら、シルクにあわせて「デジタル回路ブロック」を取り付けてください。

12. B Register 基板を作る

●ピン・ヘッダ, ピン・ソケット, 「デジタル回路ブロック」を取り付ける

ピン・ヘッダとピン・ソケットを取り付けます。ピン・ソケットを取り付けたら、シルクにあわせて「デジタル回路ブロック」を取り付けてください。

13. Instruction Decoder 基板を作る

●ピン・ヘッダ, ピン・ソケット, 「デジタル回路ブロック」を取り付ける

ピン・ヘッダとピン・ソケットを取り付けます。ピン・ソケットを取り付けたら、シルクにあわせて「デジタル回路ブロック」を取り付けてください。

14. 回路図

全基板の回路図を別途添付します。

15. 各基板のレイアウト

図 24 に、各基板のレイアウト概要を示します。回路図と合わせて、動作確認の参考にしてください。

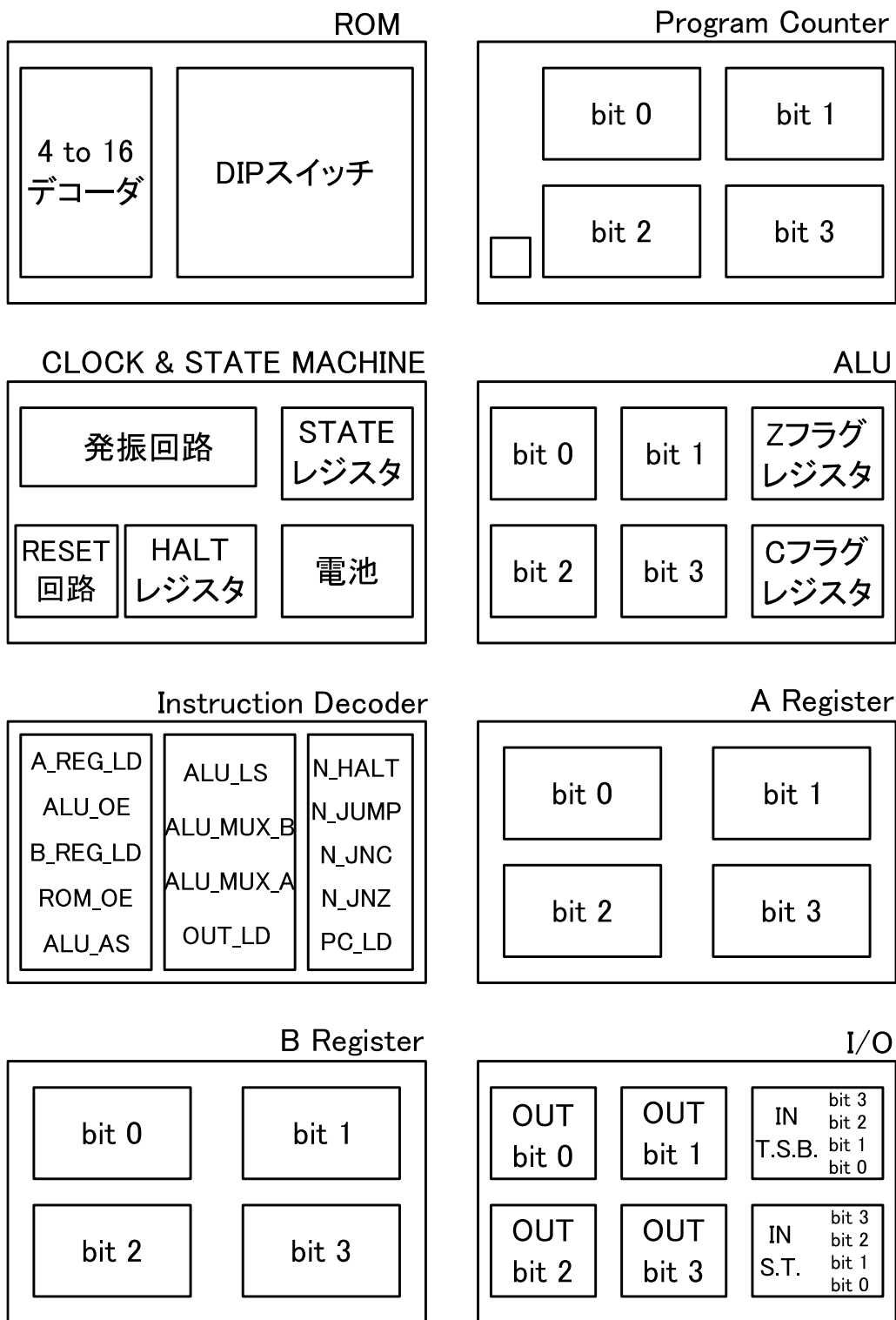


図 24： 各基板のレイアウト概要.

16. 全体を接続する

●平面に展開する場合

各基板のピン・ヘッダ付近のシルクに従い、各基板を接続します。全体の接続関係を図 25 に示します。

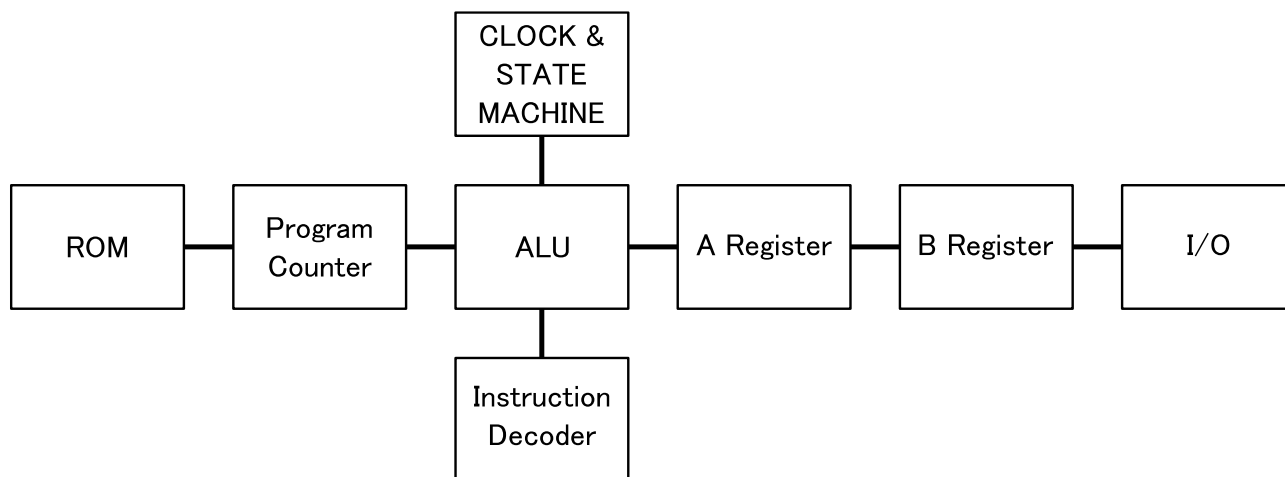


図 25： 全体の接続関係。

●上下方向に積層する場合

スペーサを使って基板を積み重ねる場合は、図 26 のような順序にします。

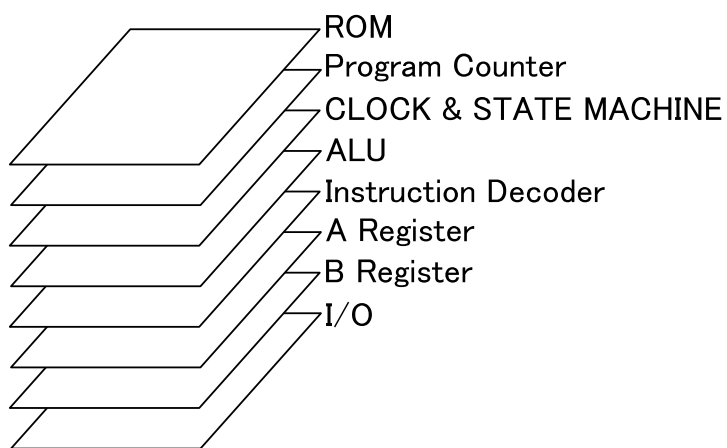


図 26： 8 枚の基板を縦に積層する場合の順序。

17. プログラム例

●命令一覧

表 17 に、CPU の命令一覧を示します。

表 17： CPU の命令一覧

#	カテゴリ	ニモニック・コード	バイナリ (機械語)	動作
1	データ 転送	LD A, [Data]	0 0 0 0 [Data]	A ← [Data]
2		LD B, [Data]	0 0 0 1 [Data]	B ← [Data]
3		LD A, B	0 0 1 0 x x x x	A ← B
4		LD B, A	0 0 1 1 x x x x	B ← A
5	算術演算	ADD A, B	0 1 0 0 x x x x	A ← A + B
6		SUB A, B	0 1 0 1 x x x x	A ← A - B
7		ADD A, [Data]	0 1 1 0 [Data]	A ← A + [Data]
8		SUB A, [Data]	0 1 1 1 [Data]	A ← A - [Data]
9	データ 入出力	OUT A	1 0 0 0 x x x x	OUT ← A
10		OUT B	1 0 0 1 x x x x	OUT ← B
11		OUT [Data]	1 0 1 0 [Data]	OUT ← [Data]
12		IN A	1 0 1 1 x x x x	A ← IN
13	分岐 (ジャンプ)	JUMP [Address]	1 1 0 0 [Address]	PC ← [Address]
14		JNC [Address]	1 1 0 1 [Address]	PC ← [Address] (if NOT Carry)
15		JNZ [Address]	1 1 1 0 [Address]	PC ← [Address] (if NOT Zero)
16	動作制御	HALT	1 1 1 1 x x x x	HALT

●加算プログラム (ループなし)

リスト 1 に、“1+2+3+4+5=15” を計算して OUT レジスタに出力するプログラムを示します。

リスト 1： 加算プログラム (ループなし)

#	アドレス	アセンブリ言語	バイナリ	コメント
0	0000	LD A, 0001	0000 0001	1をロード.
1	0001	OUT A	1000 0000	出力.
2	0010	ADD A, 0010	0110 0010	2を加算.
3	0011	OUT A	1000 0000	出力.
4	0100	ADD A, 0011	0110 0011	3を加算.
5	0101	OUT A	1000 0000	出力.
6	0110	ADD A, 0100	0110 0100	4を加算.
7	0111	OUT A	1000 0000	出力.
8	1000	ADD A, 0101	0110 0101	5を加算
9	1001	OUT A	1000 0000	出力.
10	1010	LD A, 0000	0000 0000	待機.
11	1011	LD A, 0000	0000 0000	待機.
12	1100	LD A, 0000	0000 0000	待機.
13	1101	LD A, 0000	0000 0000	待機.
14	1110	LD A, 0000	0000 0000	待機.
15	1111	OUT 0000	1010 0000	出力をクリア.

●加算プログラム（ループあり）

リスト 2 に，“ $1+2+3+4+5=15$ ” を計算して OUT レジスタに出力するプログラムを示します。このプログラムを実行するときは、IN ポートと OUT ポートを 6 芯の「コネクタ付きケーブル」で接続してください。

リスト 2： 加算プログラム（ループあり）

※このプログラムを実行するときは、IN ポートと OUT ポートをケーブルで接続する。

#	アドレス	アセンブリ言語	バイナリ	コメント	1周目	2周目	3周目	4周目	5周目
0	0000	LD A, 0000	0000 0000	Aレジスタをクリア.	A=0				
1	0001	LD B, 0101	0001 0101	「加算の回数」を定義. ここでは5回.	B=5				
2	0010	ADD A, B	0100 0000	加算を実行.	A=5, B=5	A=9, B=4	A=12, B=3	A=14, B=2	A=15, B=1
3	0011	OUT A	1000 0000	OUTレジスタに値を出力.	OUT=5	OUT=9	OUT=12	OUT=14	OUT=15
4	0100	LD A, B	0010 0000	$B \leftarrow B - 1$ (1)	A=5	A=4	A=3	A=2	A=1
5	0101	SUB A, 0001	0111 0001	$B \leftarrow B - 1$ (2)	A=4	A=3	A=2	A=1	A=0
6	0110	JNZ 1000	1110 1000	計算結果が0でなければ1000番地へ飛ぶ.	JUMP	JUMP	JUMP	JUMP	
7	0111	HALT	1111 0000	終了. OUTレジスタに結果が残る.					終了
8	1000	LD B, A	0011 0000	$B \leftarrow B - 1$ (3)	B=4	B=3	B=2	B=1	
9	1001	IN A	1011 0000	OUTレジスタの値をAレジスタに読み込む.	A=5	A=9	A=12	A=14	
10	1010	JUMP 0010	1100 0010	ループ.					

●乗算プログラム

リスト 3 に，“ $4 \times 3 = 12$ ” を計算して OUT レジスタに出力するプログラムを示します。このプログラムを実行するときは、IN ポートと OUT ポートをケーブルで接続してください。

リスト 3： 乗算プログラム

※このプログラムを実行するときは、IN ポートと OUT ポートをケーブルで接続する。

#	アドレス	アセンブリ言語	バイナリ	コメント	1周目	2周目	3周目
0	0000	LD A, 0000	0000 0000	Aレジスタをクリア.	A = 0		
1	0001	LD B, 0011	0001 0011	「かける数」を定義. 今回は3.	B = 3		
2	0010	ADD A, 0100	0110 0100	「かけられる数」を加算する. 今回は4.	A=4, B=3	A=8, B=2	A=12, B=1
3	0011	OUT A	1000 0000	OUT レジスタに途中経過を格納.	OUT=4	OUT=8	OUT=12
4	0100	LD A, B	0010 0000	$B \leftarrow B - 1$ (1)	A=3	A=2	A=1
5	0101	SUB A, 0001	0111 0001	$B \leftarrow B - 1$ (2)	A=2	A=1	A=0
6	0110	LD B, A	0011 0000	$B \leftarrow B - 1$ (3)	B=2	B=1	B=0
7	0111	IN A	1011 0000	OUTレジスタの値をAレジスタに読み込む.	A=4	A=8	A=12
8	1000	JNZ 0010	1110 0010	Bレジスタの値が0になるまで繰り返す.	JUMP	JUMP	
9	1001	HALT	1111 0000	終了.			終了

●除算プログラム

リスト 4 に，“ $9 \div 2 = 4$ 残り 1” を計算するプログラムを示します。商の“4”は OUT レジスタに，剰余の“1”は A レジスタに格納されます。

このプログラムを実行するときは，IN ポートと OUT ポートをケーブルで接続してください。

リスト 4： 除算プログラム

※このプログラムを実行するときは，IN ポートと OUT ポートをケーブルで接続する。

#	アドレス	アセンブリ言語	バイナリ	コメント	1周目	2周目	3周目	4周目	5周目
0	0000	LD A, 1001	0000 1001	「わられる数」を定義。今回は9.	A=9				
1	0001	LD B, 0000	0001 0000	Bレジスタをクリア.	B=0				
2	0010	SUB A, 0010	0111 0010	「わる数」を引き算する。今回は2.	A=7, B=0	A=5, B=1	A=3, B=2	A=1, B=3	A=-1, B=4
3	0011	JNC 1010	1101 1010	値が負なら割り算終了.					JUMP
4	0100	OUT A	1000 0000	途中経過をOUTレジスタに格納.	OUT=7	OUT=5	OUT=3	OUT=1	
5	0101	LD A, B	0010 0000	$B \leftarrow B + 1$ (1)	A=0	A=1	A=2	A=3	
6	0110	ADD A, 0001	0110 0001	$B \leftarrow B + 1$ (2)	A=1	A=2	A=3	A=4	
7	0111	LD B, A	0011 0000	$B \leftarrow B + 1$ (3)	B=1	B=2	B=3	B=4	
8	1000	IN A	1011 0000	OUTレジスタをAレジスタに読み込む.	A=7, B=1	A=5, B=2	A=3, B=3	A=1, B=4	
9	1001	JUMP 0010	1100 0010	繰り返し処理に戻る.	JUMP	JUMP	JUMP	JUMP	
10	1010	IN A	1011 0000	剰余をAレジスタに格納.					A=1
11	1011	OUT B	1001 0000	商をOUTレジスタに格納.					OUT=4
12	1100	HALT	1111 0000	終了.					終了



18. モータ・ドライバ基板を作る

●部品表

表 18 に、基板上的シルクと部品の対応表を示します。

表 18： モータ・ドライバ基板のシルクと部品の対応表。

#	シルク	部品	極性
1	R1	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
2	R2	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
3	R3	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
4	R4	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
5	R5	1 k Ω カーボン抵抗 (茶黒赤金)	なし
6	D1	1N4148 (汎用ダイオード)	あり (シルクに従う)
7	D2	1N4148 (汎用ダイオード)	あり (シルクに従う)
8	D3	1N4148 (汎用ダイオード)	あり (シルクに従う)
9	D4	1N4148 (汎用ダイオード)	あり (シルクに従う)
10	Q1	2N5551L-B-T92-K	あり (シルクに従う)
11	Q2	2N5551L-B-T92-K	あり (シルクに従う)
12	Q3	2N5551L-B-T92-K	あり (シルクに従う)
13	Q4	2N5551L-B-T92-K	あり (シルクに従う)
14	RL1	ATX201	あり (シルクに従う)
15	RL2	ATX201	あり (シルクに従う)
16	RL3	ATX201	あり (シルクに従う)
17	RL4	ATX201	あり (シルクに従う)
18	J1	6pin ピン・ヘッダ	なし
19	J2	6pin ピン・ヘッダ	なし

●完成図

すべての部品をはんだ付けした状態を図 25 に示します。この回路の電源は 3 (V) です。単 3 電池 2 本の電池ボックスを接続して使用してください。

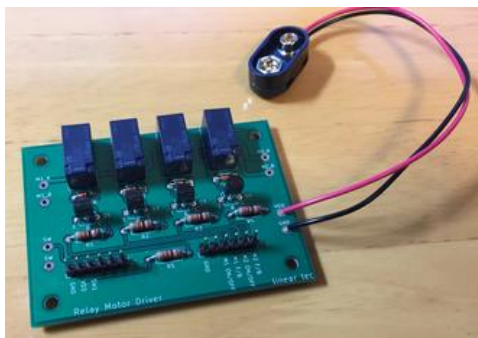


図 27： 完成したモータ・ドライバ。

●制御端子

- ・ M1 ON/OFF, M2 ON/OFF： モータの ON/OFF を制御する端子です。
- ・ M1 F/B, M2 F/B： モータの正転・反転を制御する端子です。

19. ロボット部分を作る

●ギヤボックスを組み立てる

「ウォームギヤボックス HE」を2つ組み立てます。ここではギヤ比を「336:1」にするものとします。後でタイヤと接続するために、図28のようにストッパーがついている出力シャフトを選びます。



図28：ウォームギヤボックス HE を組み立てる。ギヤ比は 336:1 とする。

●タイヤを組み立てる

「スポーツタイヤセット」を組み立てます。軸受けは、「ウォームギヤボックス HE」のストッパーと噛み合うものを選んでおきます。



図29：スポーツタイヤセット。

●ボールキャスターを組み立てる

「ボールキャスター」を組み立てます。今回は2つとも使用します。



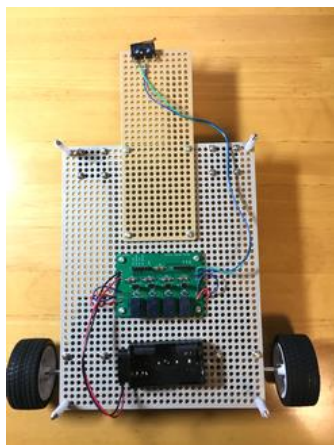
図30：ボールキャスター。

●シャーシに各パーツを取り付ける

図 31 のように、各部品をシャーシ（ユニバーサルプレート L）に取り付けます。

- スペーサ（25mm）： 表面. シャーシの四隅の穴に取り付けます.
- ボールキャスター： 裏面. スペーサと干渉しないように取り付けます.
- ギヤボックス： 裏面. スペーサと干渉しないように取り付けます.
- モータ・ドライバ基板： 表面. ギヤボックスと干渉しないように取り付けます.
- 電池ボックス： 表面. ギヤボックスと干渉しないように取り付けます.
- ユニバーサルプレート（小）： 表面. モータ・ドライバ基板およびボールキャスターと干渉しないように取り付けます.

表面



裏面

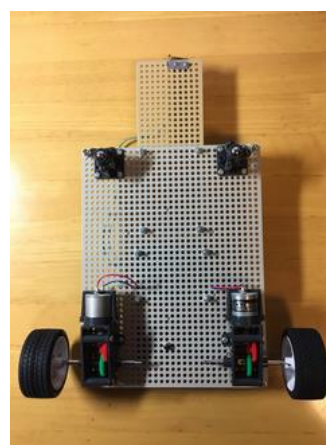


図 31： 各部品をシャーシに取り付ける。

●マイクロ・スイッチを取り付ける

マイクロ・スイッチをユニバーサルプレート（小さい方）の先端に取り付けます。取り付けに使用する金具は、L字の金具と同じ袋に入っています。

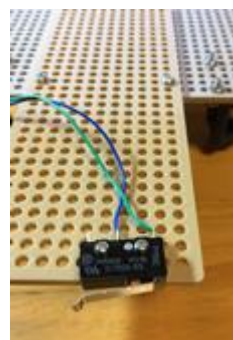


図 32： 金具と M2 ネジを使ってマイクロ・スイッチを固定する。

●マイクロ・スイッチを縦に取り付ける場合（任意）

L字の金具を使うと、図 33 のようにマイクロ・スイッチを立てた状態で取り付けることができます。お好みで選択してください。

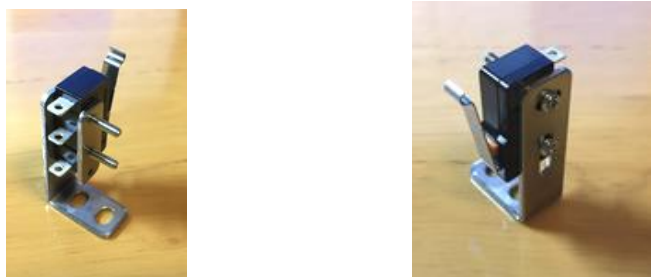


図 33：L字の金具を使うとマイクロ・スイッチを立てた状態で固定できる。

●モータをモータ・ドライバ基板に接続する

左右のモータを、モータ・ドライバ基板の“M1_A”，“M1_B” および “M2_A”，“M2_B” 端子に接続します。

モータの極性は，“M1 ON/OFF” および “M2 ON/OFF” に “1”（VDD 電位）を印加したときに車体が前に進むようにしてください。

●マイクロ・スイッチをモータ・ドライバ基板に接続する

ケーブルを使って、マイクロ・スイッチをモータ・ドライバ基板の“SW”端子に接続します。マイクロ・スイッチの端子は、「押したときに ON」になる 2 端子を使用してください。モータ・ドライバ基板側の“SW”端子には極性はありません。

●CPU とモータ・ドライバ基板を接続する

ロボットのシャーシ部分が完成したら、シャーシ部分と CPU 本体を合体させます。

I/O 基板の穴とシャーシ側のスペーサのネジ部分の位置を合わせて挿入し、スペーサ用ナットで固定してください。続いて、6 芯の「コネクタ付きケーブル」でモータ・ドライバと CPU の I/O ポートを接続します。モータ・ドライバ基板のモータ制御端子は CPU の“OUT ポート”に、モータ・ドライバ基板のスイッチ端子は CPU の“IN ポート”に接続してください。

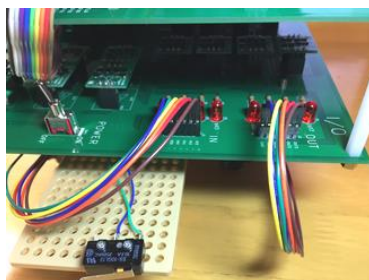


図 34：モータ・ドライバ基板と CPU 本体を 2 本のケーブルで接続する。

20. ロボットのプログラム例

●自動方向転換ロボットを作る

ロボットは、OUTポートにデータを出力することでコントロールできます。ここでは例として、図35のような動作をする「自動方向転換ロボット」のプログラムを紹介します。

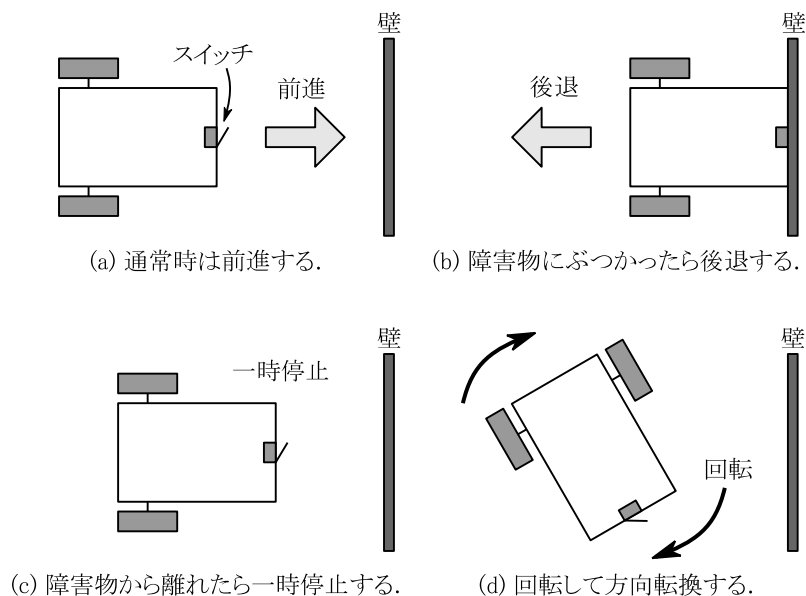


図35：「自動方向転換ロボット」の動作。

リスト5：自動方向転換ロボットのプログラム。クロック周波数は20(Hz)を選択。

※ウォームギヤボックスのギヤ比を“336:1”とした場合。

#	アドレス	アセンブリ言語	バイナリ	コメント
0	0000	OUT 0101	1010 0101	前進。
1	0001	IN A	1011 0000	スイッチをチェック。
2	0010	SUB A, 0000	0111 0000	
3	0011	JNZ 0001	1110 0001	ループ。
4	0100	OUT 1111	1010 1111	後退。
5	0101	LD A, 1001	0000 1001	時間稼ぎ。値は適宜調整。
6	0110	SUB A, 0001	0111 0001	
7	0111	JNZ 0110	1110 0110	
8	1000	OUT 0000	1010 0000	停止。
9	1001	LD A, 0011	0000 0011	時間稼ぎ。値は適宜調整。
10	1010	SUB A, 0001	0111 0001	
11	1011	JNZ 1010	1110 1010	
12	1100	OUT 0111	1010 0111	右回転（右モータ逆転，左モータ正転）。
13	1101	LD A, 1100	0000 1100	時間稼ぎ。値は適宜調整。
14	1110	SUB A, 0001	0111 0001	
15	1111	JNZ 1110	1110 1110	