

センシング基礎演習(第7回)

トランジスタによるモータ駆動 (担当 高橋)

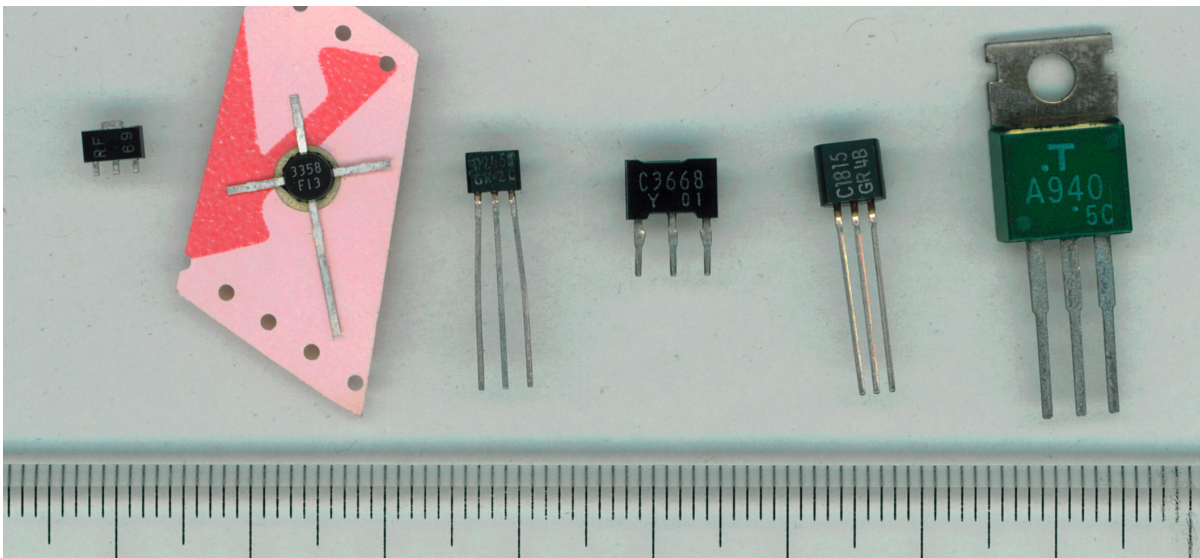


シラバスより(抜粋)

学習内容 トランジスタによるモータ駆動(担当 高橋)

具体的な行動達成目標

小信号用、電力用など、用途に応じた素子があることを説明できる





本日のメニュー

トランジスタいろいろ

モーターいろいろ

DCモーターの性質

実験1 DCブラシレスモータ

実験2 DCブラシ付きモータ(1)

実験3 DCブラシ付きモータ(2)





前提となる知識

この授業では、つぎの知識が必要です

- 生産システム実習基礎
ブレッドボードの使い方、テストの使い方
- 抵抗器(カラーコード)の読み方
- 電気回路基礎
オームの法則、キルヒホッフの法則、消費電力
- センシング演習基礎(前回の講義)
トランジスタによるスイッチング
データシートの活用



確認

プリント

実験シート(授業終了時に提出)

実験機材

ブレッドボード ジャンパ テスタ

電源装置(ACアダプタ)

トランジスタ DCモータ DCファン

筆記用具

ペンを使用 (鉛筆・シャープペンシルは片付ける)

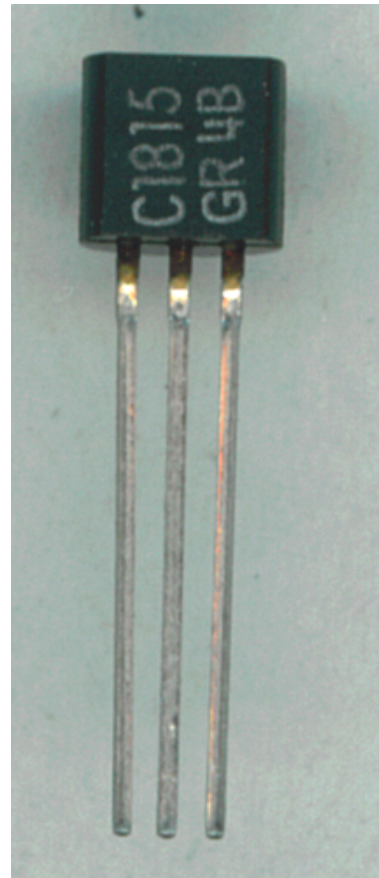


トランジスタとは？

トランジスタは

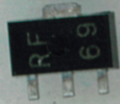
「第6回 トランジスタによるスイッチング」で

登場しました

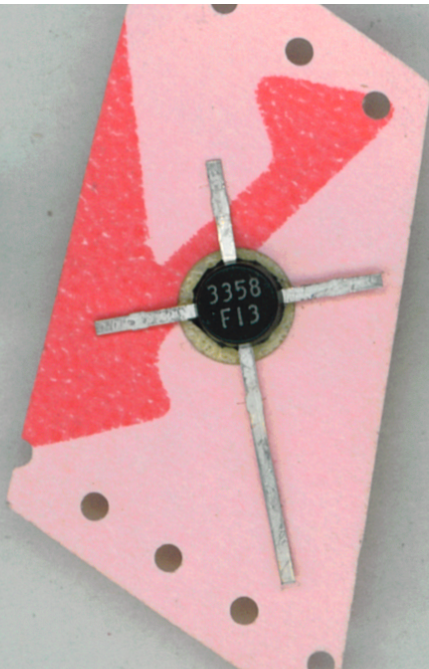


トランジスタいろいろ

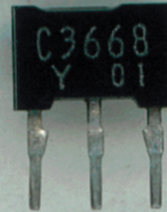
いろいろなトランジスタがあり、
用途により使い分けが必要です



マイクロ波用



高周波用



電力用



小信号用



電力用



トランジスタ

モータの制御には電力用のトランジスタを使用

トランジスタは外観だけで用途を決めることはできない

- 形状の大きいものは「電力用」が多い
- 形状の小さいものは「小信号用」が多い
- 形状が小さくても「電力用」がある

データシートで確認



本日使用するトランジスタ

2SC1815

本来は、小信号用トランジスタ

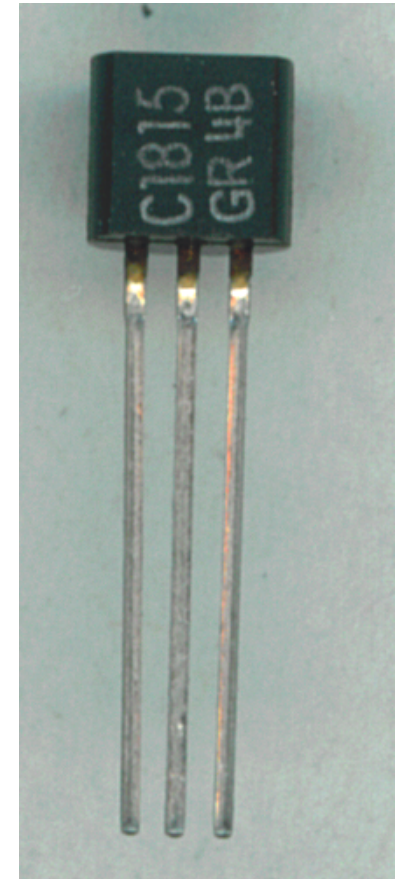
コレクタ耐圧 V_{CEO} 50[V]

コレクタ電流 I_C 150[mA]

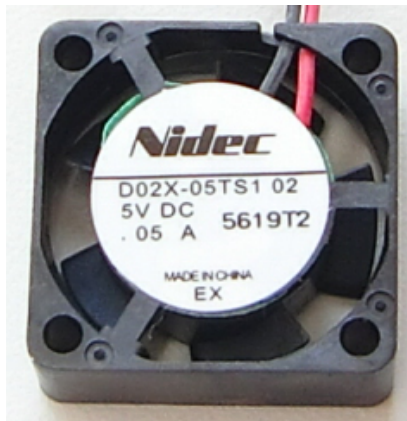
コレクタ損失 P_C 400[mW]

かなりムリな使い方をします

(不適切なトランジスタを選択しています)



モータ



ブラシレスDCモータ
精密機械動力
工業製品に多用



ブラシ付きDCモータ
小規模動力(おもちゃ)



モータについて知っていること

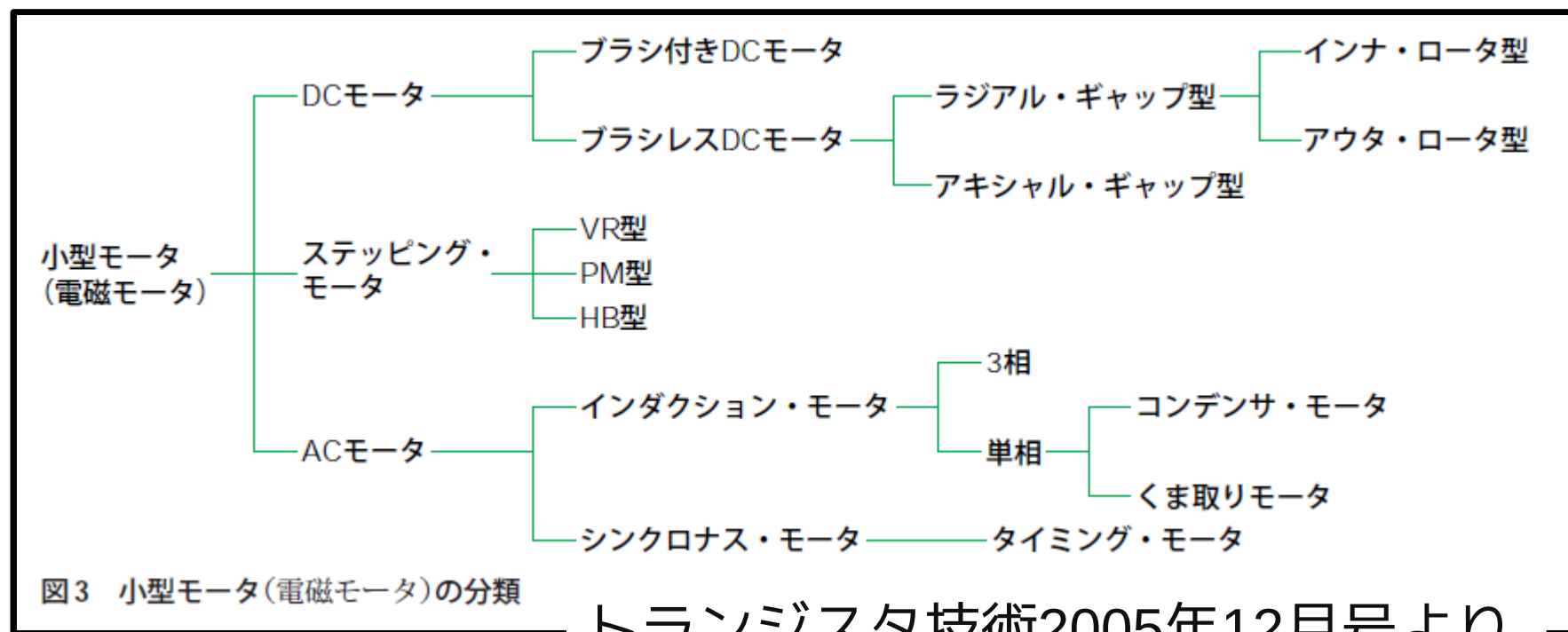
- 電流を流すと軸(シャフト)が回転する
-
-



モータの種類

「モータ」にはいろいろな種類がある

用途に合致したモータを使わなければならない



トランジスタ技術2005年12月号より



私達の周囲にあるモータ

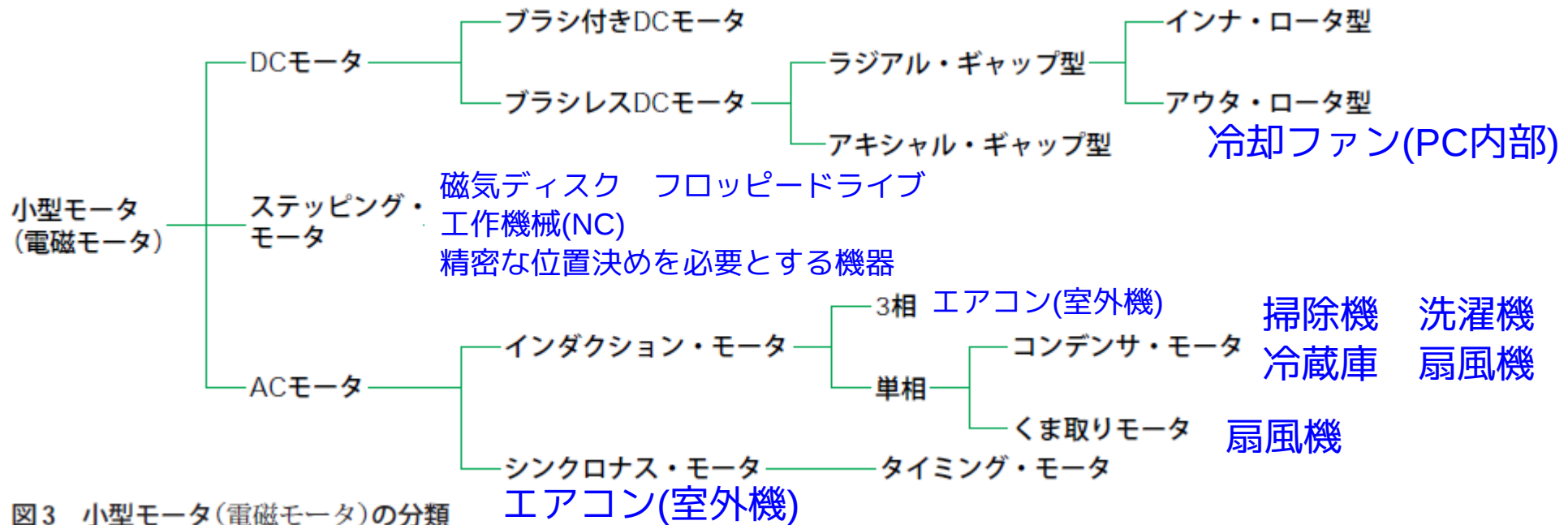


図3 小型モータ(電磁モータ)の分類

最近の家電製品は

- ブラシレスDCモータ(+マイクロコントローラ)
- シンクロナスモータ(+インバータ)

を採用するものが多い



この講義で使用するDCファン

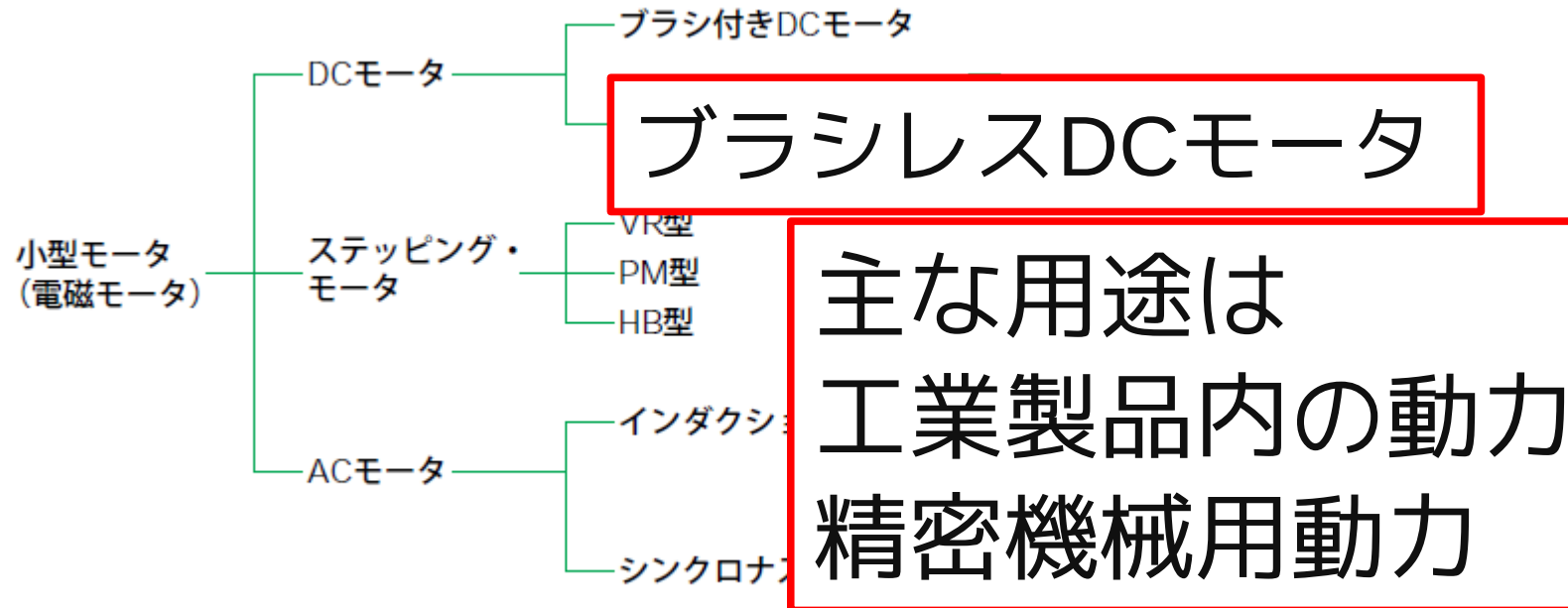
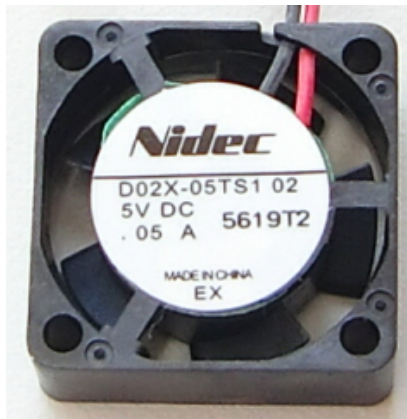


図3 小型モータ(電磁モータ)の分類



詳しくは
ラジアルギャップ アウターロータ型
ブラシレスDCモータ

この講義で使用するモータ



ブラシ付きDCモータ

ブラシレスDCモータ

主な用途は
小規模動力(おもちゃ)

小型モータ
(電磁モータ)

ステッピング・
モータ

VR型
PM型
HB型

ACモータ

インダクション・モータ

3相

単相

コンデンサ・モータ

くま取りモータ

シンクロナス・モータ

タイミング・モータ

図3 小型モータ(電磁モータ)の分類

トランジスタ技術2005年12月号より抜粋

ブラシレスDCモータ 利点・欠点

<利点>

ブラシがない

摩耗による劣化が少ない

雑音が少ない

長寿命

安価

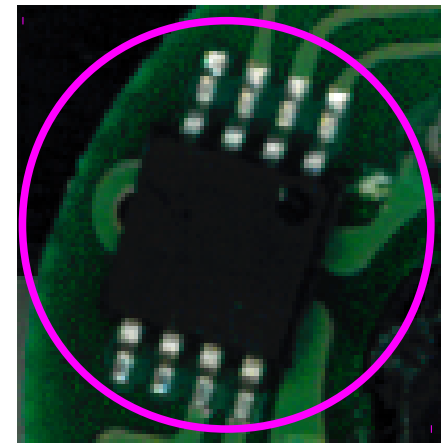
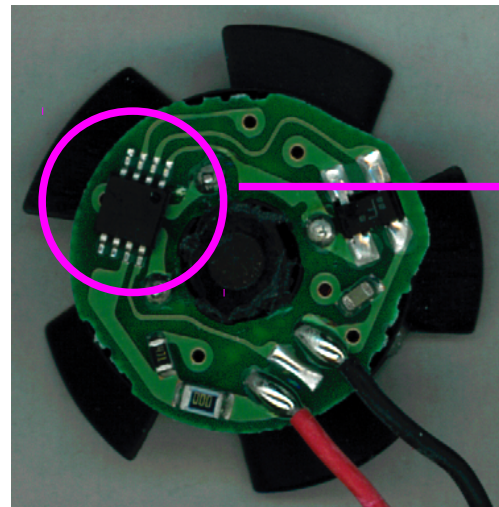


<欠点>

制御回路が必要

(DCファンに内蔵)

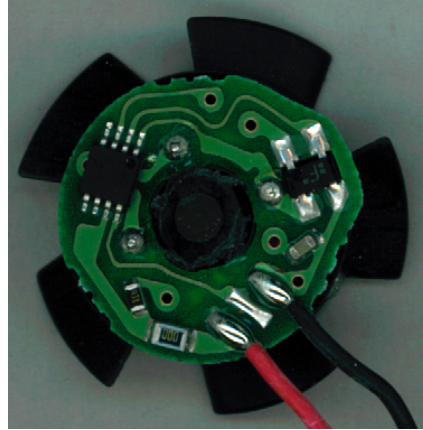
制御回路が別売のことも



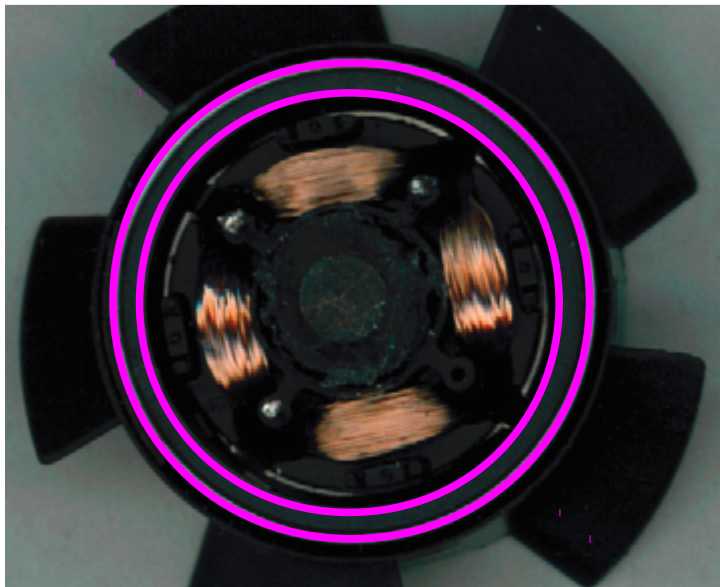
制御回路

ブラシレスDCモータを分解

- ブラシレスDCモータを分解した

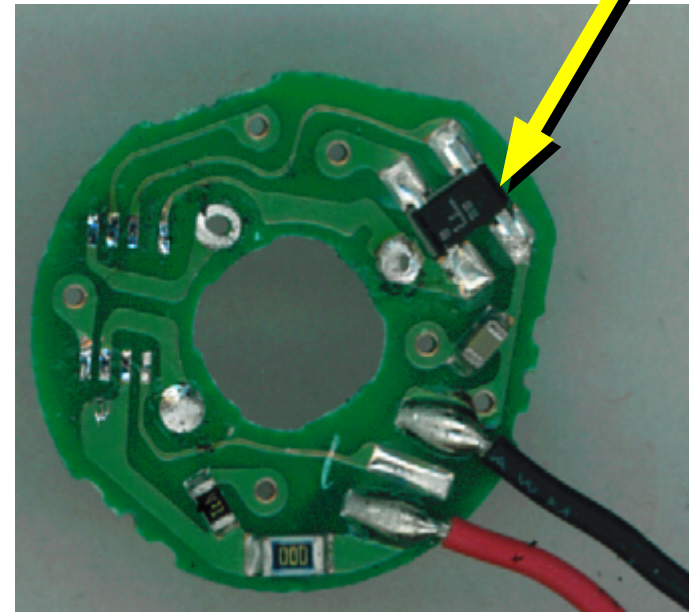


コイル4個



コイルの外側に磁石

ホール素子
→ 第13回磁気センサ

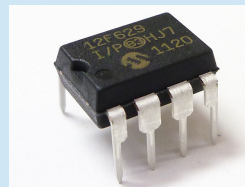




温度センサと組み合わせて

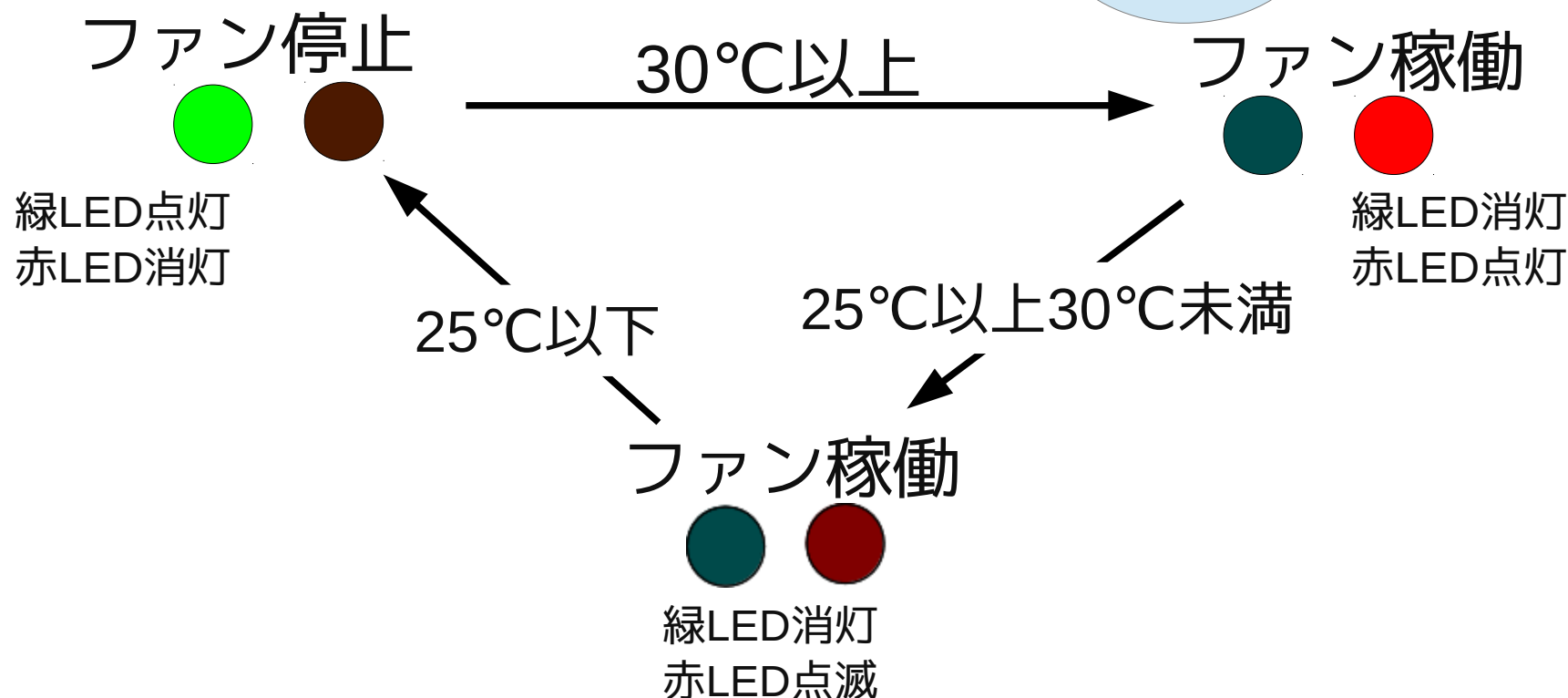
- 状態をLEDに表示
- ファンをON/OFF

マイクロコントローラを
使うと実現できる



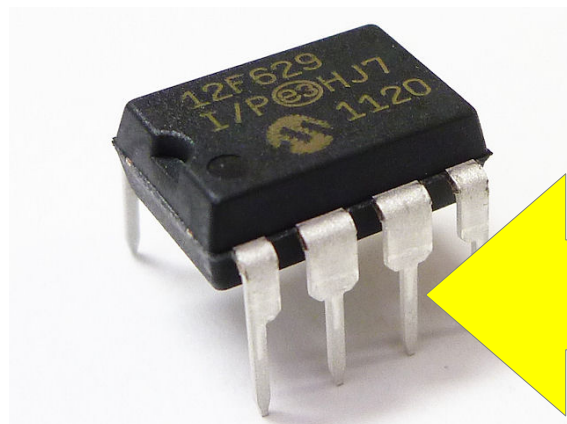
温度センサ→第12回

マイクロコントローラ
→3年生以降



ブラシレスDCモータを回してみよう

マイクロコントローラ



出力電流は20[mA]
(最大定格20[mA])

モータを
直接接続する?

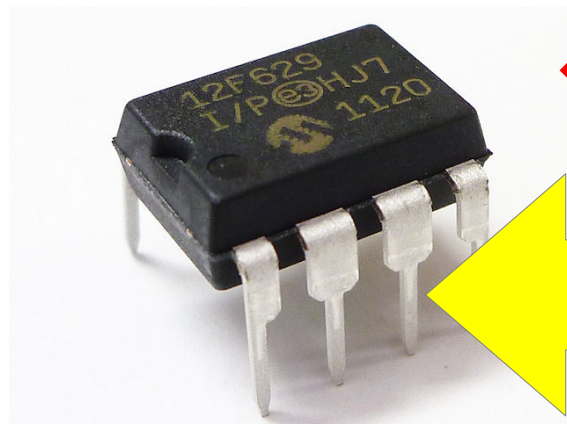
<DCファン>
定格電圧5[V]
定格電流50[mA]



5[V]で使用してください
電流は50[mA]流れます

ブラシレスDCモータは回らない

マイクロコントローラ



出力電流は20[mA]
(最大定格20[mA])

<DCファン>

定格電圧5[V]

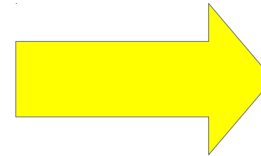
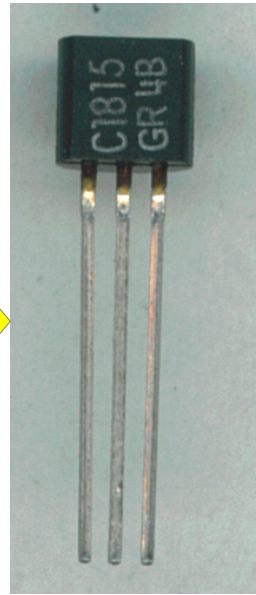
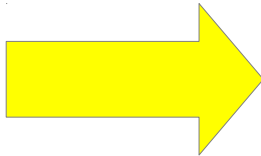
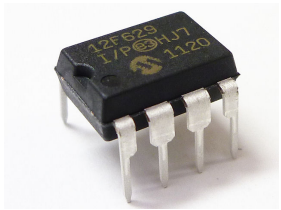
定格電流50[mA]



で使用してください
電流は50[mA]流れます



トランジスタを使う



コントローラで
トランジスタを駆動

ベース電流 1[mA]
=コントローラ出力電流

トランジスタを
ON/OFFして
モータを制御

コレクタ電流 = モータに流れる電流 50[mA]



実験してみよう

[重要]

実験の前に

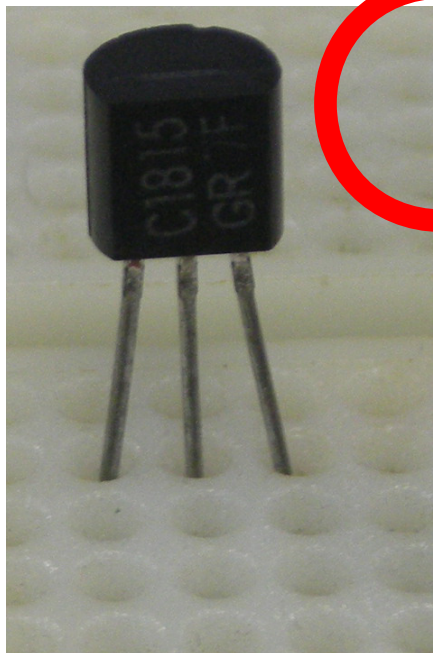
- 注意事項
- 実験の目的
- 機材

を確認する

注意事項

トランジスタの端子

- 広げない
- 曲げない
- 端子名を確認



電源

- コンデンサを忘れない
- コンデンサの極性に注意

マイクロコントローラは
使用しない

マイクロコントローラの
代わりにタクトスイッチで
動作をエミュレートする

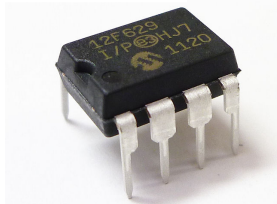


実験1

<実験の目的>

トランジスタを用いてブラシレスDCモータを制御する

ポイント



マイクロコントローラの出力は
5[V]または0[V]

マイクロコントローラの代わりに
タクトスイッチを使う

タクトスイッチを離す=0[V]を出力
タクトスイッチを押す=5[V]を出力

<使用する機材>

トランジスタ

ブラシレスDCモータ(ファン)

抵抗器 3.0[k Ω]

コンデンサ

タクトスイッチ

テスタ

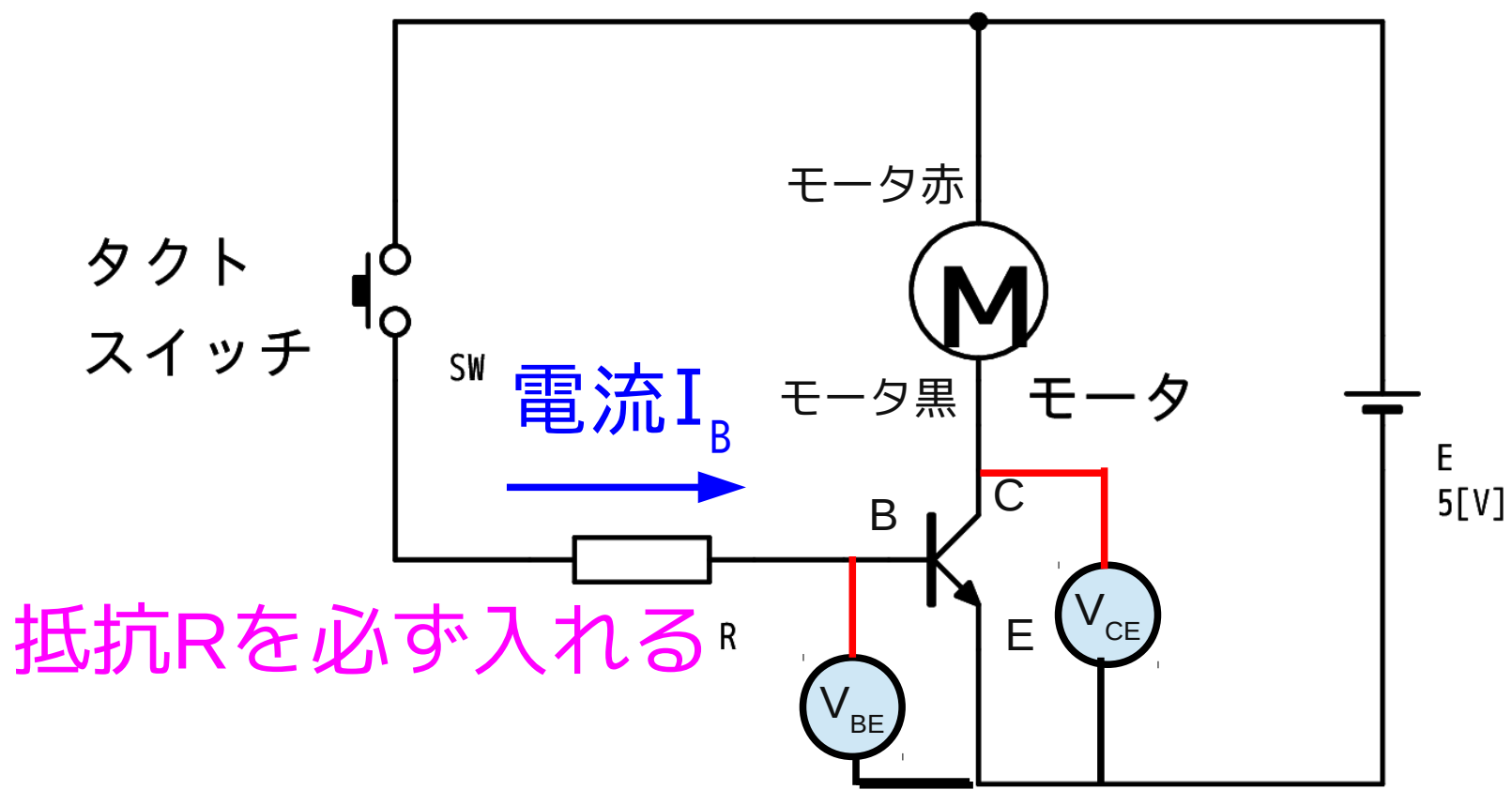
ブレッドボード

ジャンパ線

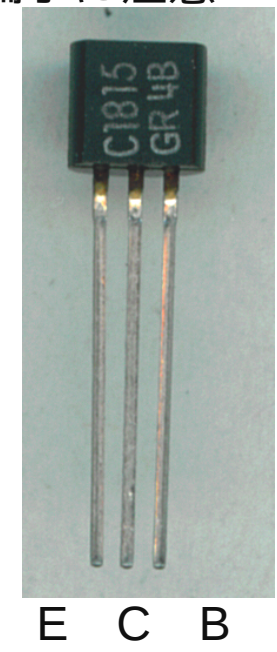
電源(ACアダプタ)



実験回路



トランジスタは
端子に注意





実験手順(10分で完了してください)

1.電源電圧と抵抗の値をテスタで測定

測定後ACアダプタはコンセントから外す

2.ブレッドボード上にコンデンサ、タクトスイッチ、抵抗器、トランジスタ、モータを配置し、結線

3.電源を接続

4.タクトスイッチ(押す・離す)とモータ(回転・停止)を関係を確認

5.タクトスイッチを離した時、電圧 V_{BE} , V_{CE} を測定

6.タクトスイッチを押した時、電圧 V_{BE} , V_{CE} を測定



実験結果

電源電圧E: _____[V] 抵抗R(橙黒赤金): _____[Ω]

タクトスイッチ	モータの状態	電圧 V_{BE} [V]	電圧 V_{CE} [V]	抵抗における 電圧降下 V_R [V]	ベース電流 I_B [mA]
離したとき	回転 停止				
押したとき	回転 停止				

あとで
まとめて計算

← ここまで測定・記入 →



わかったこと

1. タクトスイッチを離す

モータは回らない

ベースエミッタ間電圧は [V]

コレクタエミッタ間電圧は

2. タクトスイッチを押す

モータが回る

ベースエミッタ間電圧は0.6～0.7[V]

コレクタエミッタ間電圧は [V]



わかったこと

1. タクトスイッチを離す

モータは回らない

トランジスタは
OFF状態

ベースエミッタ間電圧 V_{BE} は0[V]

コレクタエミッタ間電圧 V_{CE} は電源電圧に等しい

2. タクトスイッチを押す

モータが回る

ベースエミッタ間電圧 V_{BE} は0.7~0.9[V]

トランジスタは
ON状態

コレクタエミッタ間電圧 V_{CE} は0.1~0.3[V]

V_{CE} は0ではない 通行税みたいなもの



トランジスタの発熱に注意

トランジスタに電流が流れるとき

ベースエミッタ間電圧 $V_{BE} 0.7[V]$
コレクタエミッタ間電圧 $V_{CE} 0.3[V]$ } 程度必要

(コレクタ電流により多少変化)

コレクタ電流 I_C が大きいとき

コレクタエミッタ間電圧 V_{CE} は数ボルトになることもある

コレクタ損失 P_C が大きくなる **トランジスタが発熱する**

$$P_C = V_{CE} \times I_C$$

もうひとつのモータ



ブラシレスDCモータ
精密機械動力
工業製品に多用



ブラシ付きDCモータ
小規模動力(おもちゃ)



ブラシ付きDCモータ 利点・欠点

<利点>

安価
入手が容易
構造が簡単
乾電池で駆動可

<欠点>

小出力
効率が低い
摩耗による劣化
インパルス性雑音を発生

} 電池がすぐになくなる

いずれはモータを交換

高電圧を発生
無線通信(電波)を妨害
コンピュータが誤動作

実は

このモータを使いこなすのはかなり難しい

R-280 仕様

使用電圧範囲: 1.5~3.0V

適正電圧: 3.0V

適正負荷: 1.47mN·m (15.0gf·cm)

無負荷回転数: 8,700r/min

適正電圧・負荷時の回転数: 5,800r/min

適正電圧・負荷時の消費電流: 650mA

シャフト径: 2.0mm

重量: 44g

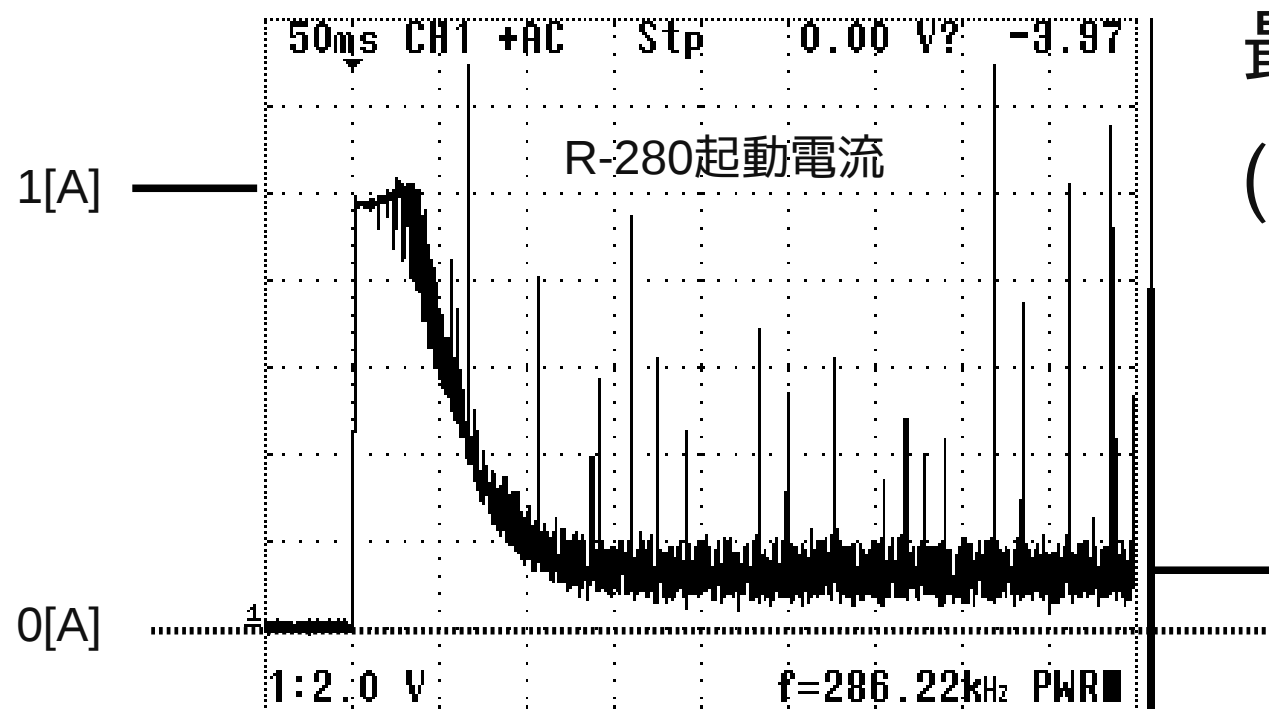
外観寸法: 30.5×24.2mm





ブラシ付きDCモータの性質

- 電池をつなぐとモータ(シャフト)が回転する
- 電池の極性を入れ替えると、モータが逆転する
- モータが回転し始めるときは大きな電流が流れる
- モータに負荷がかかるときは大きな電流が流れる



最初は1[A]

(本当はもっと大きい?)

瞬間的に大きな電流

回転しているときは
110[mA](無負荷時)
(100ミリ秒後に安定)



R-280 仕様

使用電圧範囲: 1.5~3.0V

適正電圧: 3.0V

適正負荷: 1.47mN·m (15.0gf·cm)

無負荷回転数: 8,700r/min

適正電圧・負荷時の回転数: 5,800r/min

適正電圧・負荷時の消費電流: 650mA

シャフト径: 2.0mm

重量: 44g

外観寸法: 30.5×24.2mm



始動電流は
記載がない



DCモータの制御は難しい

- モータは急に回らないし、急に止まらない
- 回転数を制御するには？
「滑らかな加速、滑らかな減速、静かに停止」
このような制御はとても難しい

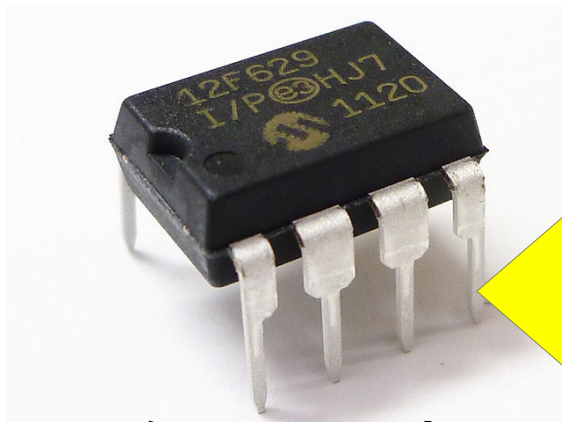
今日使うのは模型用モータ(おもちゃ)
→回ればいい
難しいことは考えない



マイクロコントローラで モータを制御する

マイクロコントローラでモータをON/OFFしたい

マイクロコントローラでモータを正回転・逆回転したい

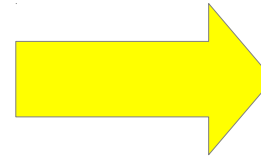
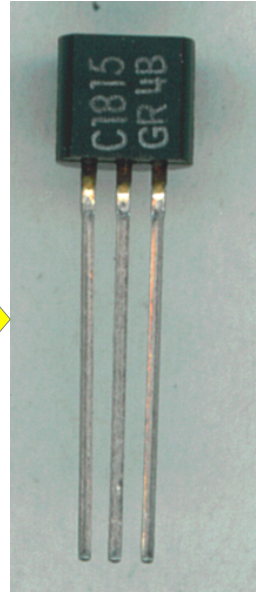
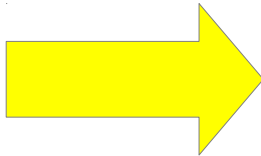
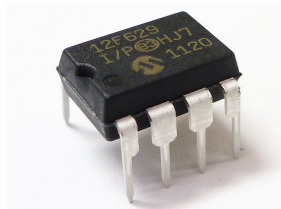


マイクロコントローラ

直接モータを接続する？



トランジスタを使う



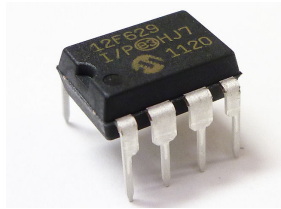
コンピュータで
トランジスタを駆動

ベース電流10[mA]

トランジスタを
ON/OFFして
モータを制御

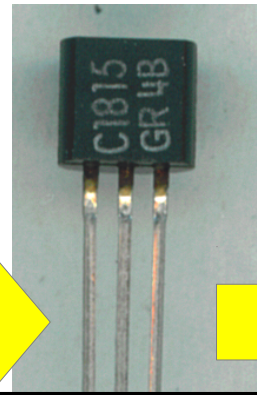
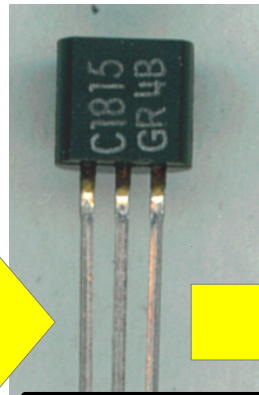
コレクタ電流 = モータに流れる電流 1[A]

コントローラ出力電流を小さくしたい



コントローラで
トランジスタ1を駆動

ベース電流0.1[mA]
コレクタ電流10[mA]



トランジスタ1で
トランジスタ2を駆動

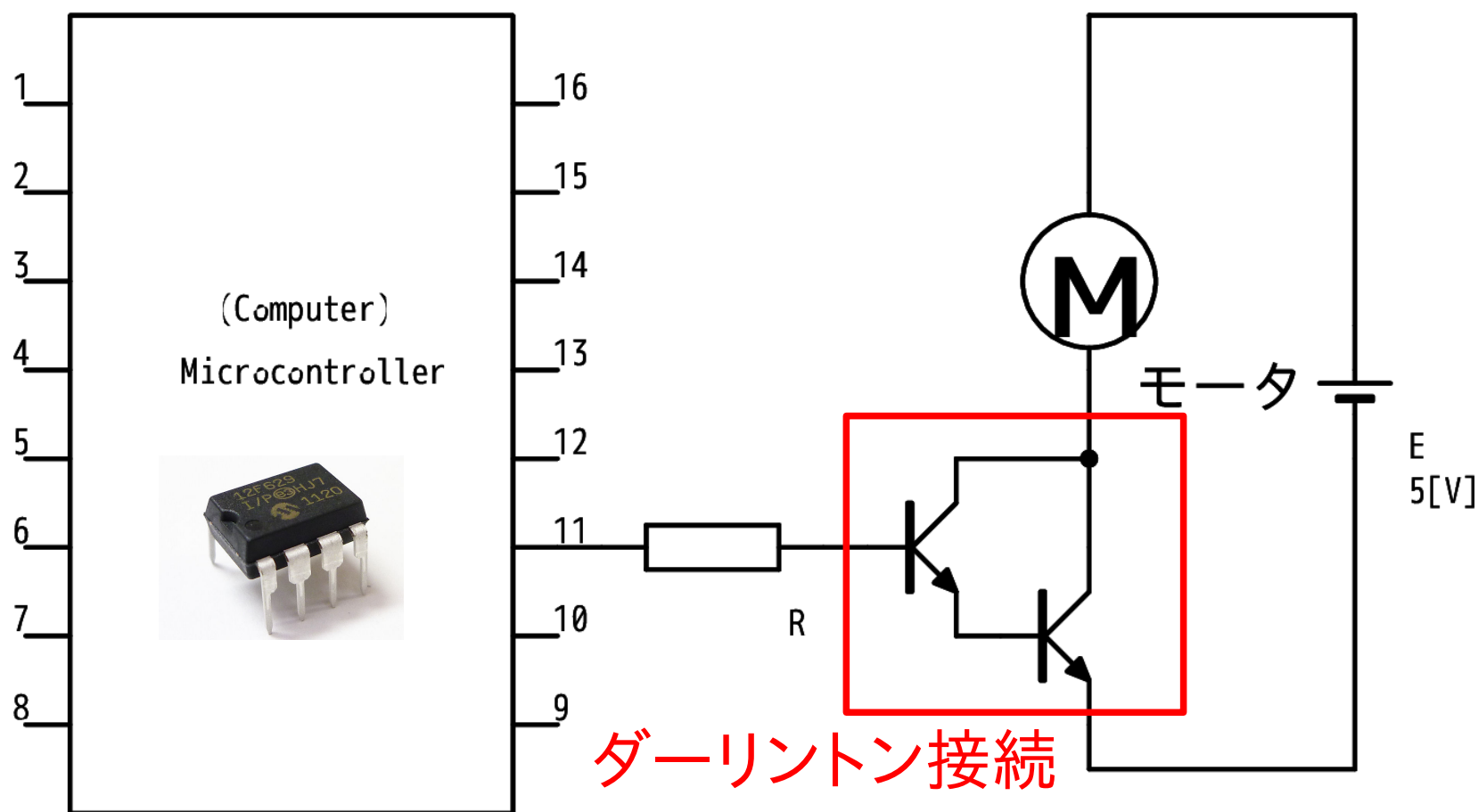
ベース電流10[mA]
コレクタ電流1[A]



トランジスタ2で
モータを制御



トランジスタ2つでダーリントン接続



memo: トランジスタ2つをダーリントン接続はあまり使用しません(おもちゃではときどき見ます)
工業製品では電界効果トランジスタを使用する場合が多い

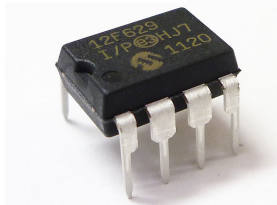


実験2

<実験の目的>

トランジスタを用いてブラシ付きDCモータを制御する

ポイント



マイクロコントローラの出力は
5[V]または0[V]

マイクロコントローラの代わりに
タクトスイッチを使う

タクトスイッチを離す=0[V]を出力
タクトスイッチを押す=5[V]を出力

<使用する機材>

トランジスタ

ブラシ付きDCモータ

抵抗器 3.0[k Ω]

コンデンサ

タクトスイッチ

テスタ

ブレッドボード

ジャンパ線

電源(ACアダプタ)



R-280 仕様

使用電圧範囲: 1.5~3.0V

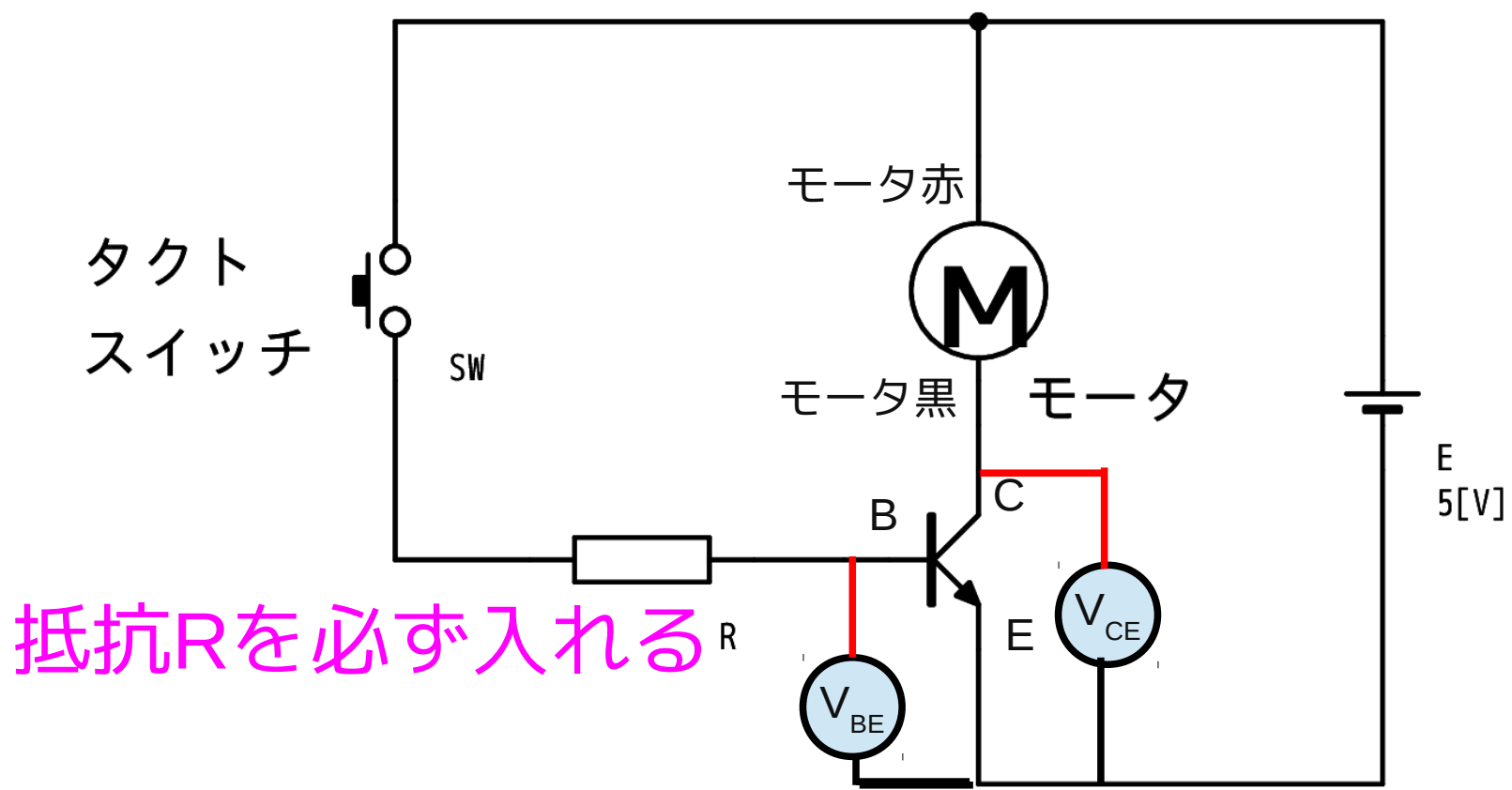
適正電圧: 3.0V



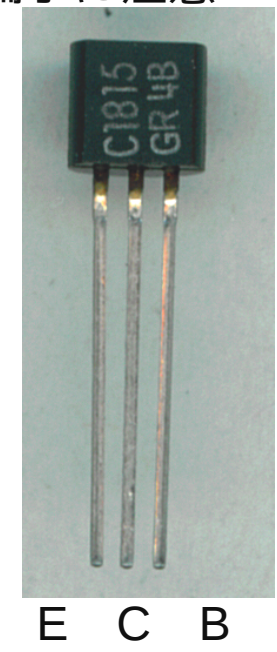
今日は
5[V]で
実験します



実験回路



トランジスタは
端子に注意





実験手順

1. 電源電圧と抵抗の値をテスタで測定

測定後ACアダプタはコンセントから外す

2. ブレッドボード上にコンデンサ、タクトスイッチ、抵抗器、トランジスタ、モータを配置し、結線

3. 電源を接続

4. タクトスイッチを離した時、電圧 V_{BE} , V_{CE} を測定

モータの状態(回転・停止)を確認



実験手順

5. タクトスイッチを押した時、電圧 V_{BE} , V_{CE} を測定

モータの回転状態(回転・停止)を確認

6. タクトスイッチを押した状態を3分間維持した後、電源を切る

7. 素早く手でトランジスタに触れ、温度変化を観測する



実験結果

電源電圧E: _____[V] 抵抗R(橙黒赤金): _____[Ω]

タクトスイッチ	モータの状態	電圧 V_{BE} [V]	電圧 V_{CE} [V]	抵抗における 電圧降下 V_R [V]	ベース電流 I_B [mA]
離したとき	回転 停止				
押したとき	回転 停止				

あとで
まとめて計算

← ここまで測定・記入 →



わかったこと

1. タクトスイッチを離す

モータは回らない

ベースエミッタ間電圧は0[V]

トランジスタは
OFF状態

コレクタエミッタ間電圧は電源電圧に等しい

2. タクトスイッチを押す

モータは回らない

ベースエミッタ間電圧は0.7~0.9[V]

コレクタエミッタ間電圧は4~5[V]

トランジスタは
ON状態

トランジスタが
熱くなる

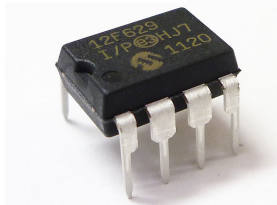


実験3

<実験の目的>

抵抗を交換し、トランジスタを用いてブラシ付きDCモータを制御する

ポイント



マイクロコントローラの出力は
5[V]または0[V]

マイクロコントローラの代わりに
タクトスイッチを使う

タクトスイッチを離す=0[V]を出力
タクトスイッチを押す=5[V]を出力

<使用する機材>

トランジスタ

ブラシ付きDCモータ

抵抗器 300[Ω]

コンデンサ

タクトスイッチ

テスタ

ブレッドボード

ジャンパ線

電源(ACアダプタ)



実験手順

8. 抵抗を $300[\Omega]$ に交換する

9. タクトスイッチを押した時、電圧 V_{BE} , V_{CE} を測定

モータの回転状態(回転・停止)を確認



実験結果

電源電圧E: _____[V] 抵抗R(橙黒赤金): _____[Ω]

タクトスイッチ	モータの状態	電圧 V_{BE} [V]	電圧 V_{CE} [V]	抵抗における 電圧降下 V_R [V]	ベース電流 I_B [mA]
離したとき	回転 停止				
押したとき	回転 停止				

あとで
まとめて計算

← ここまで測定・記入 →



実験手順

8. 抵抗を $300[\Omega]$ に交換する

9. タクトスイッチを押した時、電圧 V_{BE} , V_{CE} を測定

モータの回転状態(回転・停止)を確認

10. タクトスイッチを押した状態を3分間維持した後、電源を切る

11. 素早く手でトランジスタに触れ、温度変化を観測する



わかったこと

1. タクトスイッチを離す

モータは回らない

ベースエミッタ間電圧は0[V]

トランジスタは
OFF状態

コレクタエミッタ間電圧は電源電圧に等しい

2. タクトスイッチを押す

モータが回る

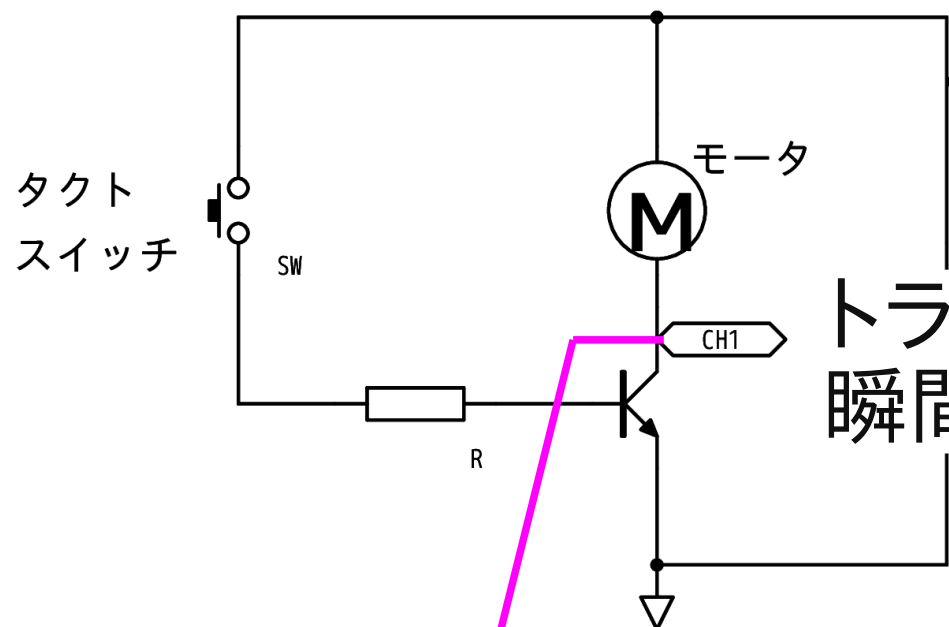
ベースエミッタ間電圧は0.7~0.9[V]

コレクタエミッタ間電圧は0.1~0.3[V]

トランジスタは
ON状態

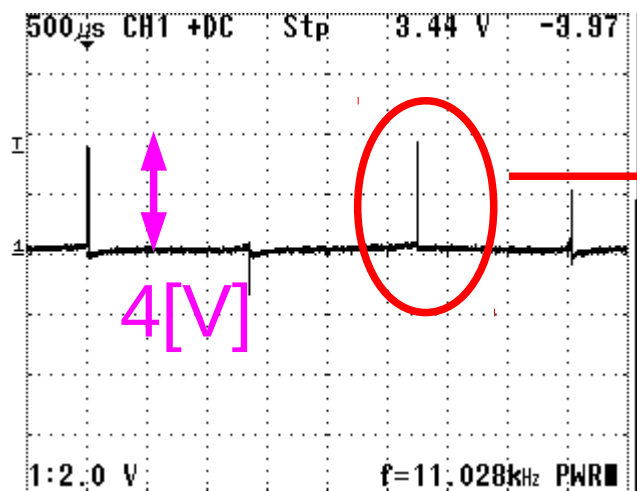


ブラシ付きモータが発生する雑音

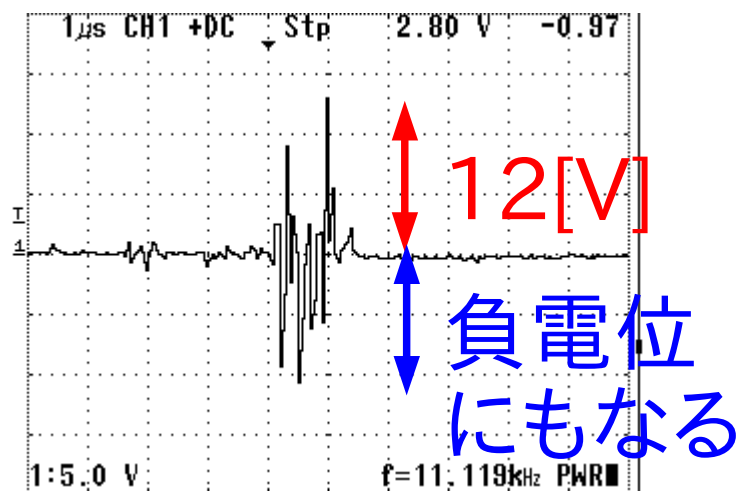


ブラシ付きモータは
雑音が発生する

トランジスタ(CE間)には
瞬間的に大きな電圧がかかる

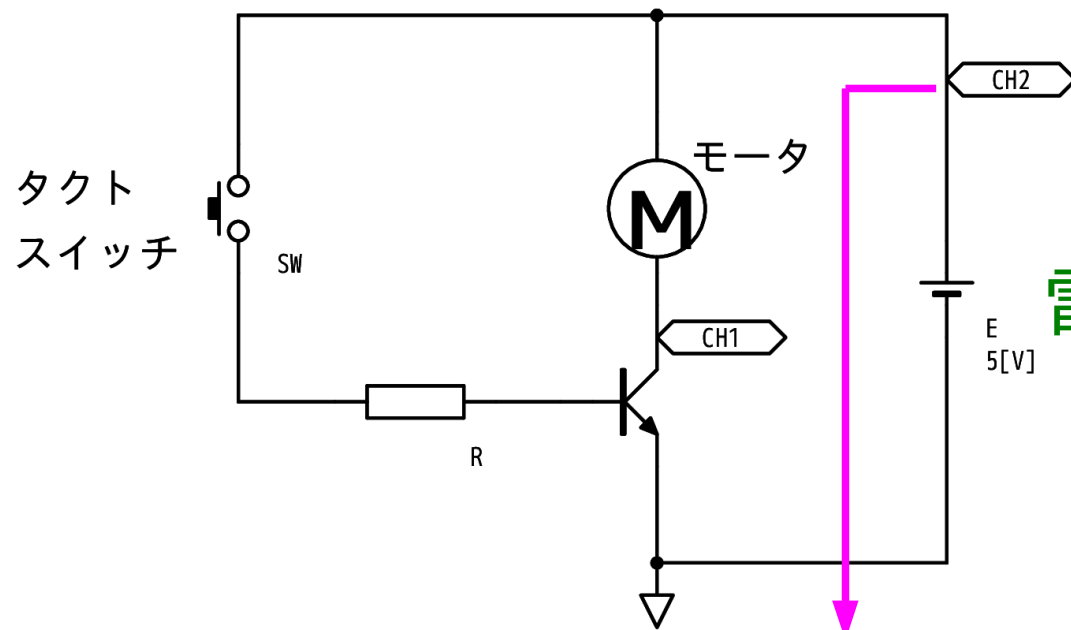


よくみると





電源電圧は5[V]でない

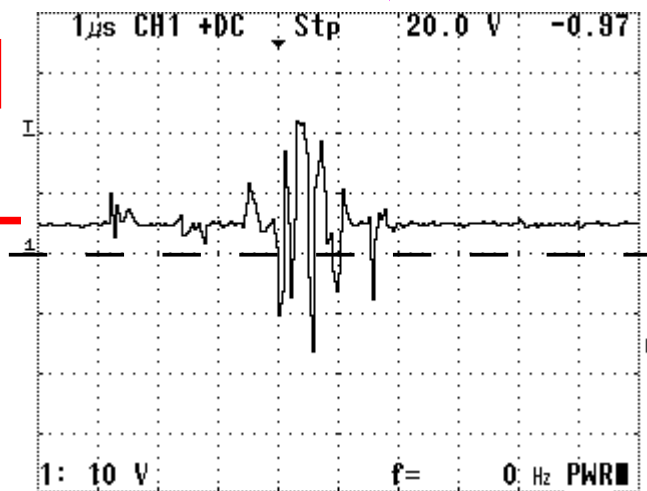


モータが発生した雑音で
電源電圧が変動する

電源電圧は5[V]
だと思っていた

電源電圧は5[V]

基準電位0[V]



瞬間的に20[V]を超える
-16[V]になることもある

コンピュータや
コントローラが壊れる

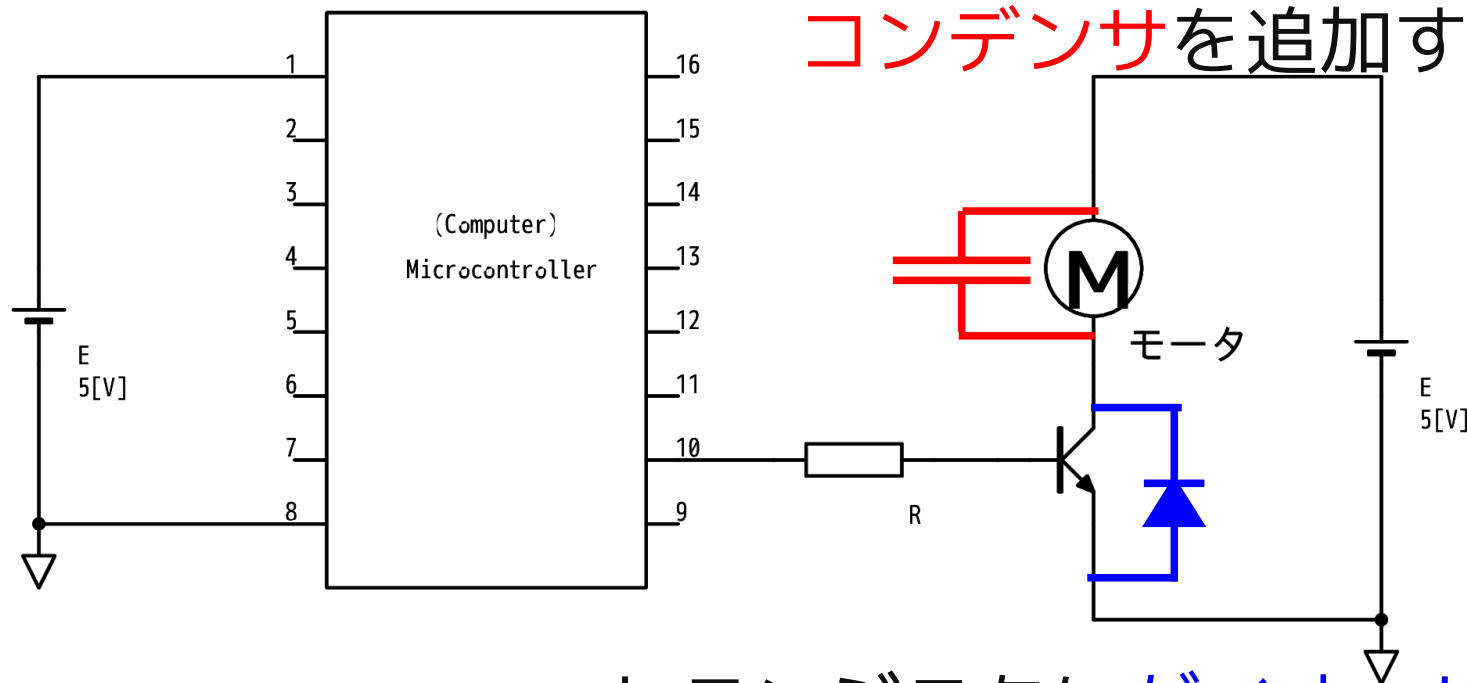


雑音を軽減する

モータが発生する雑音を軽減するためには

- コンデンサ
 - ダイオード
- } 詳しくは3年生以降

雑音を軽減させるために
コンデンサを追加する

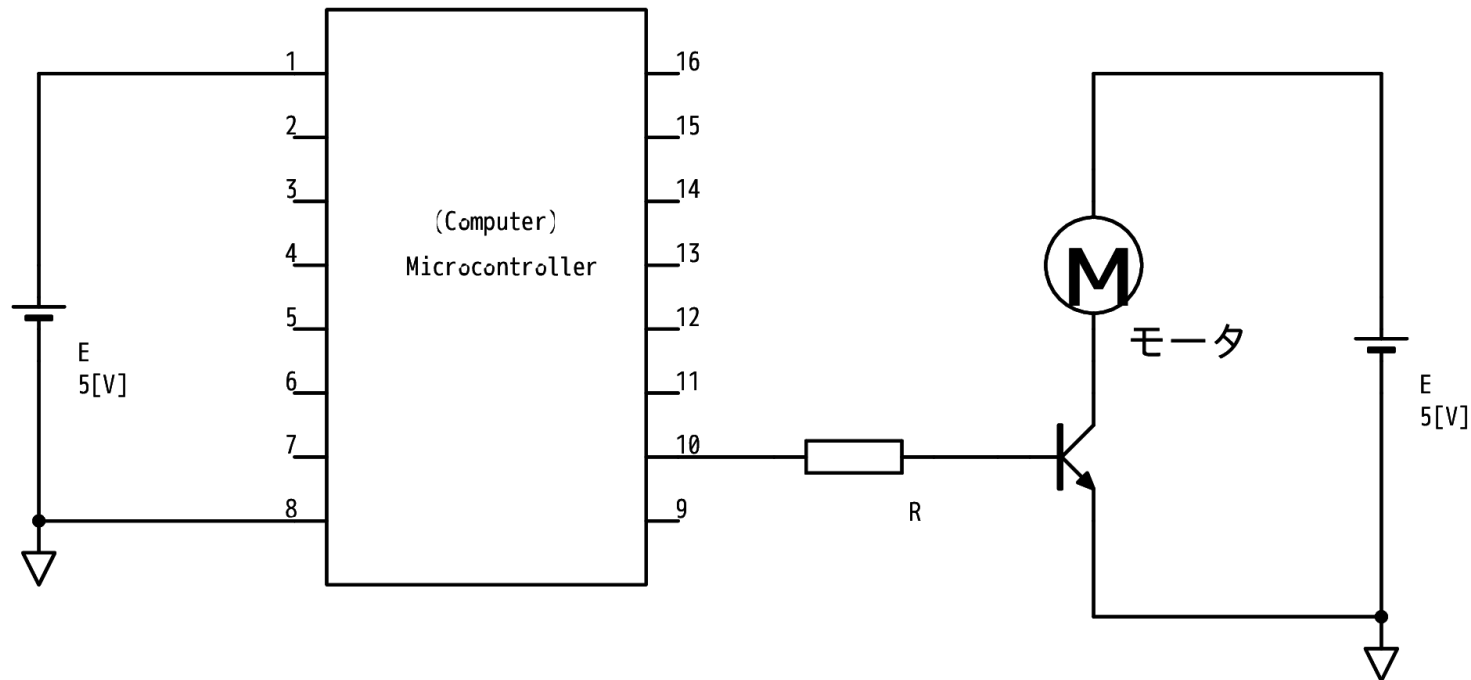


トランジスタにダイオードを追加



モータの電源は分離する

マイクロコントローラ(コンピュータ)の電源は
モータと別に用意する

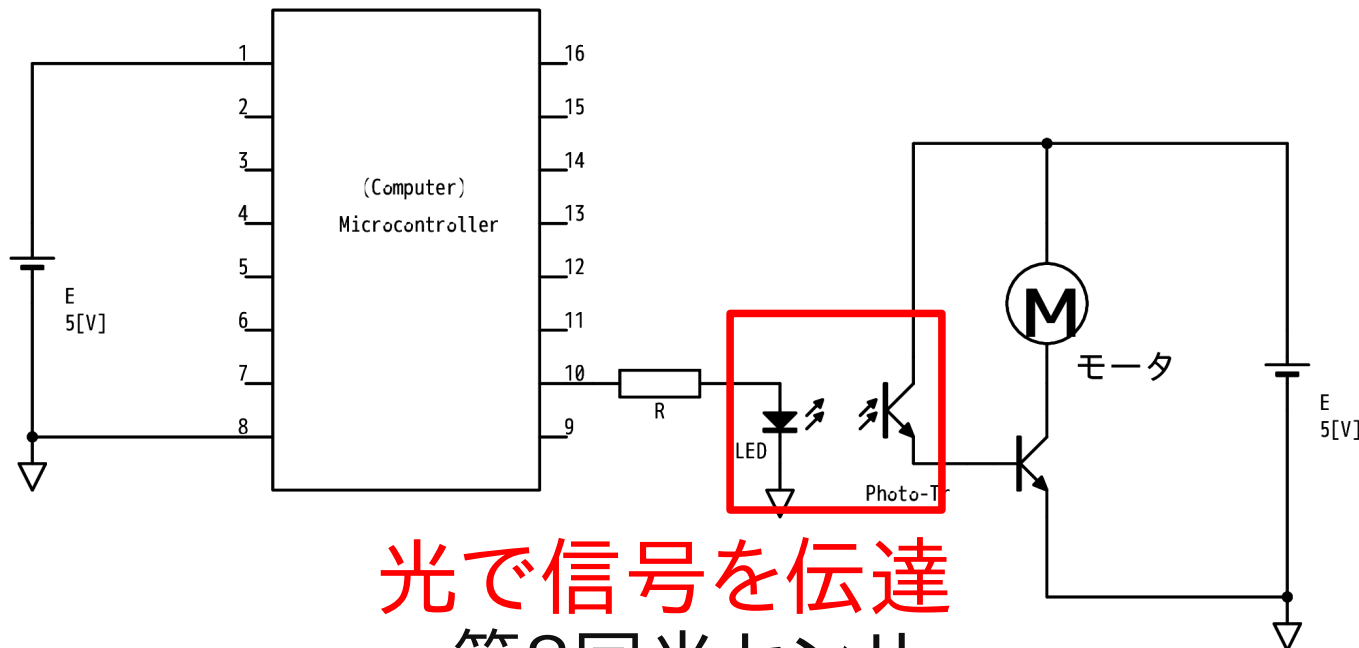




モータとコントローラを絶縁する

最も安全な方法

マイクロコントローラ(コンピュータ)は
モータと電氣的に接続しない





現実:電源を2つ用意できない

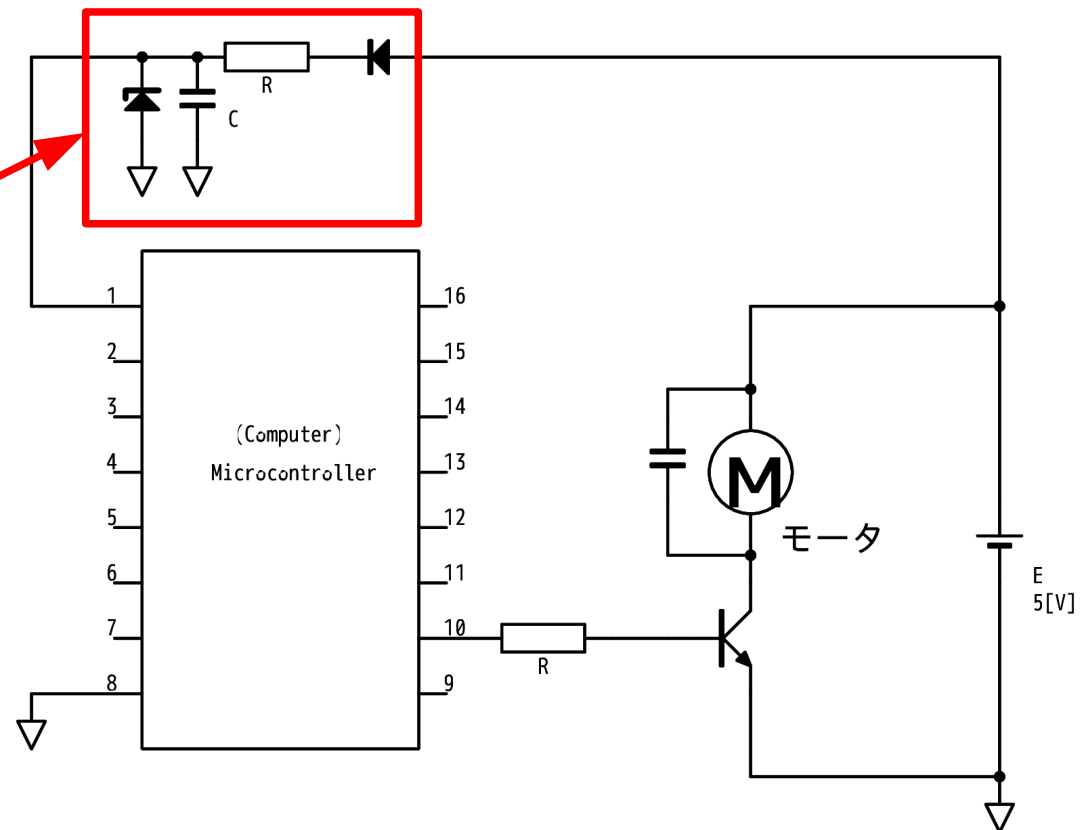
電源を2つ用意できない場合もある

マイクロコントローラの電源電圧を工夫する

(モータが回転しても電源電圧が変動しない)

この回路は3年生で
学習してください

生産システム創造実験1で
必要になります



まとめ

- マイクロコントローラの出力行は小さいのでモータを直接駆動することはできない

マイクロコントローラで()を駆動する

()でモータを駆動する

- 大きなモータを制御するには()が必要
- モータは()が大きい
- モータを制御するには十分な()が必要
- ()が少ないとモータは回転しない
- モータが回転すると()



まとめ

- マイクロコントローラの出力行は小さいのでモータを直接駆動することはできない

マイクロコントローラで(トランジスタ)を駆動できる

(トランジスタ)でモータを制御することができる

- 大きなモータを制御するには(電力用トランジスタ)が必要
- モータは(始動電流)が大きい
- モータを制御するには十分な(ベース電流)が必要
- (ベース電流)が少ないとモータは回転しない
- モータが回転すると(雑音が発生する)
電源電圧が変動する



宿題

- 抵抗のカラーコードを覚える

黒 茶 赤 オレンジ 黄 緑 青 紫 灰 白

- キルヒホッフの法則を理解する(使いこなせる)