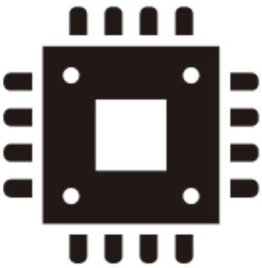
C 言語ではじめる Raspberry Pi 徹底入門

Chapter 13

7セグメント LED 表示器で数字を表示する

本章では7セグメント LED 表示器を使用して、数字を表示します。多様な表示が可能な LCD が普及していますが、数字だけの表示なら大きく明るい7セグメント LED 表示器が使用されています。7セグメント LED 表示器の構造、ダイナミック点灯方式の原理、時刻を表示させる課題を学びます。また、トランジスタの概要やスイッチング回路についても学びます。



目　次

はじめに

「Chapter13 7 セグメント LED 表示器で数字を表示させる」は、「C 言語ではじめる Raspberry Pi 徹底入門」（以下、「徹底入門」）の追加の章として作成しました。

多様な表示が可能な LCD が普及していますが、数字だけの表示なら大きく明るい 7 セグメント LED 表示器が使用されています。本章では 7 セグメント LED 表示器の構造、4 桁の表示器を使用して、ダイナミック点灯方式の原理、時刻を表示させる課題を学びます。また、トランジスタの概要やスイッチング回路についても学びます。

本章の学習の順番は、「徹底入門」の Chapter4 の LED への信号の出力（GPIO の出力を使う）を学んだ後に学習することをおすすめします。

なお、本章で組み立てる 7 セグメント LED 表示器の回路の信号線が、「徹底入門」と重複しますので、新しいブレッドボードに配線してください。

Chapte13 のソースコードは、著者の GitHub の Web サイトからダウンロードできます。

```
https://tamamori2020.github.io/raspi-gh1/
```

13.1.　本章で準備するもの

本章の電子工作で新たに必要とする主なものを**表 13-1** に示します。参考品の欄に初心者の方がイメージしやすいように写真と入手情報等を載せましたが、持ち合わせの部品や相当品で結構です。なお、「徹底入門」で準備したものも使用します。

表 13-1 本章で準備する主なもの

名　称	個数	備　考	参　考　品 （秋月電子通商）
7セグメント LED 表示器	1	カソードコモンタイプを使用します。	I-00640 (①)
4 桁7セグメント LED 表示器	1	カソードコモンタイプを使用します。	I-03673 (②)
トランジスタ 2CS1815-Y	4	4 桁7セグメント LED 表示器の点灯回路に使用。 Y クラスを使用しますが、GR, BL クラスでも可。	I-04268 (③)
抵抗 100Ω	8	4 桁7セグメント LED 表示器の点灯回路に使用。	R-25101
抵抗 390Ω	8	1 桁7セグメント LED 表示器の点灯回路に使用。	R-25391
抵抗 4.7kΩ	4	4 桁7セグメント LED 表示器の点灯回路に使用。	R-25472

①

②

③

13.2.　7セグメント LED 表示器とは

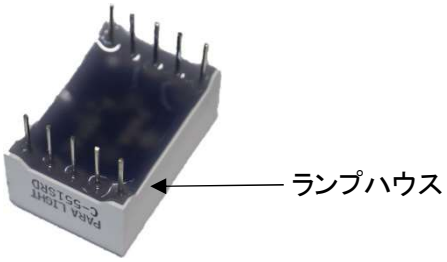
7 (ナナ)セグメント LED 表示器[1]は、主にアラビア数字を表示するための電子部品で、デジタル時計、メーターなどの電子機器、エレベーターの表示などに使用されています。数字を表現するのに LED を 7 個（セグメント）使用することから、7 セグメント LED 表示器と呼ばれています[2]。

表示面（**図 13-1(a)**）には、いわゆるデジタル数字がデザインされ、底面（**図 13-1(b)**）を見ると、LED が実装されたリードフレームがランプハウスと呼ばれるケースに挿入されて、エポキシ樹脂で封止されています。

図 13-2 に示すように、デジタル数字の各セグメントには a から g までの名称が付けられています。dp は decimal point の略語で小数点のことです。dp を含めると LED の数は 8 個になります。数字 0 から 9 とアルファベット A から F の 16 進数の表示パターンを**図 13-3** に示します。なお、B と D は小文字になります。

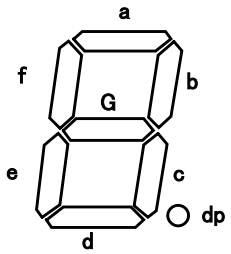
図 13-1　7セグメント LED 表示器の外観

(a)表示面



(b)ケース底面

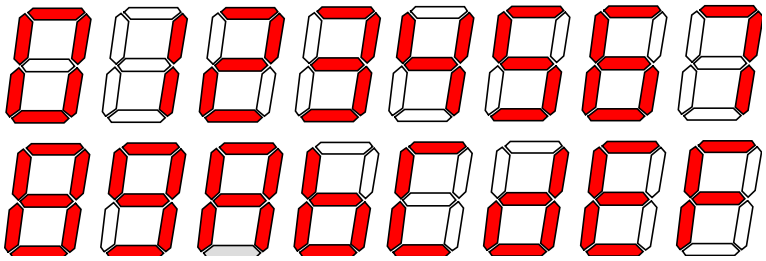
図 13-2　デジタル数字とセグメントの名称



[1] 通称「ナナセグ」と言う。

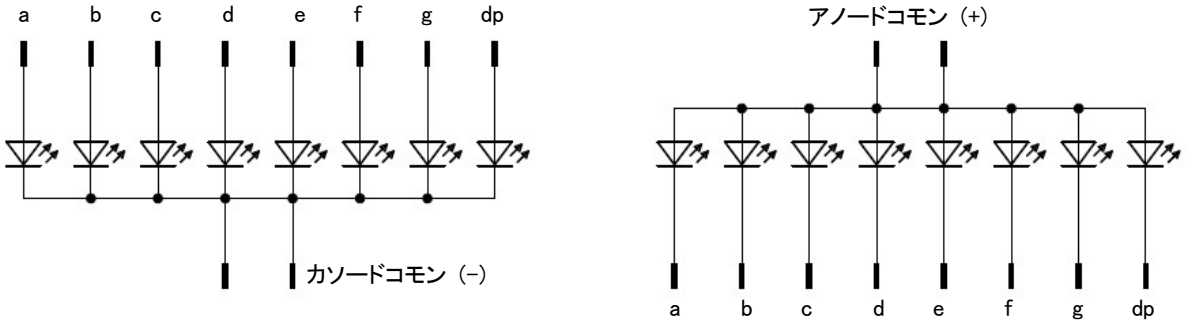
[2] 対角線と中央を縦に通る線を追加し、横線を 2 つに分割した 14 セグメントや 16 セグメントの LED 表示器は、英字を表示することが出来る。

図 13-3 16進数の表示パターン



7セグメント LED 表示器の内部回路には、**アノードコモン**と**カソードコモン**の 2 種類があります（**図 13-4**）。コモンは共通の意味です。カソードコモンは各 LED のカソード側が結線され、アノードコモンはアノード側が結線されています。アノードコモンとカソードコモンでは表示回路の設計は異なります。コモンの種類を間違えると点灯しないので、購入するときは注意してください。

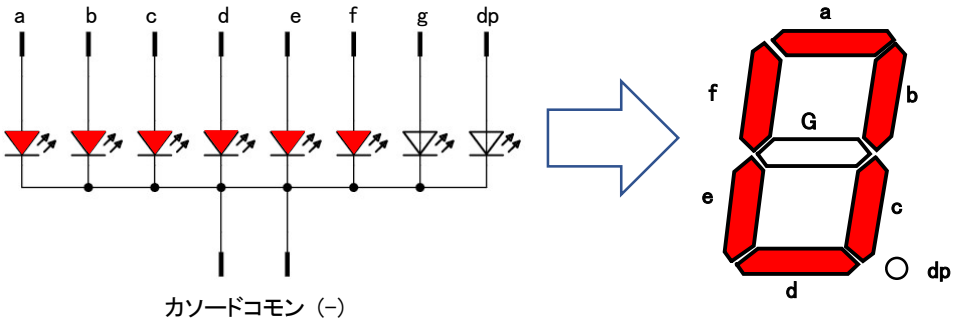
図 13-4 カソードコモンとアノードコモンの 7 セグメント LED 表示器の内部配線



（a）カソードコモン　　（b）アノードコモン

【例】カソードコモンで 0 を表示させる場合、セグメント a から f に電圧を加えると 6 個の LED が発光して、0 に見えます(**図 13-5**)。

図 13-5 0 の表示パターンの表示例



BCD(Binary-Coded Decimal:**2 進化 10 進数**)[3]を入力して、セグメント a から g の表示パターンを出力する回路を 7 セグメント・デコーダと呼びます。7 セグメント・デコーダの真理値表を**表 13-2** に示します。カソードコモンの 7 セグメント LED 表示器用に、74LS47 や 74HC4511 などの専用 IC があります。本章では、7 セグメント・デコーダ回路をソフトウェアで処理をします。

表 13-2 7 セグメント・デコーダの真理値表

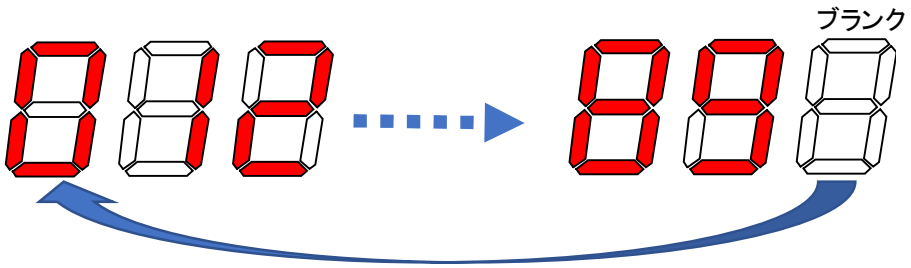
BCD 入力				出力							表示パターン
D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	
L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	L	0
L	L	L	H	L	H	H	L	L	L	L	1
L	L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	2
L	L	H	H	H	H	H	H	L	L	H	3
L	H	L	L	L	H	H	L	L	H	H	4
L	H	L	H	H	L	H	H	L	H	H	5
L	H	H	L	L	L	H	H	H	H	H	6
L	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	7
H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	8
H	L	L	H	H	H	H	L	L	H	H	9

[3] BCD は 0 から 9 の 10 進数を、0000 から 1001 の 4bit の 2 進数で表現したもの。2 進数の各 bit の重みが 8-4-2-1 であることから、8421 符号と呼ばれる。なお、1010 から 1111 は使用しない。

13.3.　数字を表示させる

7 セグメント LED 表示器を使用して、**図 13-6** に示すように「0」から順番に 1 秒毎にカウントアップして表示して「ブランク」になったら、また、「0」から繰り返し表示するプログラムを作成します。ブランク(blank)とは、非点灯のことです。

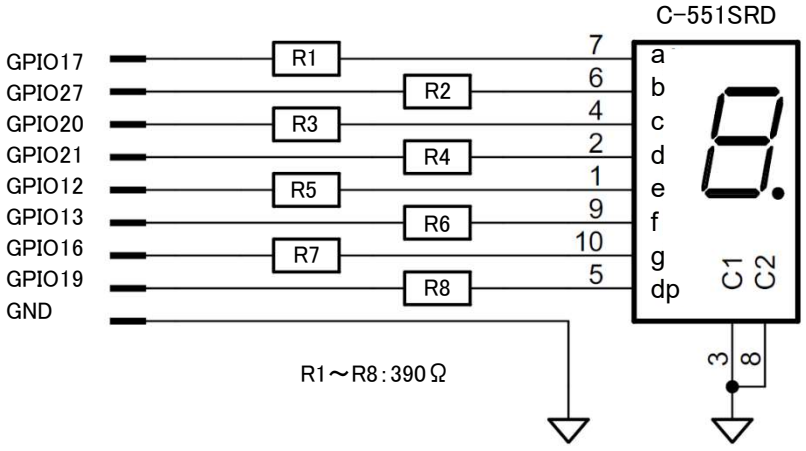
図 13-6 7 セグメント LED 表示器でカウントアップを繰り返す動作



13.3.1. 回路図

7 セグメント LED 表示器の点灯回路を**図 13-7** に示します。カソードコモンタイプの 7 セグメント LED 表示器 C-551SRD（秋月電子通商：I-00640）を使用します。C-551SRD の C1(3 番ピン)と C2(8 番ピン)はカソードコモンです。Chapter4 の LED の点灯回路（**図 4-6**）と同じく順方向電流 I_F を 3mA として、R1 から R8 の抵抗値を 390Ω としました。GPIO 信号の出力が HIGH のとき各 LED は点灯し、LOW のときは消灯します。

図 13-7 7 セグメント LED 表示器の点灯回路図



13.3.2. 配線図

７セグメント LED 表示器 C-551SRD のピン配列を**図 13-8** に示します。配線図は**図 13-9** になります。なお、本回路は、「徹底入門」で製作したブレッドボードとは別に、新しいブレッドボードに組み立てます。

図 13-8 表示面から見た C-551SRD のピン配列

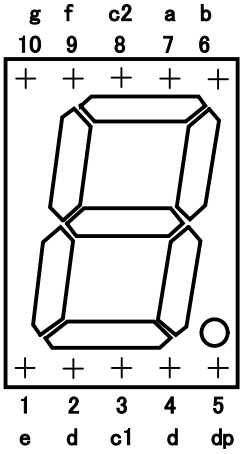
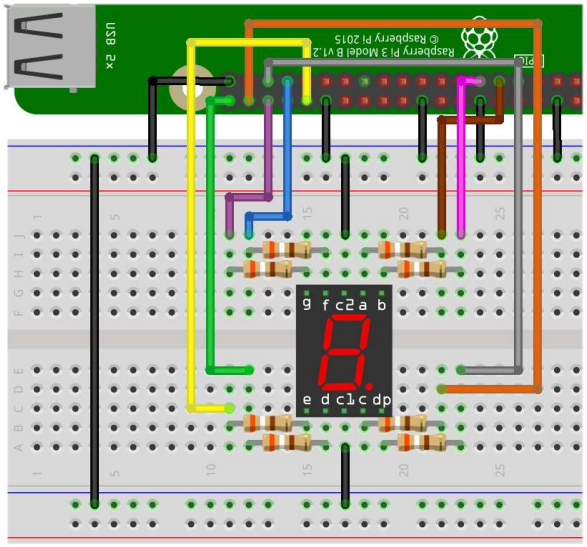


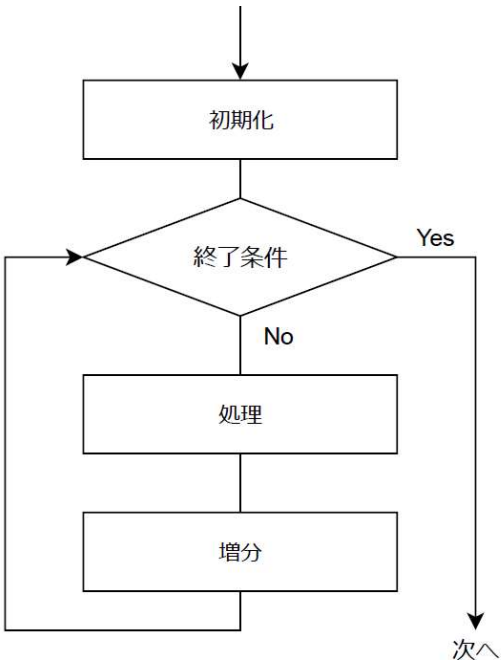
図 13-9 7セグメント LED 表示器の配線図



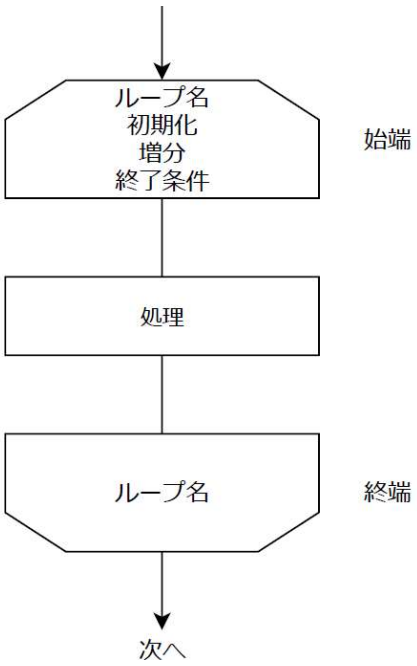
13.3.3. フローチャート

反復構造のフローチャートは、終了条件を満たすまで同じ処理を繰り返すように、記号「判断」(**図 13-10(a)**)で作成することができますが、「ループ端」(**図 13-10(b)**)を使用すると見やすくなります。反復させる処理をループの始端と終端で挟むだけで表記できます。始端または終端に、**初期化、増分、終了条件**を表記します。また、始端と終端に**同じループ名**を記入します。ここでは、ループ端を使用して、フローチャートを作成します。

図 13-10 フローチャートの判断とループ端を使用した反復構造



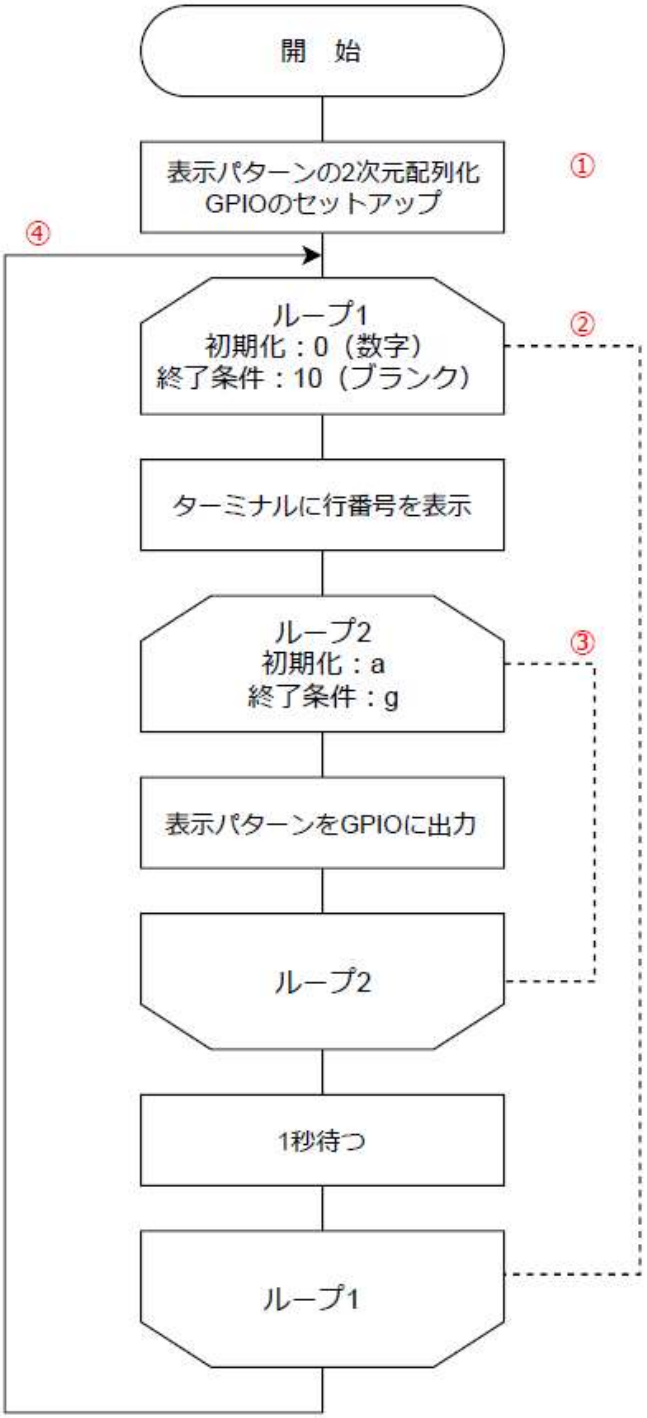
(a) 判断を利用した表記



(b) ループ端を利用した表記

図 13-6 に示したように、7 セグメント LED 表示器に、「0」から順番に 1 秒毎にカウントアップして表示して「ブランク」になったら、また、「0」から繰り返し表示するプログラムを作成します。フローチャートを図 13-11 に示します。

図 13-11 1 桁の数字を表示するフローチャート



① 数字の表示パターンの 2 次元配列を設定します(表 13-3)。2 次元配列の行が 0 から 9 の数字とブランクを表します。列が7セグメント LED 表示器の a から g までの値になります。0 のとき LED は消灯し、1 のとき点灯します。

② ループ 1 では7セグメント LED 表示器に表示する数字やブランクを指定します。また、行番号の表示、ループ 2 の処理、1 秒間の時間待ちを実行します。

③ ループ 2 では、ループ 1 で指定された表示パターンの a から g の値を出力します。

④ ループ1でブランクまで表示したら、0 から繰り返して表示します。

表 13-3 7 セグメント LED 表示器用表示パターンの 2 次元配列

				セグメント名						
				a	b	c	d	e	f	g
				列番号						
				0	1	2	3	4	5	6
表示パターン	0	行番号	0	1	1	1	1	1	1	0
	1		1	0	1	1	0	0	0	0
	2		2	1	1	0	1	1	0	1
	3		3	1	1	1	1	0	0	1
	4		4	0	1	1	0	0	1	1
	5		5	1	0	1	1	0	1	1
	6		6	1	0	1	1	1	1	1
	7		7	1	1	1	0	0	0	0
	8		8	1	1	1	1	1	1	1
	9		9	1	1	1	1	0	1	1
	ブランク		10	0	0	0	0	0	0	0

13.3.4. ソースコード

ソースコードはリスト 13-1 のとおりです。

リスト 13-1：List13-1_7Seg01.c

```
#include <stdio.h>          //入出力
#include <stdlib.h>         //一般ユーティリティ
#include <wiringPi.h>       //wiringPi
#define DP 19               //小数点
//7セグメント LED 表示器 a, b, d, d, e, f, g
const int a_g[7] = {17,27,20,21,12,13,16}; //セグメントと GPIO の定義   ①
const int disp0_9[11][7] = {{1,1,1,1,1,1,0},  //0  表示パターンの定義
                            {0,1,1,0,0,0,0},  //1
                            {1,1,0,1,1,0,1},  //2
                            {1,1,1,1,0,0,1},  //3
                            {0,1,1,0,0,1,1},  //4
                            {1,0,1,1,0,1,1},  //5
                            {1,0,1,1,1,1,1},  //6
                            {1,1,1,0,0,0,0},  //7
                            {1,1,1,1,1,1,1},  //8
                            {1,1,1,1,0,1,1},  //9
                            {0,0,0,0,0,0,0}   //ブランク
                            };
int main (void){
    int i,k;
    wiringPiSetupGpio();            //BCM の GPIO 番号を使用
    for(i=0;i<7;i++){               //セグメント a から g の GPIO を出力に設定
        pinMode(a_g[i], OUTPUT);
    }
    pinMode(DP,OUTPUT);             //dp(小数点)の GPIO を出力に設定

    while(1){ ④
        for(i=0;i<11;i++){          //表示パターンをセット
            printf("%d¥n",i);       //表示パターンの行番号をターミナルに表示
            for(k=0;k<7;k++){       //表示パターンのセグメント a から g を出力
                digitalWrite(a_g[k],disp0_9[i][k]);
            }
            delay(1000);            //1秒待つ
        }
    }
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

① a_g[7]配列で、セグメント a からgに配線する GPIO を定義します。

② disp0_9[11][7]2次元配列で、表 13-3 の表示パターンを定義します。

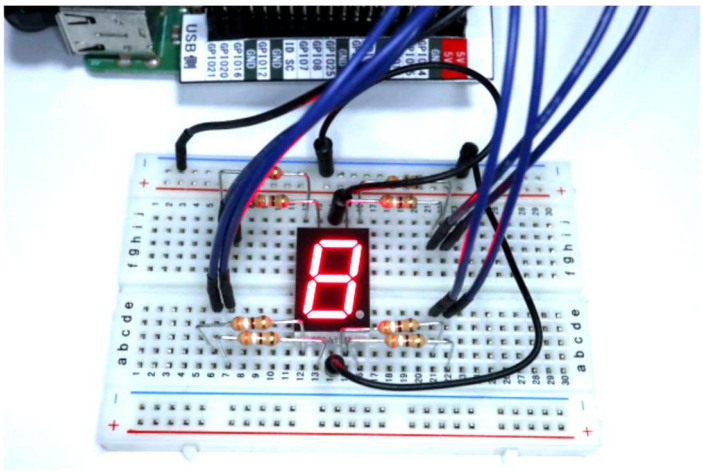
③ for 文を利用した二重ループになっています。変数 i は表 13-3 の表示パターンを指す行番号で、変数 k はセグメント指す列番号です。0 から 9 およびブランクを 1 秒毎に7セグメント LED 表示器に表示します。また、デバッグのため、表 13-3 の行番号をターミナルに表示しています。

④ while(1)は永久ループです。

13.3.5. 動作確認

リスト 13-1 をビルドして実行します。7 セグメント LED 表示器に、「0」から順番に 1 秒毎にカウントアップして数字が表示されます（図 13-12）。

図 13-12 数字「8」を表示した7セグメント LED 表示器



＜動作しないときの対処方法＞

- デジタル数字の表示がおかしいとき、回路の配線とソースコードの表示パターンの定義を確認してください。
- 動作しないとき、サンプルコードをダウンロードして実行してみましょう。正常に動作した場合は、ユーザーのソースコードに不具合がある可能性があります。
- サンプルコードも動作しない場合、配線した回路に問題があるかもしれません。配線間違いを確認しましょう。また、抵抗値も確認してください。
- 7セグメント LED 表示器のタイプがカソードコモンであることを確認します。本書では、7セグメント LED 表示器に C-551SRD（秋月電子通商：I-00640）を使用していますが、他の製品の場合にはピン配置が異なることがありますので、データシートを確認してください。
- Chapter11 のシャットダウン「List11-7_Shutdown」のプログラムを/etc/rc.local に登録している場合は、次のようにコメントアウトしてください。本回路に使用している GPIO17 が自走ロボットのシャットダウンボタンと兼用しているため、リスト 13-1 を実行するとラズパイがシャットダウンします。

  #sudo /home/pi/MyApp/List11-7_Shutdowen &

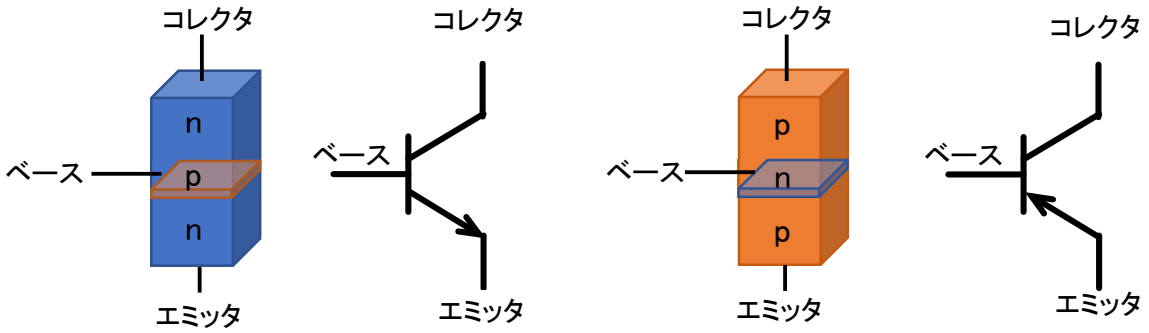
13.4. トランジスタとは

4 桁 7 セグメント LED 表示器をダイナミック点灯方式で表示する回路に、**トランジスタ**(Transistor)を使用します。本節では、トランジスタの概要を説明します。

トランジスタには小さな信号を大きな信号に変換する**増幅作用**と、信号を ON/OFF する**スイッチング作用**の機能があります。例えば、スピーカーの音量の調整に増幅作用が使われ、H と L のデジタル信号にスイッチング作用が使われています。これから説明するダイナミック点灯方式の回路では、トランジスタのスイッチング作用を使用します。

トランジスタはダイオードと同じ、**p 型半導体**と **n 型半導体**で構成され、npn 型と pnp 型の 2 種類があります(**図 13-13**)。トランジスタには**ベース**(Base)、**コレクタ**(Collector)、**エミッタ**(Emitter)の 3 つ領域があり、それぞれリードに接続されています。エミッタの矢印は電流が流れる方向を示しています。コレクタとエミッタ間に流れる電流の効率を良くするために、ベース領域の幅は薄い構造になっています。

図 13-13 トランジスタの構造と電気用図記号



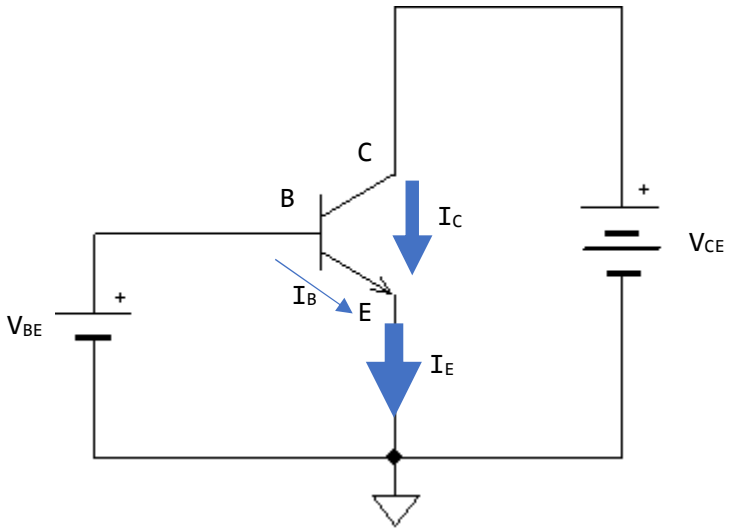
(a)npn 型　　(b)pnp 型

トランジスタの動作を npn 型を例に解説します(**図 13-14**)。トランジスタにベースエミッタ間電圧 V_{BE} とコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} を与えると、**ベース電流 I_B** と**コレクタ電流 I_C** が流れます。コレクタ電流 I_C はベース電流 I_B に**直流電流増幅率 h_{FE}** と呼ばれる係数を乗じた値になります(**式 13-1**)。直流電流増幅率 h_{FE} はトランジスタによって異なりますが数十倍から数百倍です。よって、ベース電流 I_B の小さな変化から、大きなコレクタ電流 I_C を作り出すことができるのです。これがトランジスタの**増幅作用**です。**エミッタ電流 I_E** は、ベース電流 I_B とコレクタ電流 I_C を加算した値になります(**式 13-2**)。

$$I_C = h_{FE} \times I_B \qquad [式\ 13\text{-}1]$$

$$I_E = I_B + I_C \qquad [式\ 13\text{-}2]$$

図 13-14 電流の増幅作用



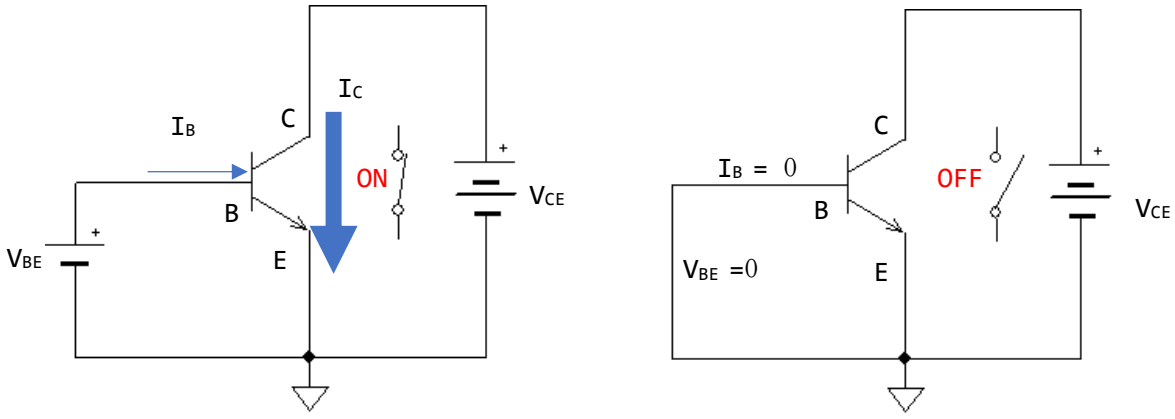
次に、**スイッチング作用**について説明します。スイッチング作用とは、トランジスタがスイッチと同じ働きをすることです。

・トランジスタをオンさせるには、**図 13-15(a)**のように、トランジスタにベースエミッタ間電圧 V_{BE} とコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} を与えます。すると、ベース電流 I_B が流れて大きなコレクタ電流 I_C が流れます。これにより、コレクタとエミッタ間が導通して、スイッチが ON の状態と同じになります。

・次に、トランジスタをオフさせるには、**図 13-15(b)**のように、トランジスタにコレクタ・エミッタ間電圧 V_{CE} のみ与え、ベースエミッタ間電圧 V_{BE} を 0V にします。V_{BE} が 0V なので、ベース電流 I_B もゼロです。コレクタに電圧 V_{CE} が印加されていますが、コレクタ電流 I_C を流すことができないため、コレクタとエミッタ間は非導通になります。従って、スイッチが OFF の状態と同じになります。

このように、ベース電流 I_B により、コレクタとエミッタ間をオンにしたり、オフしたりの制御ができるのです。

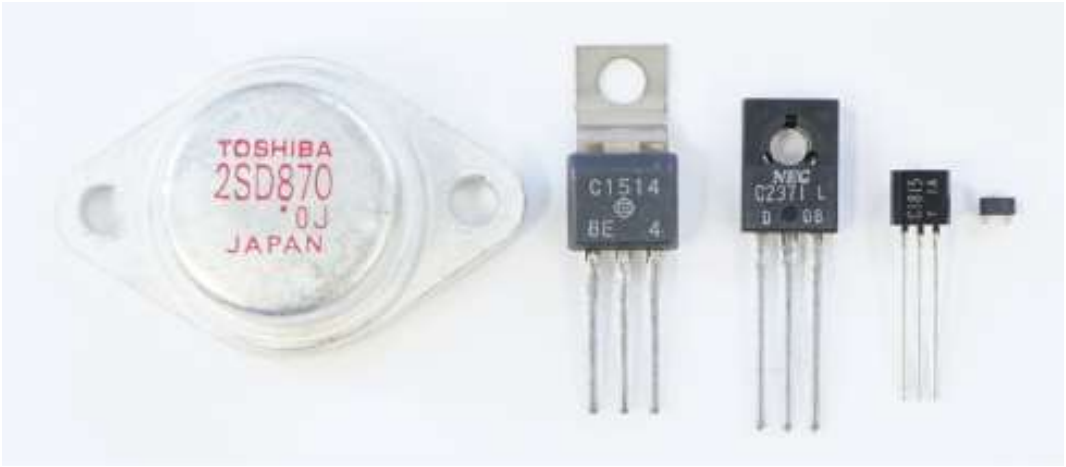
図 13-15 スイッチング作用のオンとオフ



(a)オンのとき　　(b)オフのとき

トランジスタは用途に応じて、大小様々な種類が製品化されています（図 13-16）。

図 13-16 様々なパッケージのトランジスタ



トランジスタは 1947 年に米国ベル研究所で発明されました。1956 年にトランジスタの発明に貢献したジョン・バーディーン(John Bardeen)[4]、ウォルター・ブラッテン(Walter Brattain) 、ウィリアム・ショックレー(William Shockley)の 3 名はノーベル物理学賞を受賞しました。トランジスタの発明により、半導体の研究が盛んになり、様々な研究者によって MOSFET（電界効果トランジスタの一種）などの新しいデバイスが開発されたり、製造技術が発展したりして、小さなシリコンチップにたくさんのトランジスタを集積して電子回路を製造することが可能になりました。それを集積回路（IC：integrated circuit）と呼びます[5]。1971 年に、嶋正利(しま まさとし)がインテル社に出向してインテルの社員と開発した世界最初のマイクロプロセッサ i4004 は約 2,300 個のトランジスタを集積して作られました。今日のマイクロプロセッサは 10 億個以上のトランジスタを集積しています。

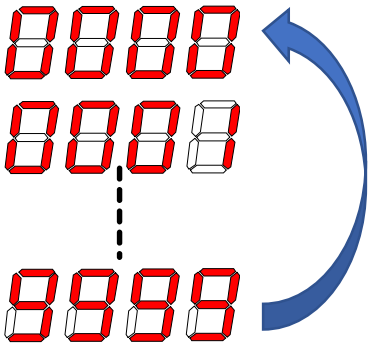
[4] 1951 年、イリノイ大学の教授になり新しい研究に着手した。1972 年に超電導の研究で 2 回目のノーベル物理学賞を受賞した。

[5] 1958 年に米国のジャック・キルビー(Jack Kilby(当時、TI（テキサス・インスツルメンツ)技術者))が IC を発明した。その功績により、2000 年にノーベル物理学賞を受賞した。

13.5.　4 桁の数字をダイナミック点灯させる

4 桁の 7 セグメント LED 表示器を**図 13-17** に示すように、「0000」から順番にカウントアップして表示して「9999」になったら、また、「0000」から繰り返し表示するプログラムを作成します。**図 13-7** の 1 個の 7 セグメント LED 表示器を表示させる回路より、セグメント a から g までの 7 本の GPIO 信号が必要になります。7 セグメント LED 表示器の桁数が増えると、ラズパイの GPIO が足らなくなってきます。桁数が多い場合、一般的にはダイナミック点灯方式の回路が採用されます。ダイナミック点灯方式には、どんな工夫があるのでしょうか。

図 13-17　4 桁の 7 セグメント LED 表示器でカウントアップして繰り返す動作



13.5.1. 4 桁 7 セグメント LED 表示器 OSL40562-LR の構造

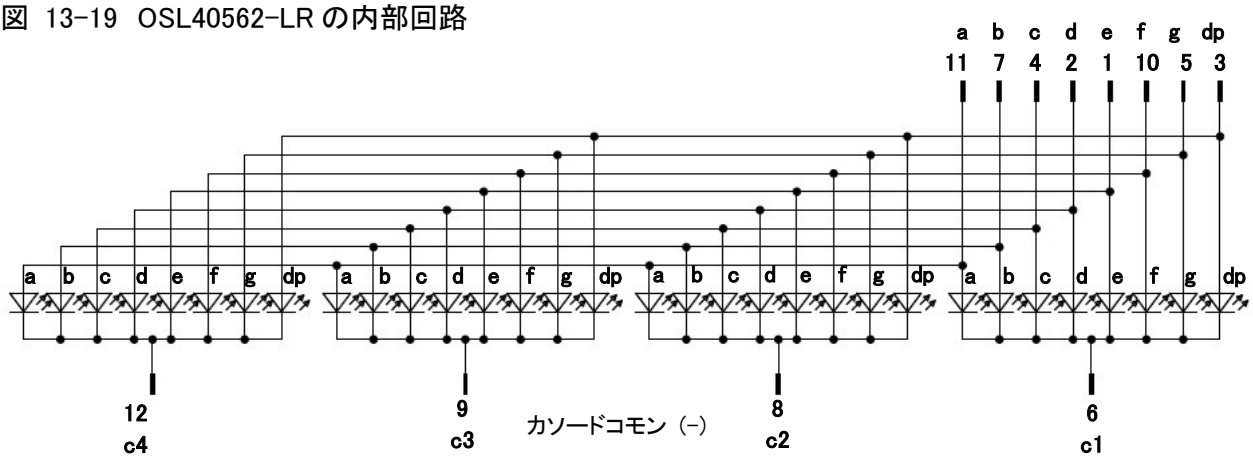
図 13-18 に示すように 4 個の 7 セグメント LED 表示器を内蔵した製品があります。本書では、カソードコモンタイプの OSL40562-LR（秋月電子通商：I-03673）を使用します。

OSL40562-LR の内部回路図を図 13-19 に示します。7 セグメント LED 表示器ごとにカソード側で共通（コモン）に結線がされ、C1 は 1 桁目、C2 は 2 桁目、C3 は 3 桁目、C4 は 4 桁目のカソードコモン(-)になります[6]。アノード側はセグメント毎に共通に結線されています。そのため、セグメントに加えられた電圧が各桁に共通して通電されますので、4 桁とも同じ数字しか表示されません。実は、OSL40562-LR はダイナミック点灯方式で回路設計されることを前提に製造されています。

図 13-18　OSL40562-LR の表示面

[6] OSL40562-LR のデータシートのコモンの名称を本書の解説に合わせるために変更しています。

図 13-19 OSL40562-LR の内部回路



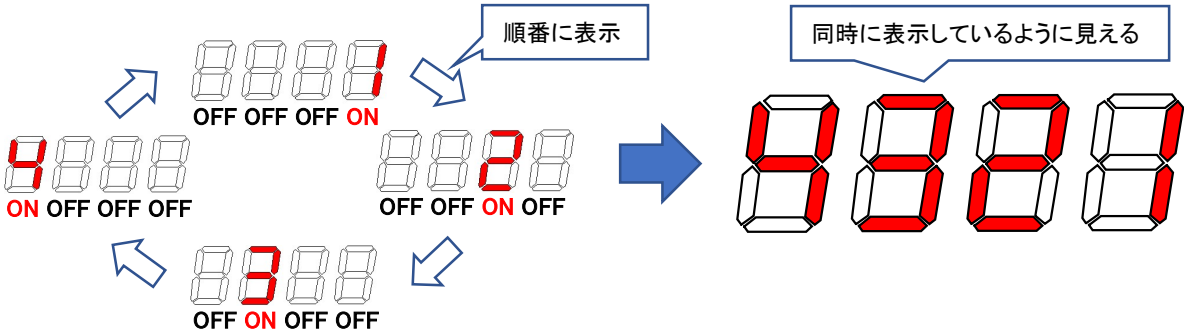
13.5.2. ダイナミック点灯方式とは

光を見ているとき、対象が消えたあとも、しばらくは、それを見続けているように錯覚する現象を**残像効果**[7]といいます。**ダイナミック点灯方式**は残像効果を利用して、複数の LED が同時に点灯しているように知覚させる方式です。ここでは、4 桁 7 セグメント LED 表示器を例に解説します（図 13-20）。

4 桁 7 セグメント LED 表示器のカソードコモンにそれぞれスイッチを付けたとします。表示させる桁のみスイッチを ON にして、残りの桁はスイッチ OFF にして非表示にします。ゆっくりとスイッチを切り替えれば各桁が順番に表示して見えます（図 13-20(a)）。

ここでスイッチを高速に切り替えます。例えば、1 桁目だけを 1ms 点灯させます。次に、2 桁目だけを 1ms 点灯させ、そして 3 桁目だけを 1ms 点灯させ、最後の 4 桁目を 1ms 点灯させたら 1 桁目へ戻り、繰り返します。残像効果により、図 13-20(b)のように 4 桁が同時に表示しているように見えるのです。

図 13-20 ダイナミック点灯方式の原理



（a） スイッチによる切り替え　　（b） 高速にスイッチの切り替え

[7] 人の目の時間分解能は約 50ms から 100ms 程度であり、この時間よりも短い光の点滅は、連続点灯しているように知覚される。※出典:「残像効果」『ウィキペディア日本語版』。 2020 年 7 月 10 日(金)15:32 UTC、*URL* https://ja.wikipedia.org

ダイナミックとは**動的**と訳され、「時間によって状態や状況が変化する」の意味です。対義語はスタティック（**静的**）になります。**図 13-7** の回路は**スタティック点灯方式**になります。

ダイナミック点灯方式の特徴は次のの通りです。

- 少ない GPIO 信号で制御することが可能になります。例えば、4 桁 7 セグメント LED 表示器をスタティック点灯方式で制御する場合、4 桁で 4 倍になり、28 本の GPIO 信号が必要になります（**表 13-4**）。ダイナミック点灯方式では、7 個の LED を点灯させる信号と 4 桁を切り替える信号を必要とし、GPIO 信号は 11 本で済みます。
- ダイナミック点灯方式は一定の周波数で点灯させるので、スタティック点灯方式と比較すると回路の消費電力を抑えることができ、LED の寿命も長くなります。
- 欠点としては、回路が複雑になることと、点灯の周波数が遅くなると表示にチラツキが発生します。

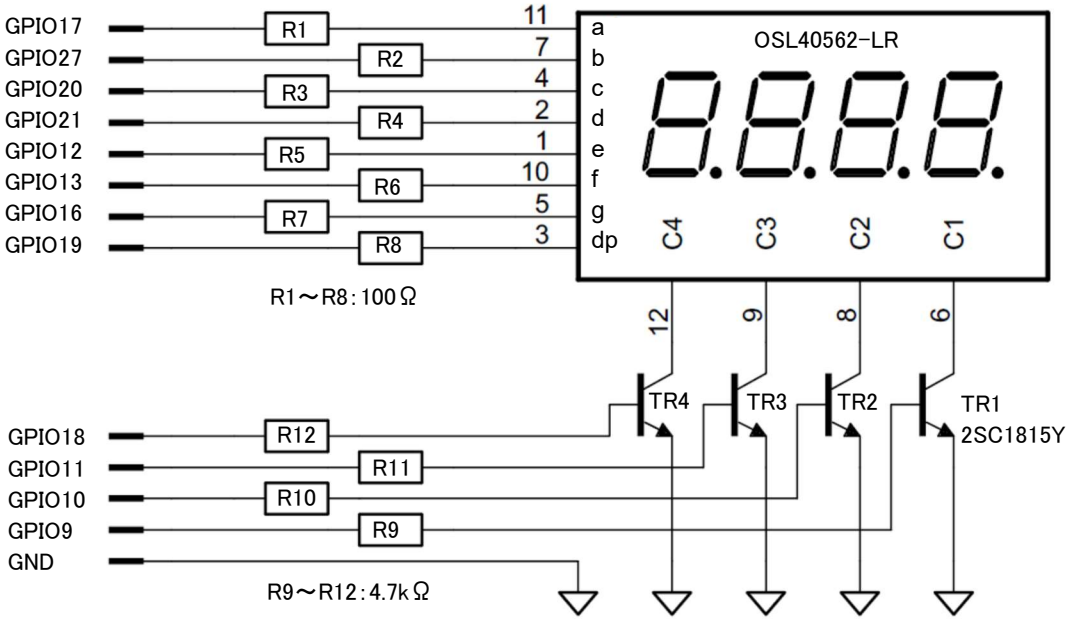
表 13-4 4 桁 7 セグメント LED 表示器に必要な信号数

スタティック点灯方式	ダイナミック点灯方式
7（セグメント数）×N（桁数） GPIO 信号 7 × 4 ＝ 28 本	7（セグメント数）＋N（桁数） GPIO 信号 7 ＋ 4 ＝ 11 本

13.5.3. 回路図

ダイナミック点灯方式による 7 セグメント LED 表示器の回路を**図 13-21** に示します。

図 13-21 ダイナミック点灯方式による 4 桁7セグメント LED 表示器の回路図

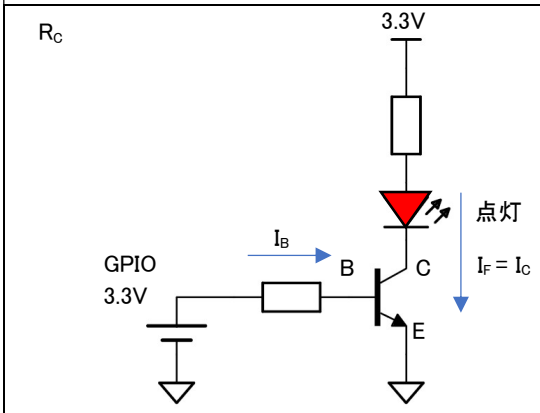
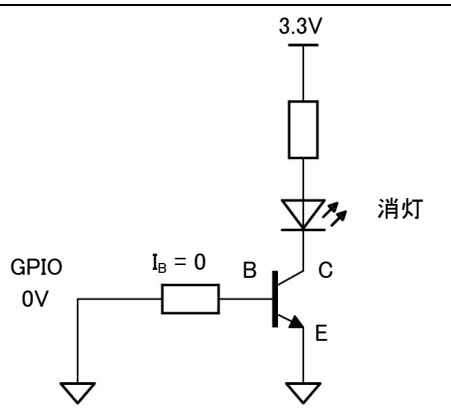


13.5.2 節では、**図 13-20** で 4 桁 7 セグメント LED 表示器の各桁の切り替えに、スイッチを例に説明しました。**図 13-21** の回路では、そのスイッチをトランジスタで実現しています。トランジスタのスイッチング作用を使用します。

●トランジスタのスイッチング回路の動作

図 13-21 はトランジスタの**エミッタ接地回路**と呼ばれ、LED を点灯したり消灯したりする**スイッチング回路**として利用します。トランジスタのベースが入力となり、コレクタが出力になります。4 つのトランジスタ回路がありますが、同じ回路になります。1 つの回路の動作を**表 13-5** に説明します。なお、**図 13-21** では、GPIO の出力信号で抵抗 R_C を通して LED のアノード側に電圧を与えていますが、**表 13-5** ではトランジスタの動作にフォーカスするため 3.3V に置き換えています。

表 13-5 トランジスタのスイッチング回路の動作原理

GPIO の出力信号が HIGH(3.3V)のとき	GPIO の出力信号が LOW(0V)のとき
トランジスタにベース電流 I_B が流れてトランジスタがオンの状態になります。コレクタとエミッタ間が導通状態になり、LED の順方向電流 I_F はコレクタ電流 I_C となり、グランド側へ流れて LED は点灯します。	トランジスタにベース電流 I_B は流れないため、トランジスタはオフの状態となります。コレクタとエミッタ間は非導通状態になり、LED の順方向電流 I_F は流れないため LED は消灯します。
	

●R_C と R_B の計算

図 13-21 に示した 4 桁 7 セグメント LED 表示器の回路から、1 桁を切り出した点灯回路を**図 13-22** に示します。 1 つのトランジスタで最大 8 個の LED を点灯します。

図 13-22 の抵抗 R_C と R_B の値を求めます。 7 セグメント LED 表示器 OSL40562-LR のデータシートより、順方向電流 I_F を 7.5mA に設定します。ダイナミック点灯方式の場合、非表示の状態があるためスタティック点灯方式よりも少し電流を多くします。OSL40562-LR の順方向電 V_F の最大値は 2.3V です。また、トランジスタ 2SC1815 のデータシートより、コレクタ・エミッタ間飽和電圧 V_{CE} の最大値は 0.25V です。以上から、抵抗 R_C の電圧 V_{RC} が求まります。

$V_{RC} = 3.3 - 2.3 - 0.25 = 0.75$ [V]

式 13-3 から、R_C の抵抗値は 100Ω と求まります。

$$R_C = \frac{V_{RC}}{I_F} = \frac{0.75}{7.5\times10^{-3}} = 100 \quad [\Omega] \qquad [式\ 13\text{-}3]$$

ベース抵抗 R_B を求める手続きは、まずコレクタ電流 I_C からベース電流 I_B を求め、次に I_B からベース抵抗 R_B を求めます。

ベース電流 I_B はコレクタ電流 I_C と直流電流増幅率から**式 13-1** より求めることができます。コレクタ電流 I_C は、8 個の LED を同時に点灯させた場合で求めます。よって、コレクタ電流 I_C は順方向電流 I_F 7.5mA の 8 倍の 60mA になります。

$$I_C = I_F \times 8 = 60 \quad [mA]$$

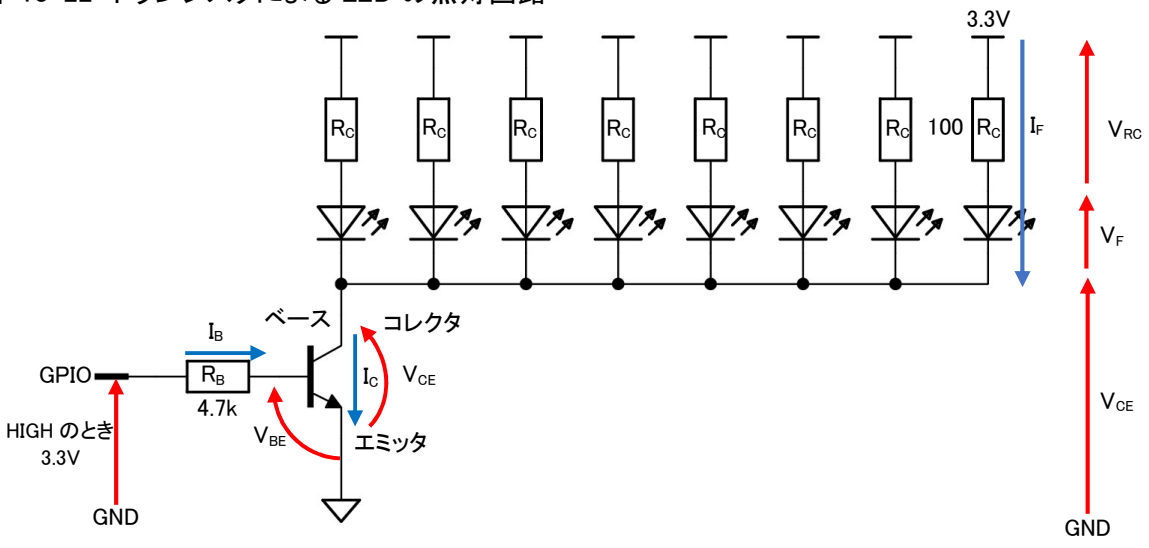
直流電流増幅率 h_{FE} は 2SC1815 のデータシートに明記されています。今回、トランジスタは 2SC1815 の Y クラスを使用します。Y クラスの直流電流増幅率 h_{FE} は 120 倍から 240 倍です。直流電流増幅率 h_{FE} は、最悪値となる最小値（120 倍）を使用します。以上から、I_B を**式 13-1** より求めます。I_B は 0.5mA となります。

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = 0.5 \quad [mA]$$

次に、ベース抵抗 R_B を求めます。GPIO の出力信号 HIGH(3.3V)がベース端子に印加して、ベース電流 I_B が流れます。このベース電流はベースからエミッタへ流れます。このとき、ベース･エミッタ間電圧 V_{BE} が発生します。2SC1815 のデータシートより V_{BE} の最大値は 1.0V です。式 13-4 より R_B は 4.6kΩ と求まります。抵抗の E24 標準数列より、抵抗値を 4.7kΩ とします。

$$R_B = \frac{3.3 - V_{BE}}{I_B} = \frac{3.3-1.0}{0.5\times10^{-3}} \approx 4.6k \quad [\Omega] \qquad [式\ 13\text{-}4]$$

図 13-22 トランジスタによる LED の点灯回路



13.5.4. 配線図

4 桁 7 セグメント LED 表示器 OSL40562-LR のピン配列（**図 13-23**）とトランジスタ 2SC1815 の端子名（**図 13-24**）を示します。配線図は**図 13-25** になります。なお、本回路は新しいブレッドボードに組み立てます。

図 13-23 表示面から見た OSL40562-LR のピン配列

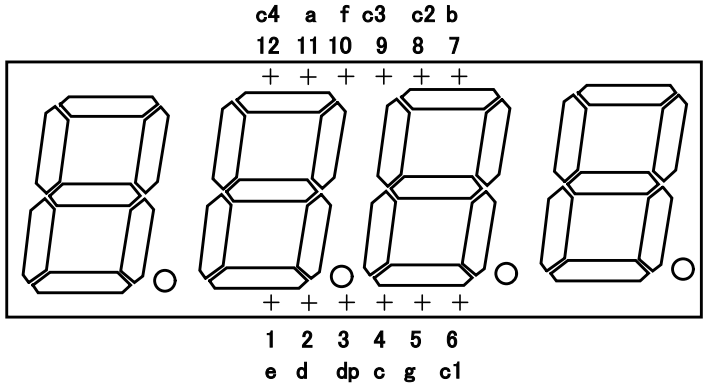
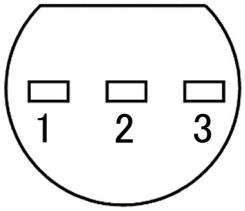


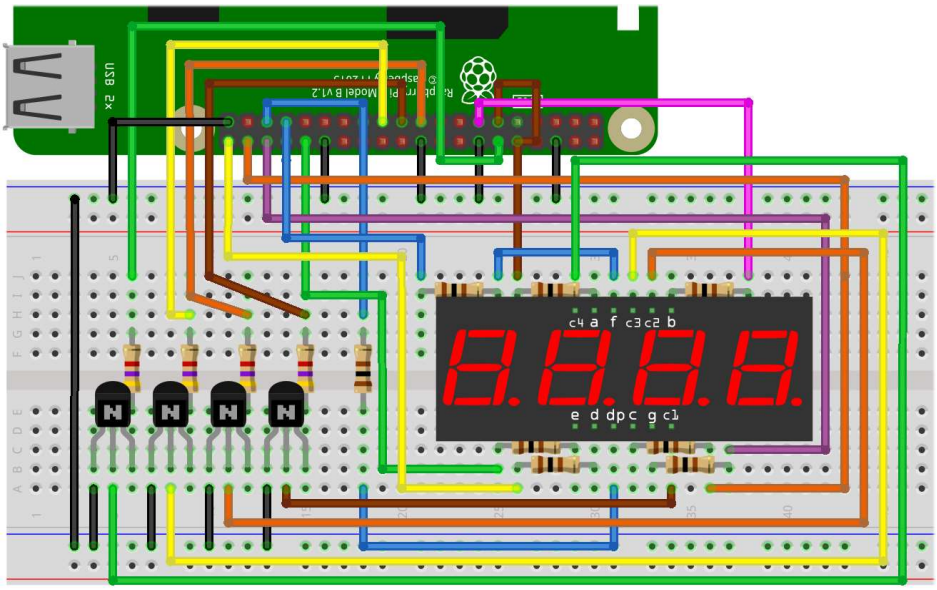
図 13-24 2SC1815 の端子名

1. エミッタ
2. コレクタ
3. ベース



リード側の下から見た図

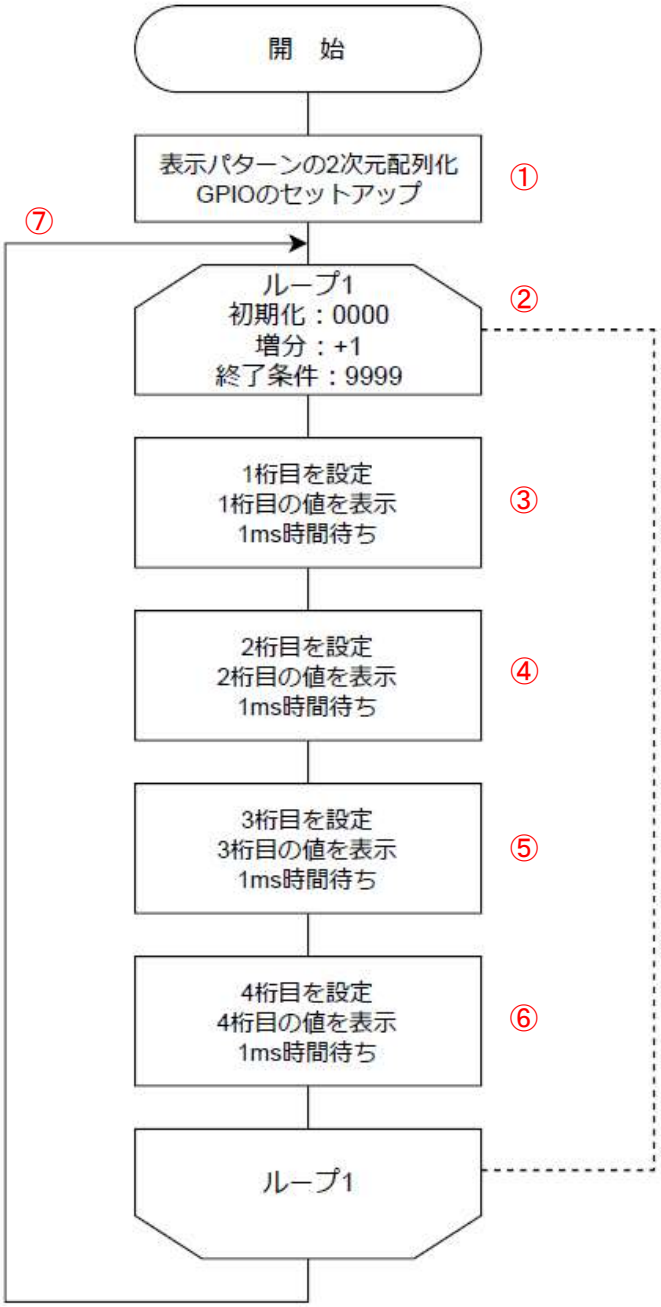
図 13-25 4 桁 7 セグメント LED 表示器の配線図



13.5.5. フローチャート

図 13-17 に示したように、4 桁 7 セグメント LED 表示器に、「0000」からカウントアップして表示して、「9999」になったら、また、「0000」から繰り返し表示するプログラムを作成します。各桁を 1ms 毎に切り替えて表示するダイナミック点灯方式とします。4 桁を 4ms で表示したら、カウントアップします。フローチャートを図 13-26 に示します。

図 13-26 4 桁の数字を表示するフローチャート



① 数字の表示パターンの 2 次元配列を設定します(表 13-3)。
② ループ 1 では 4 桁の値をカウントアップして、③から⑥の処理を 10000 回実行します。
③ 1 桁目を表示します。
④ 2 桁目を表示します。
⑤ 3 桁目を表示します。
⑥ 4 桁目を表示します。
⑦ 永久ループです。

13.5.6. ソースコード

ソースコードは**リスト 13-2** のとおりです。

リスト 13-2：List13-2_7Seg02.c

```
#include <stdio.h>          //入出力
#include <stdlib.h>         //一般ユーティリティ
#include <wiringPi.h>       //wiringPi
#define DP          19      //小数点
#define INTERVAL     1      //各桁の点灯時間 ms
//com[0]1 桁目,com[1]2 桁目,com[2]3 桁目,com[3]4 桁目
const int com[4] = {9,10,11,18};
//7セグメント LED 表示器 a, b, d, d, e, f, g
const int a2g[7] = {17,27,20,21,12,13,16};//GPIO を配列で定義
const int disp0_9[11][7] = {{1,1,1,1,1,1,0},  //0
                            {0,1,1,0,0,0,0},  //1
                            {1,1,0,1,1,0,1},  //2
                            {1,1,1,1,0,0,1},  //3
                            {0,1,1,0,0,1,1},  //4
                            {1,0,1,1,0,1,1},  //5
                            {1,0,1,1,1,1,1},  //6
                            {1,1,1,0,0,0,0},  //7
                            {1,1,1,1,1,1,1},  //8
                            {1,1,1,1,0,1,1},  //9
                            {0,0,0,0,0,0,0}   //消灯
                            };

int main (void){
    int i,k;
    int segData;                    //0000 から 9999 のカウント用
    int num1,num2,num3,num4;         //各桁の表示用
    wiringPiSetupGpio();             //BCM の GPIO 番号を使用
    for(i=0;i<4;i++){                //4 個のトランジスタを出力に設定
        pinMode(com[i],OUTPUT);
    }
    for(i=0;i<4;i++){                //4 個のトランジスタを OFF
        digitalWrite(com[i],LOW);
    }
    for(i=0;i<7;i++){                //セグメント a から g の GPIO を出力に設定
        pinMode(a2g[i],OUTPUT);
    }
    pinMode(DP,OUTPUT);              //dp(小数点)の GPIO を出力に設定

    while(1){
        for(segData=0;segData<=9999;segData++){   ②
            //7Seg 1 桁目
            digitalWrite(com[3],LOW);   //4 桁目 OFF
            digitalWrite(com[0],HIGH);  //1 桁目 ON
            num1=segData%10;            //10 で割った余りから 1 桁目を取得   ④
            for(i=0;i<7;i++){           //セグメント a から g を出力
                digitalWrite(a2g[i],disp0_9[num1][i]);
            }
```

①

③

⑤

```
            delay(INTERVAL);            //点灯時間      ⑥

            //7Seg 2 桁目
            digitalWrite(com[0],LOW);    //1 桁目 OFF
            digitalWrite(com[1],HIGH);   //2 桁目 ON
            k = segData/10;              //2 桁目を 1 桁目へ
            num2=k%10;                   //10 で割った余りから 2 桁目を取得
            for(i=0;i<7;i++){            //セグメント a から g を出力
                digitalWrite(a2g[i],disp0_9[num2][i]);
            }
            delay(INTERVAL);            //点灯時間

            //7Seg 3 桁目
            digitalWrite(com[1],LOW);    //2 桁目 OFF
            digitalWrite(com[2],HIGH);   //3 桁目 ON
            k=segData/100;               //3 桁目を 1 桁目へ
            num3=k%10;                   //10 で割った余りから 3 桁目を取得
            for(i=0;i<7;i++){            //セグメント a から g を出力
                digitalWrite(a2g[i],disp0_9[num3][i]);
            }
            delay(INTERVAL);            //点灯時間

            //7Seg 4 桁目
            digitalWrite(com[2],LOW);    //3 桁目 OFF
            digitalWrite(com[3],HIGH);   //4 桁目 ON
            k=segData/1000;              //4 桁目を 1 桁目へ
            num4=k%10;                   //10 で割った余りから 4 桁目を取得
            for(i=0;i<7;i++){            //セグメント a から g を出力
                digitalWrite(a2g[i],disp0_9[num4][i]);
            }
            delay(INTERVAL);            //点灯時間

            //ターミナルにデバック表示
            printf("segData = %d %d %d %d %d¥n",segData,num4,num3,num2,num1);
        }
    }
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

リスト 13-1 と重複する解説は割愛します。

① ダイナミック点灯用の 4 個のトランジスタを駆動するために GPIO を出力に設定し、出力を OFF にして消灯させます。

② for 文で、カウント値「0000」から「9999」までカウントアップします。

③ 表示させていた桁のトランジスタを OFF にし、次に表示させる桁のトランジスタを ON します。

④ 4 桁のカウント値から 1 桁目を求めます。例えば、カウント値が「4321」の場合、4321 を 10 で割った余り 1 が 1 桁目に表示する値になります。C 言語ではモジュロ演算子「%」で、余りを求めることができます。2 桁目から 4 桁目も、桁を移動させて同様に求めることができます。**表 13-6** に示すように、各桁を右へシフトするために 10 のべき乗で

割ります。その商を 10 で割った余りが表示する値になります。なお、4 桁目の「4 % 10」を計算すると商は「0.4」と思われますが、変数を整数型で計算すると商は「0」、余り「4」となります。

表 13-6「1234」を各桁に表示させる手続き

桁	桁の右シフト	剰余算	余り(表示する値)
1 桁目	なし、または $4321 \div 10^0 = 4321$	4321 % 10	1
2 桁目	$4321 \div 10^1 = 432$	432 % 10	2
3 桁目	$4321 \div 10^2 = 43$	43 % 10	3
4 桁目	$4321 \div 10^3 = 4$	4 % 10	4

⑤ セグメント a から g を GPIO に出力します。

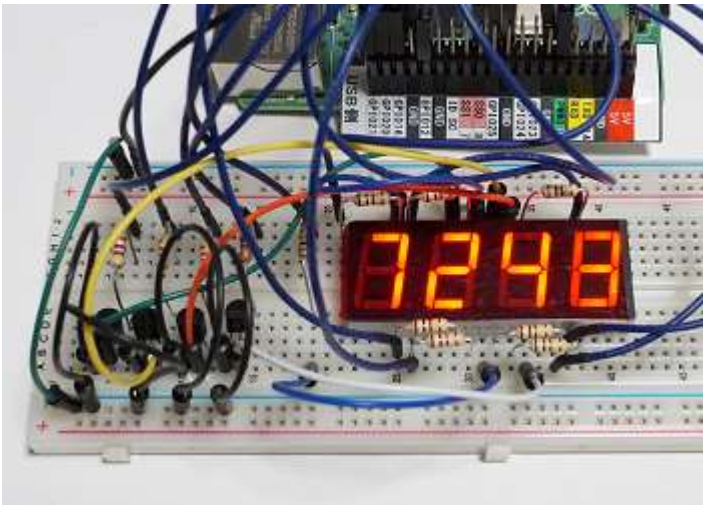
⑥ 1ms 間、該当桁の 7 セグメント LED 表示器を点灯させます。以降、カウント値の 2 桁目から 4 桁目を表示します。

13.5.7. 動作確認

リスト 13-2 をビルドして実行すると、ダイナミック点灯方式で 4 桁 7 セグメント LED 表示器を「0000」から 4ms 毎にカウントアップして表示します。高速にカウントアップするため、1 桁目は各セグメントが同時に点灯したように知覚して、数字の 8 に見えます（**図 13-27**）。プログラムの実行を停止すると、1 桁だけが点灯していたことが分かります。

また、**リスト 13-2** の 4 桁毎のダイナミック点灯方式の周波数は約 250Hz ですが、ソースコード中の INTERVAL の値を 10 にすると周波数は約 25Hz となり、7 セグメント LED 表示器の表示にチラツキが発生することを確認してください。なお、7 セグメント LED 表示器に単語帳などに付属する赤シートを貼ると数字が見やすくなります（**図 13-27**）。

図 13-27 ダイナミック点灯している 7 セグメント LED 表示器



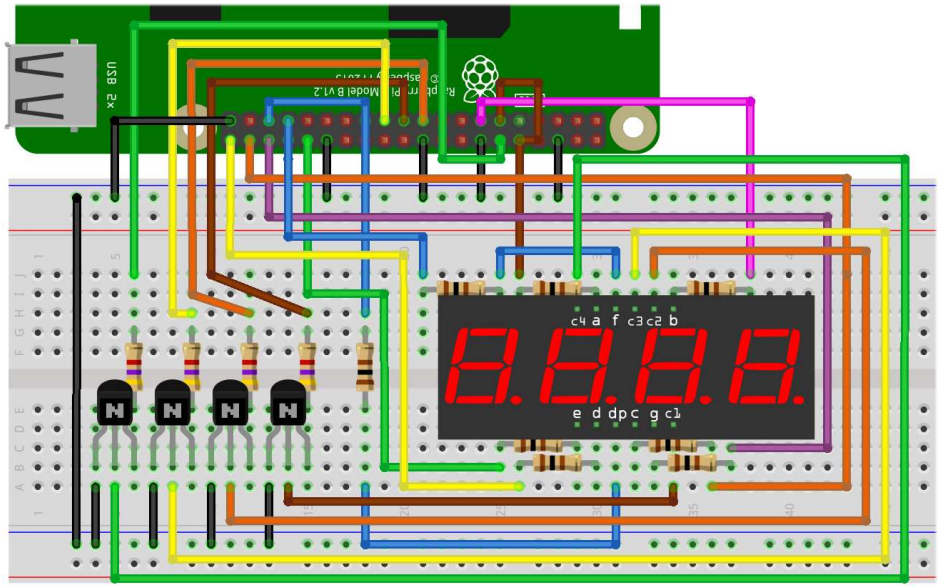
＜動作しないときの対処方法＞

- サンプルコードをダウンロードして、実行してみましょう。正常に動作した場合は、ユーザーのソースコードに不具合がある可能性があります。
- サンプルコードも動作しない場合、配線した回路に問題があるかもしれません。トランジスタや抵抗が増えて、配線が複雑になってきました。7セグメント LED 表示器のピン番号、トランジスタの端子名、抵抗値、GPIO の番号等の配線を確認しましょう。
- 7セグメント LED 表示器のタイプがカソードコモンであることを確認します。本書では、7セグメント LED 表示器に OSL40562-LR（秋月電子通商：I-03673）を使用していますが、他の製品の場合にはピン配置が異なることがありますので、データシートを確認してください。

13.6.　章末問題

章末問題は、これまでの学習した内容を踏まえて応用力を習得するために用意しました。ここでは、4 桁 7 セグメント LED 表示器の配線図（**図 13-25**）を使用します。

図 13-28 章末問題の配線図



【問題 13-1】リスト 13-2：List13-2_7Seg02.c を簡潔するプログラム

リスト 13-2：List13-2_7Seg02.c のソースコードでは、4 桁を表示させるために似たような処理（図 13-26 フローチャートの③から⑥）を 4 回行っています。冗長な部分をひとまとめにしてみましょう。ファイル名は「List13_Ex01.c」とします。

- ヒント
- List13-2_7Seg02.c の各桁の表示においてトランジスタを固定していますが、「徹底入門」p.96 の Led4bit 関数のように、トランジスタへの 4 本の GPIO 信号をひとまとめにしたポートとして扱うと、トランジスタの指定を汎化できます。
- べき乗の計算には pow 関数があります。pow 関数を使用する場合は、ソースコードに数学ライブラリ<math.h>をインクルードし、ビルドオプションに数学関数オプションを意味する -lm（エルエム）を付けてください。

【問題 13-2】16 進数でカウントアップするプログラム

List13-2_7Seg02.c または、List13_Ex01.c のソースコードを改造して、「0000」から 16 進数でカウントアップして表示して「FFFF」になったら、また、「0000」から繰り返し表示するプログラムを作成します。16 進数の A から F の表示パターンは図 13-3 を参照してください。ファイル名は「List13_Ex02.c」とします。

【問題 13-3】現在の時刻を表示するプログラム

現在の時刻を表示させてるプログラムを作成します。4 桁目と 3 桁目に時を、2 桁目と 1 桁目に分を表示させます。ファイル名は「List13_Ex03.c」とします。

- ヒント

• 日付及び時間を取得するために time 関数、localtime 関数、tm 構造体を使用します。これらの関数や構造体は、ヘッダファイル time.h で定義されているので、インクルードします。

```
#include <time.h>
```

• time 関数でシステム時刻を取得しますが、変数は標準 C ライブラリが定義しているデータ型 time_t で宣言します。tm 構造体には、時(tm_hour)、分(tm_min)、秒(tm_sec)などの int 型メンバがあります。ここでは local で構造体のポインタ宣言をします。時と分を代入するために、hour と minute を用意します。

```
time_t now;
struct tm *local;
int hour, minute, second;
```

• time 関数の戻り値からシステム時刻を取得しますが、UNIX 時間とも呼ばれ協定世界時(UTC)での 1970 年 1 月 1 日午前 0 時 0 分 0 秒からの経過秒数です。localtime 関数は経過秒数からローカル時間(日本時間)に変換し構造体に格納します。アロー演算子(->)を利用して構造体から tm_hour(時)、tm_min(分)、tm_sec(秒)の構造体メンバを取り出します。

```
now = time(NULL);
local = localtime(&now);
hour = local -> tm_hour;
minute = local -> tm_min;
second = local -> tm_sec;
```

参考文献/参考資料

[1] “C-551SRD-NW B/W データシート,” PARA LIGHT ELECTRONICS CO., LTD., (Aug. 2015)

[2] Ian M. Ross, “The Invention of the Trasnsistor,” Proceedings of the IEEE, vol.86, no.1, pp.7-28, (Jan. 1998)

[3] 嶋正利, “マイクロコンピュータの誕生—わが青春の 4004,” 岩波書店, (Aug. 1987)

[4] “Four Digit Display OSL40562-LR データシート,” OptoSupply

[5] “東芝トランジスタ 2SC1815 データシート,” TOSHIBA,(Jan.2002)

[6] 押本愛之助,石坂陽之助,“トランジスタ回路演習(増訂版),” 工学図書, pp.209-218, (Jul. 1983)

[7] 外山滋比古,“思考の整理学,” ちくま文庫, pp.60-62, (Apr. 1984)

C言語(シーげんご)ではじめるRaspberry Pi(ラズベリーパイ) 徹底入門(てっていにゅうもん)

Chapter13 7セグメント LED 表示器で数字を表示する

2020 年 8 月 23 日 初版

2020 年 12 月 14 日 差し替え 図 13-27