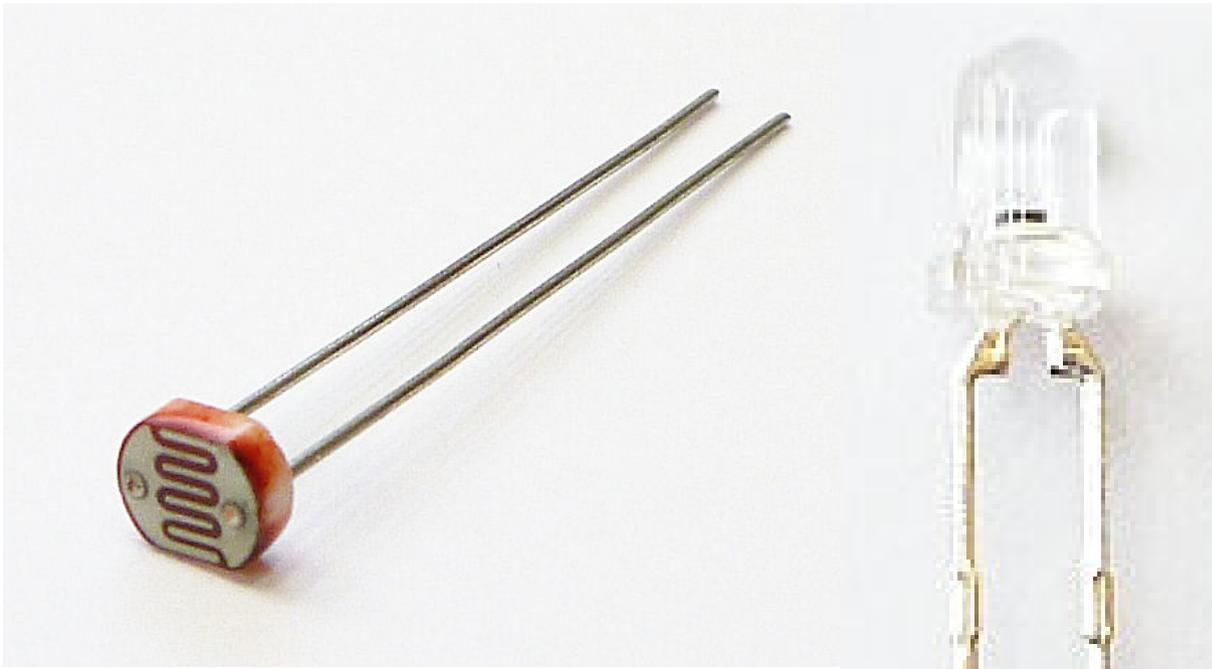




# センシング基礎演習(第9回)

## 第9回 光センサ (担当 高橋)





# シラバスより(抜粋)

学習内容      光センサ(担当 高橋)

具体的な行動達成目標

CdSセルを用いてトランジスタのON/OFF制御回路を設計、制作することができる

LEDとフォトトランジスタによる絶縁手段を理解できる



# 第9回 光センサ

光センサ分類

CdSセル

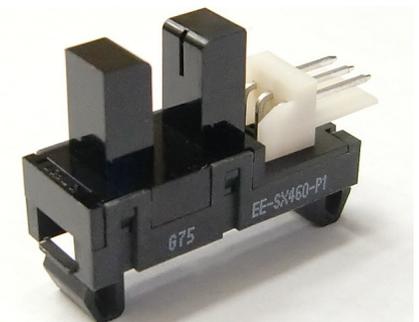
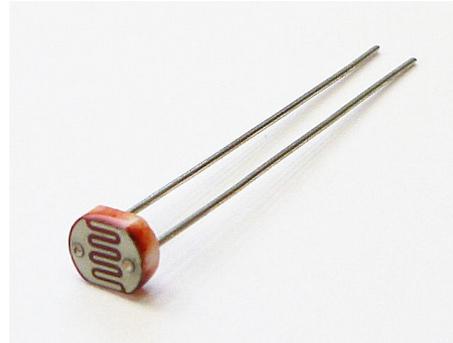
フォトトランジスタ

LED+フォトトランジスタ

光センサ応用

基礎実験 基本特性(CdSセル,フォトトランジスタ)

応用実験 フォトトランジスタ,CdSセルを使う





# 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、テスタの使い方
- 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(前回までの講義)  
トランジスタによるスイッチング  
LED回路



# 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 テスタ 電源装置 抵抗器

LED トランジスタ

CdSセル フォトトランジスタ フォトカプラ

## 筆記用具

ペンを使用 (鉛筆・シャープペンシルは片付ける)

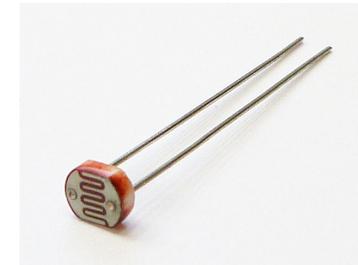


# 光センサ 分類

光センサは3つに分けることができる

光が当たるとを受けると

- 抵抗値が変化する
- 起電力が発生する



CdSセル

太陽電池    フォトダイオード

CCD

CIS(CMOSイメージセンサ)

- スイッチ動作する(ONになる)

フォトランジスタ    フォトサイリスタ



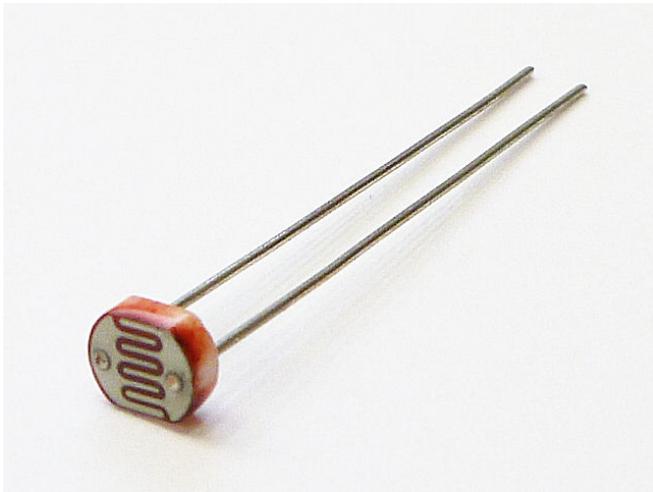


# CdSセル

- 硫化カドミウムCdSを使用した素子
- 受光すると抵抗値が小さくなる



図記号



銀色の部分は電極

茶色の部分が  
硫化カドミウム  
(化合物半導体)

顔料(カドミウムイエロー)として画材屋で購入できます



# 雑学:半導体材料

## 半導体材料

- IV属半導体      Si, Ge      現在の半導体製品
- 化合物半導体
  - III-V属半導体      GaN, GaInAs, InP, GaAs, ...  
LED, 超高速コンピュータ
  - II-VI属半導体      ZnO, ZnS, CdS, ...  
光センサ、温度センサ、EL
- 有機半導体      有機物であり半導体  
OFET, OLED(EL), 太陽電池



# データシートで確認(MI527)

- 外形
- 電気的光学的特性
  - ◆ 最大電圧
  - ◆ 最大電力
  - ◆ ピーク波長
  - ◆ 明抵抗
  - ◆ 暗抵抗
  - ◆ 応答時間
- スペクトル特性



# 電氣的・光学的特性

## 電氣的光学的特性

最大電圧 150[V]

最大電力 100[mW]

ピーク波長 540[nm] (緑色光で最大感度)

明抵抗 10-20[k $\Omega$ ] 照度10[Lux]\*時の抵抗値

暗抵抗 1[M $\Omega$ ] 真っ暗になったときの抵抗値  
無限に大きいわけではない

※10[Lux]はろうそくから20cm程度の明るさ、夕方(日没後30分程度)の明るさ  
実験室の照度は200から500[Lux]程度  
緑色光( $\lambda=555$ [nm])で1[Lux]=1.46[mW/m<sup>2</sup>]



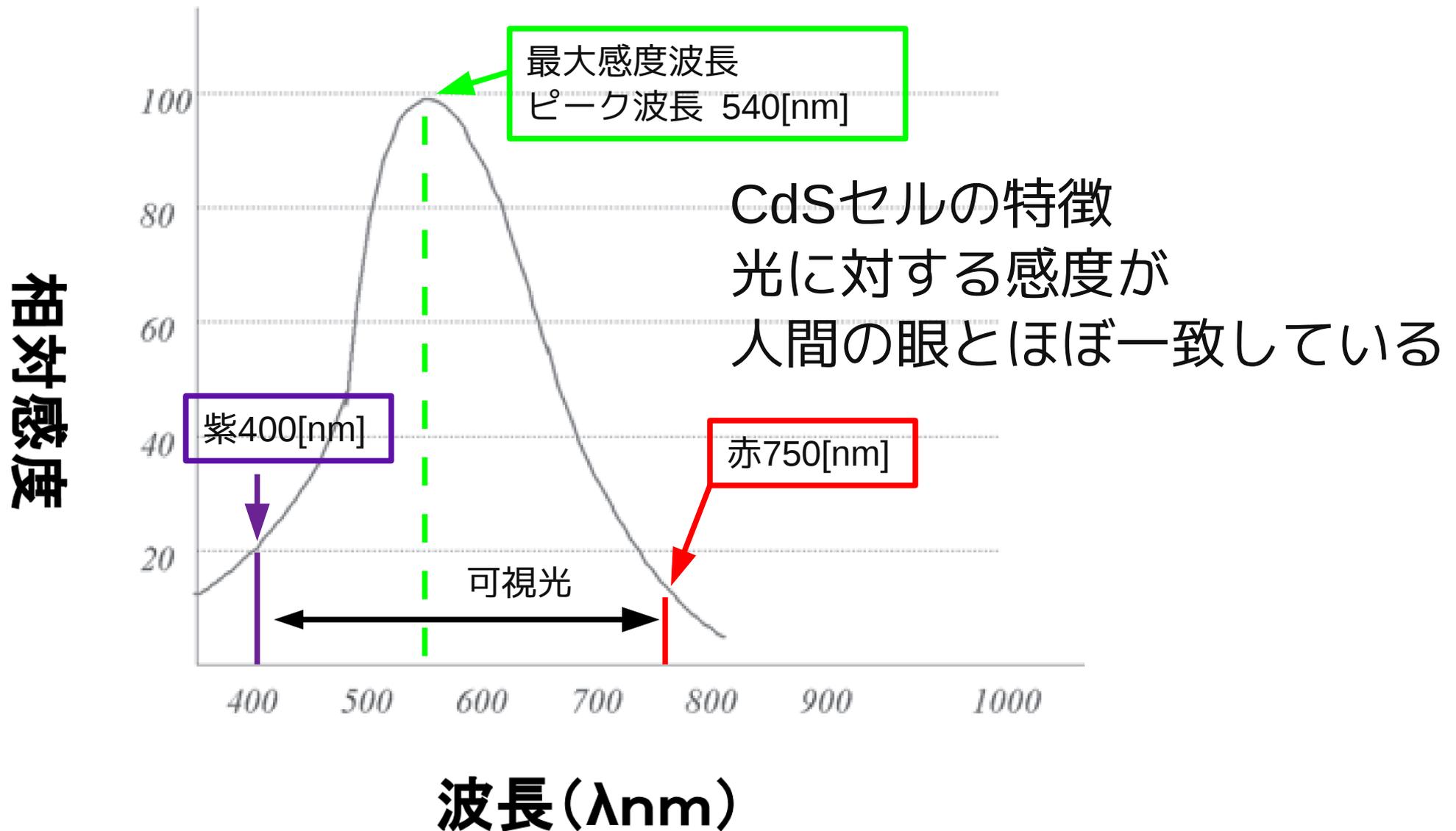
# 抵抗値の目安 (MI527)

- 太陽光                    100～300[Ω]
- 室内環境光              1～3[kΩ]
- 手で覆う                 10～100[kΩ]

製品によって抵抗値は異なる



## スペクトル特性





# フォトトランジスタ

外観はLEDと同じ



名前は  
トランジスタだけど  
端子は2本

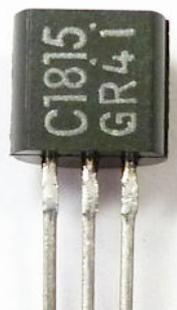
エミッタ

コレクタ



# トランジスタとフォトトランジスタの違い

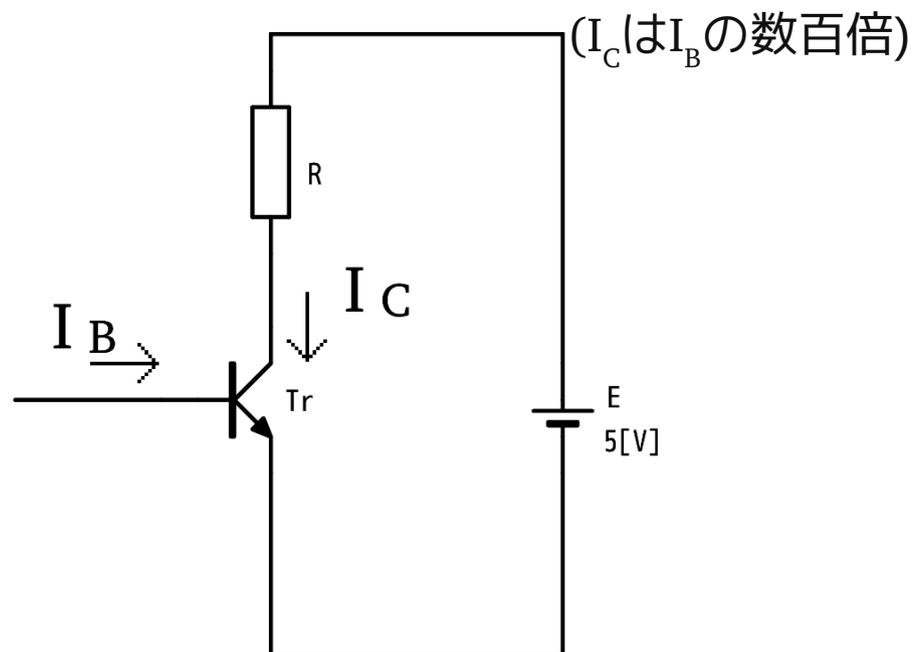
トランジスタ



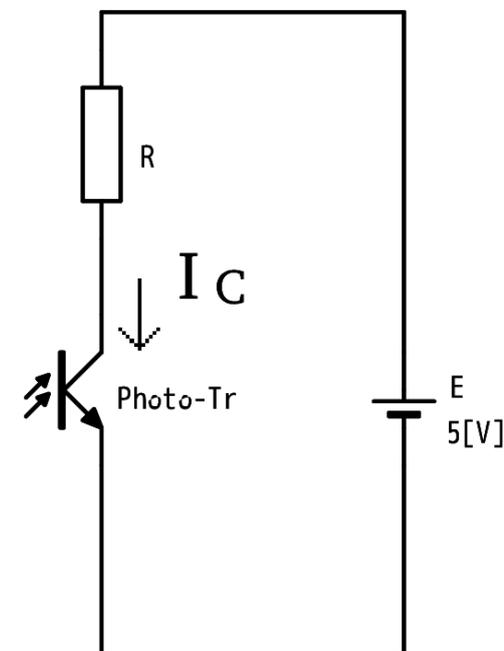
フォトトランジスタ



ベース電流 $I_B$ が流れるとON  
コレクタ電流 $I_C$ は数mA～数A

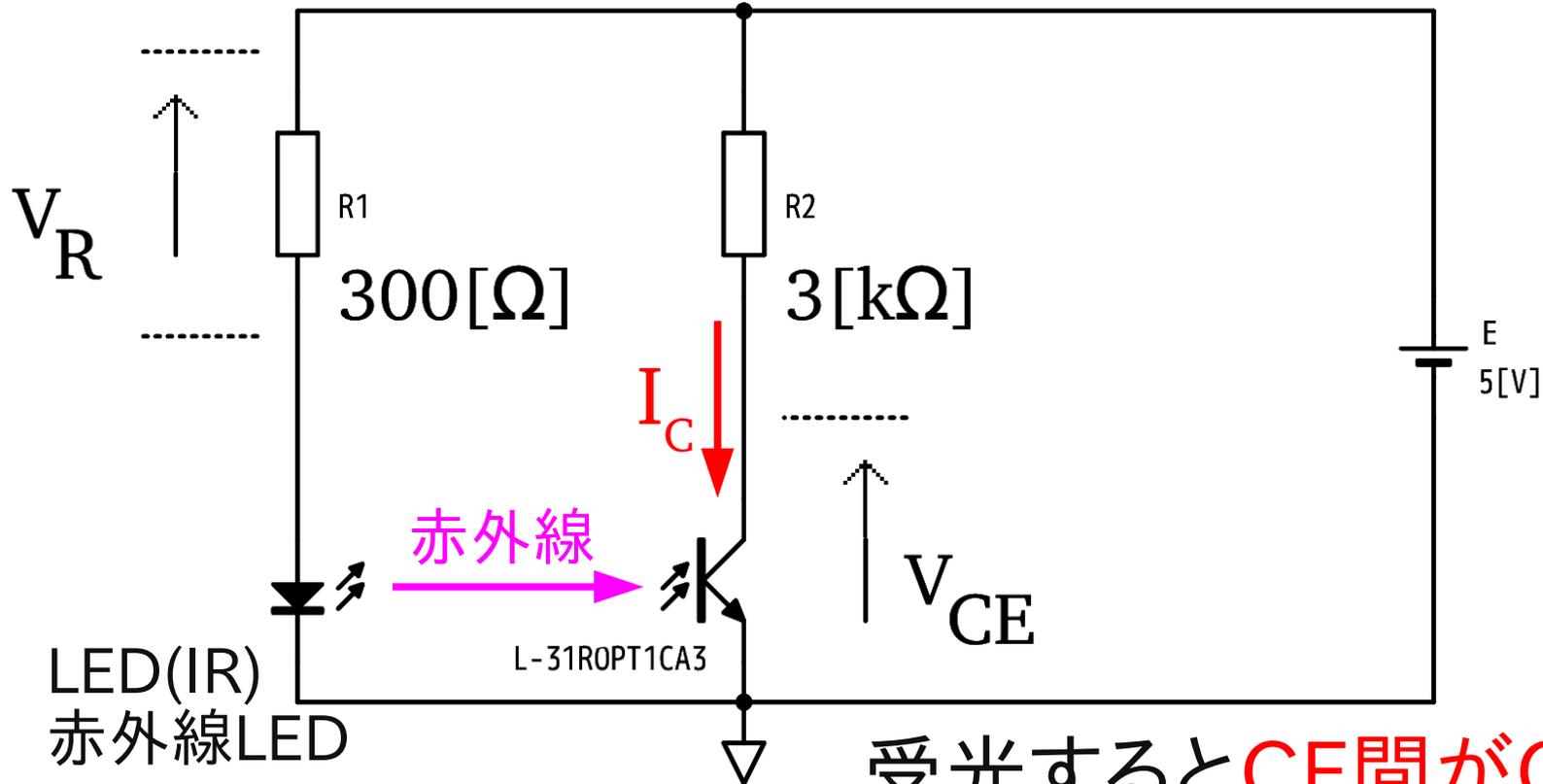


受光するとON  
コレクタ電流 $I_C$ は数mA





# フォトトランジスタの使い方



受光するとCE間がON

$V_{CE}$ はほぼ0[V]

$I_C$ が流れる(数ミリアンペン)



# データシートで確認(L-31ROP1C)

- 外形
- 最大定格(ABSOLUTE MAXIMUM RATING)
- 電気的光学的特性  
(ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS)
- グラフ Fig4, Fig5, Fig6
- LEAD STRENGTH(p9)

端子を曲げるな! 広げるな!



# 最大定格

- $P_D$  Power Dissipation  
消費電力 10[mW]
- $V_{(BR)CEO}$  Collector-Emitter Breakdown Voltage  
コレクタエミッタ間降伏電圧 30[V]



# 電氣的光学的特性

- $V_{(BR)CEO}$  Collector-Emitter Breakdown Voltage  
コレクタエミッタ間降伏電圧 30[V]

- $BV_{ECO}$  Emitter-Collector Breakdown Voltage  
エミッタコレクタ間降伏電圧 5[V]

コレクタとエミッタを間違えると壊れる



# 電氣的光学的特性

- $I_{CEO}$  Collector Dark Current  
コレクタ闇電流 100[nA]
- $V_{CE(S)}$  Collector-Emitter Saturation Voltage  
コレクタエミッタ間飽和電圧 0.4[V]  
(CE間は完全なON状態ではない)



# 電気的光学的特性

- $I_C$

On Stat Collector Current

オン状態コレクタ電流 4[mA]

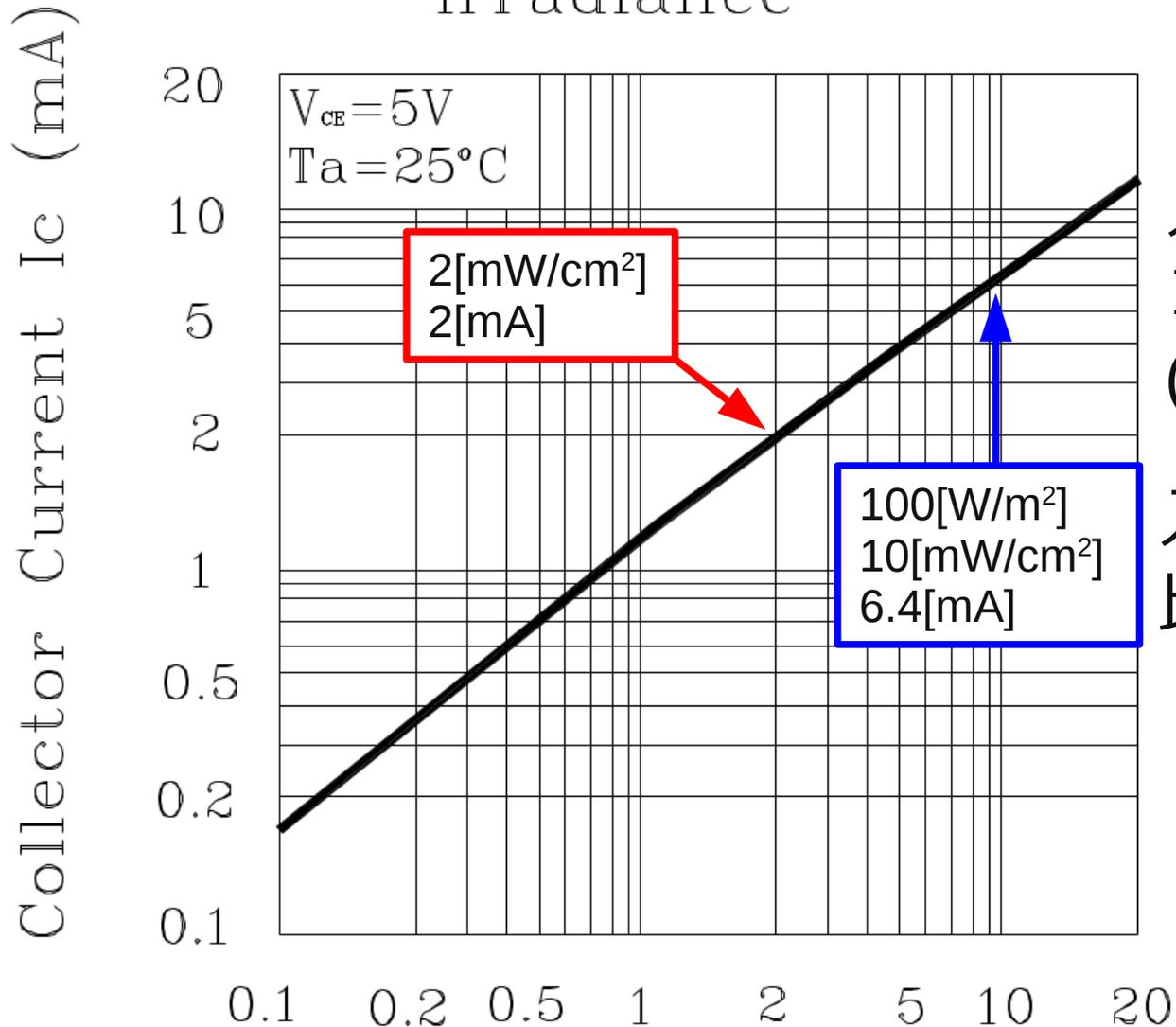
- $\lambda_P$

Wavelength of Peak Sensitivity

最大感度波長 940[nm] 可視光線では使わない  
赤外線で使用できる



Fig. 4 Collector current vs Irradiance



入射光が強くなると  
コレクタ電流が増える  
(ONになる)

入射光とコレクタ電流は  
比例しない

$$I_C = 1.2 \times E_e^{0.73} \quad (1 \leq E_e)$$

参考:

太陽定数 1367[W/m<sup>2</sup>]

Irradiance  $E_e$ (mW/cm )

**Irradiance  $E_e$ [mW/cm<sup>2</sup>]**

軸名と単位が間違っています  
放射強度 Irradiance  
単位は[mW/cm<sup>2</sup>]



Fig. 5 Spectral Sensitivity

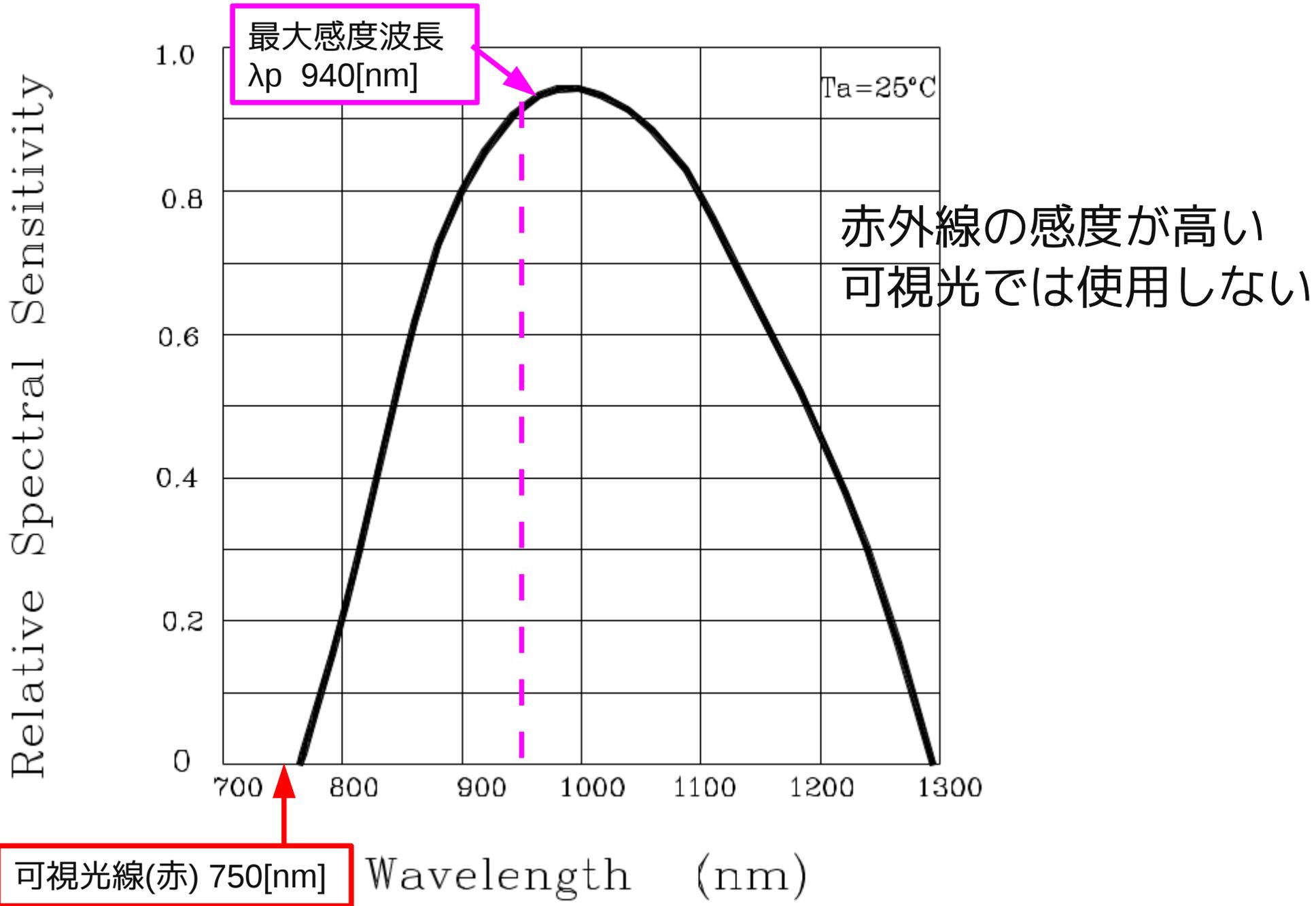
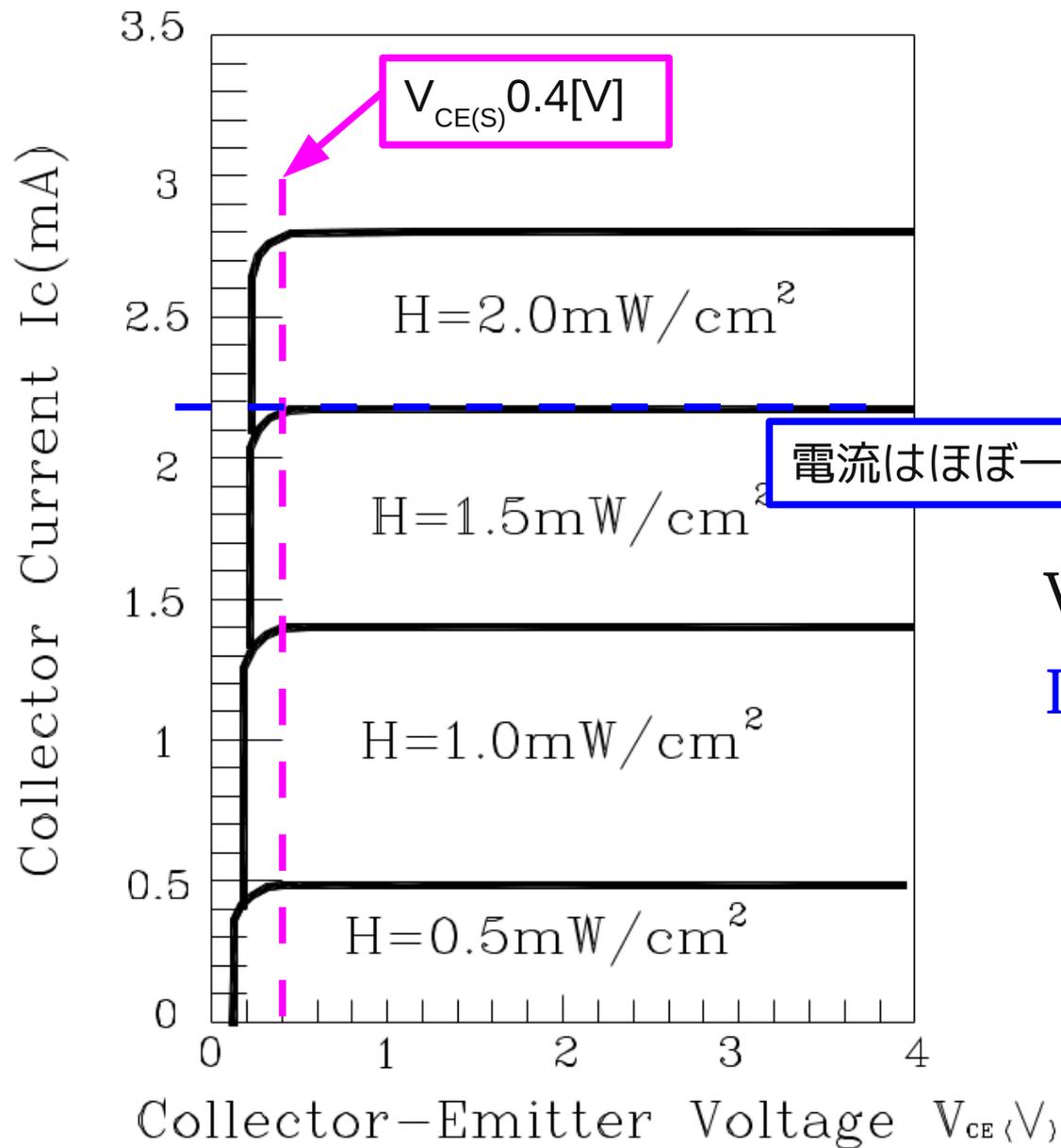




Fig. 6 Collector Current vs  
Collector-Emitter Voltage



ON状態でも

$V_{CE}$  は  $0.2 \sim 0.4 \text{ [V]}$  程度必要

電流はほぼ一定

$V_{CE}$  が  $0.4 \text{ [V]}$  以上であれば

$I_c$  はほぼ一定



# 端子を曲げるな!

# 広げるな!

## •LEAD STRENGTH

### 1) Bend strength

Do not bend the lead more than twice. (Fig.9)

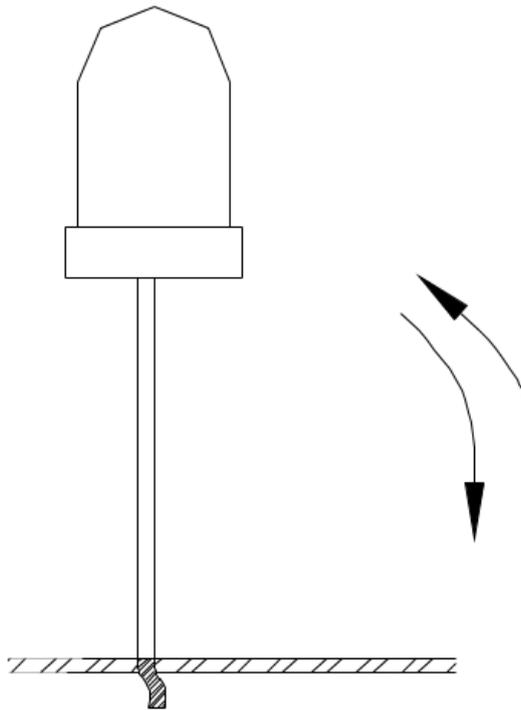


Fig.9



# LED+フォトトランジスタ

## LEDとフォトトランジスタを組み合わせる

基本は同じ

使い方と見た目が違う

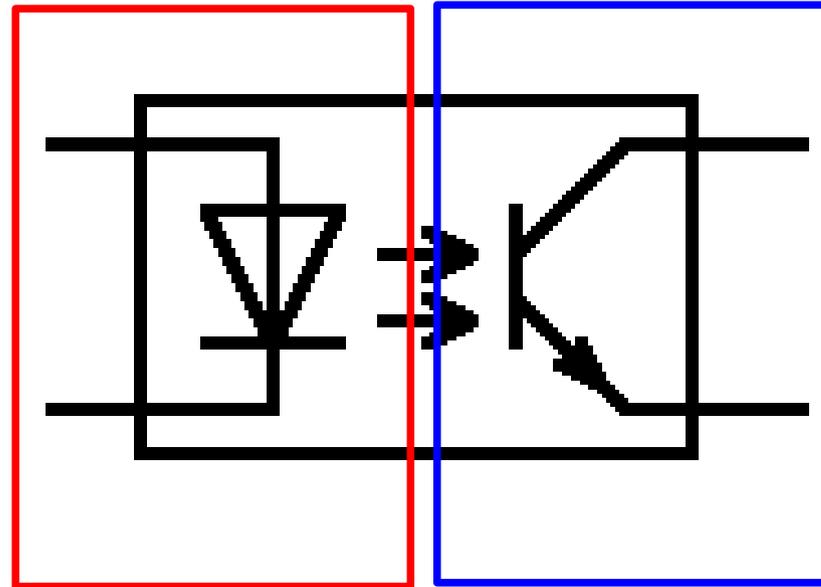
### 新しいデバイス

- フォトカプラ → 第7回
- フォトインタラプタ → 第10回
- フォトリフレクタ (たぶん3年生?)
- 距離センサ → 第14回



# フォトカプラ

LED+フォトトランジスタ=フォトカプラ



電氣的に絶縁したい  
信号は伝達したい

LED(IR)  
電気→光

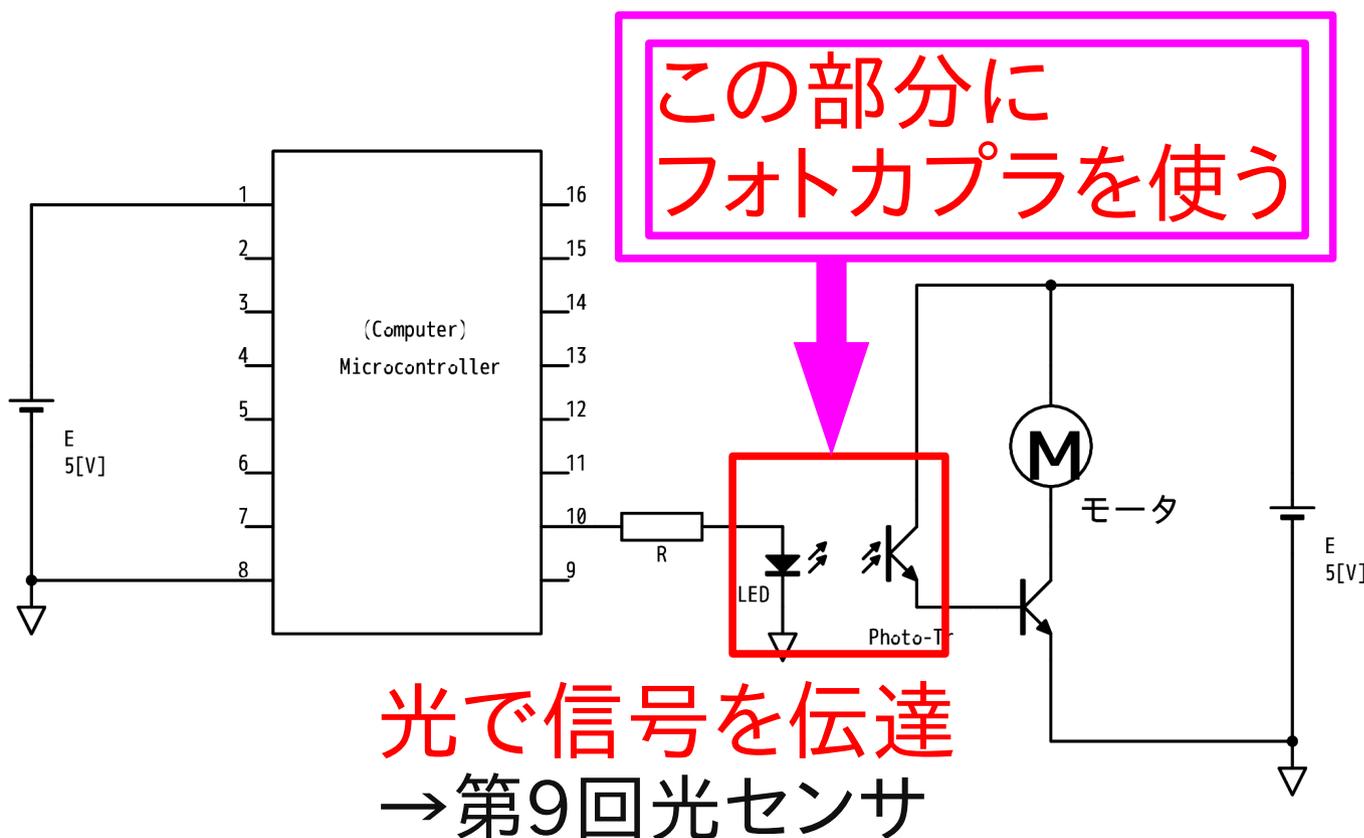
フォトトランジスタ  
光→電気



# モータとコントローラを絶縁する

## 最も安全な方法

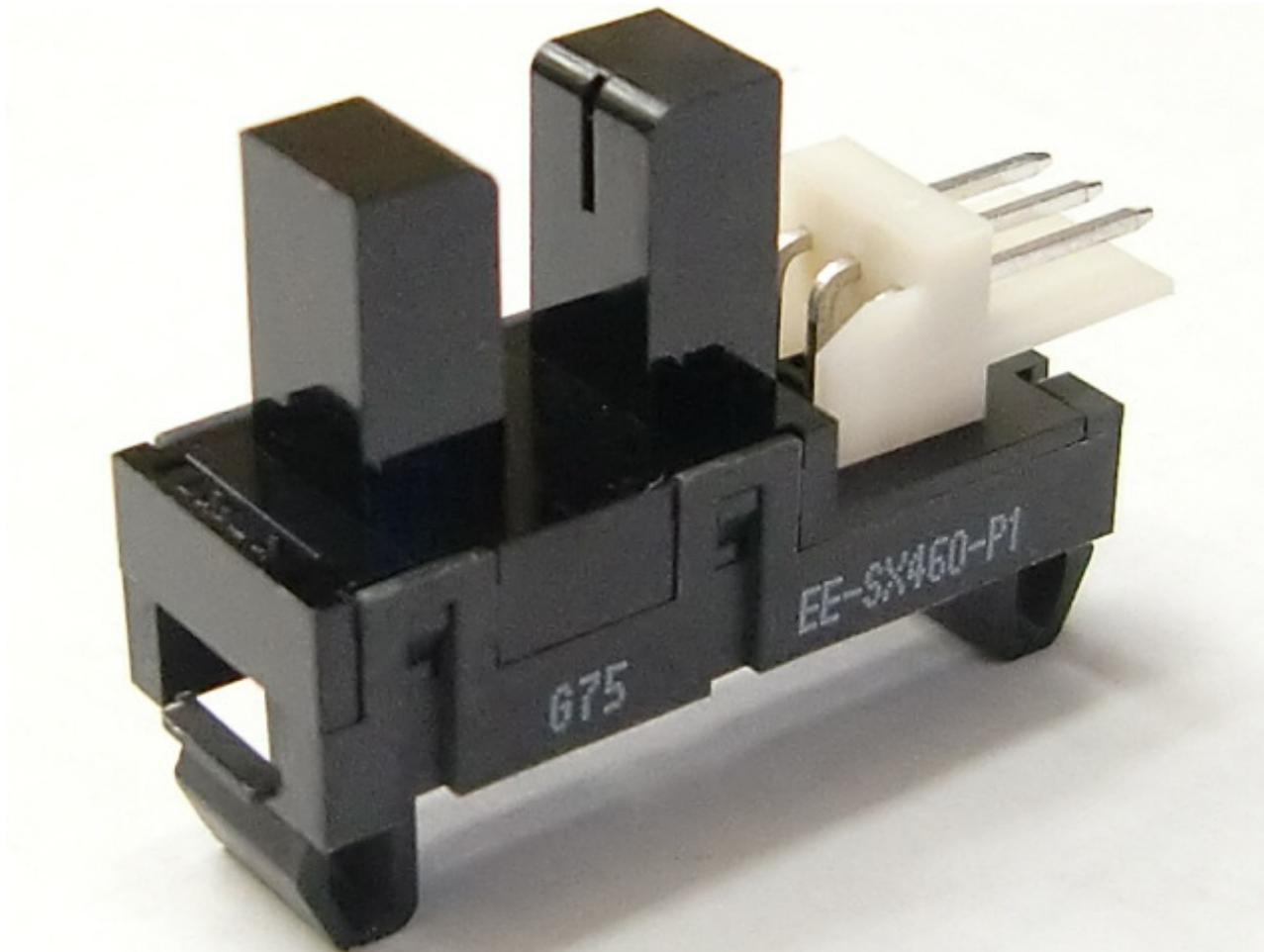
マイクロコントローラ(コンピュータ)は  
モータと電氣的に接続しない





# フォトインタラプタ (透過型フォトマイクロセンサ)

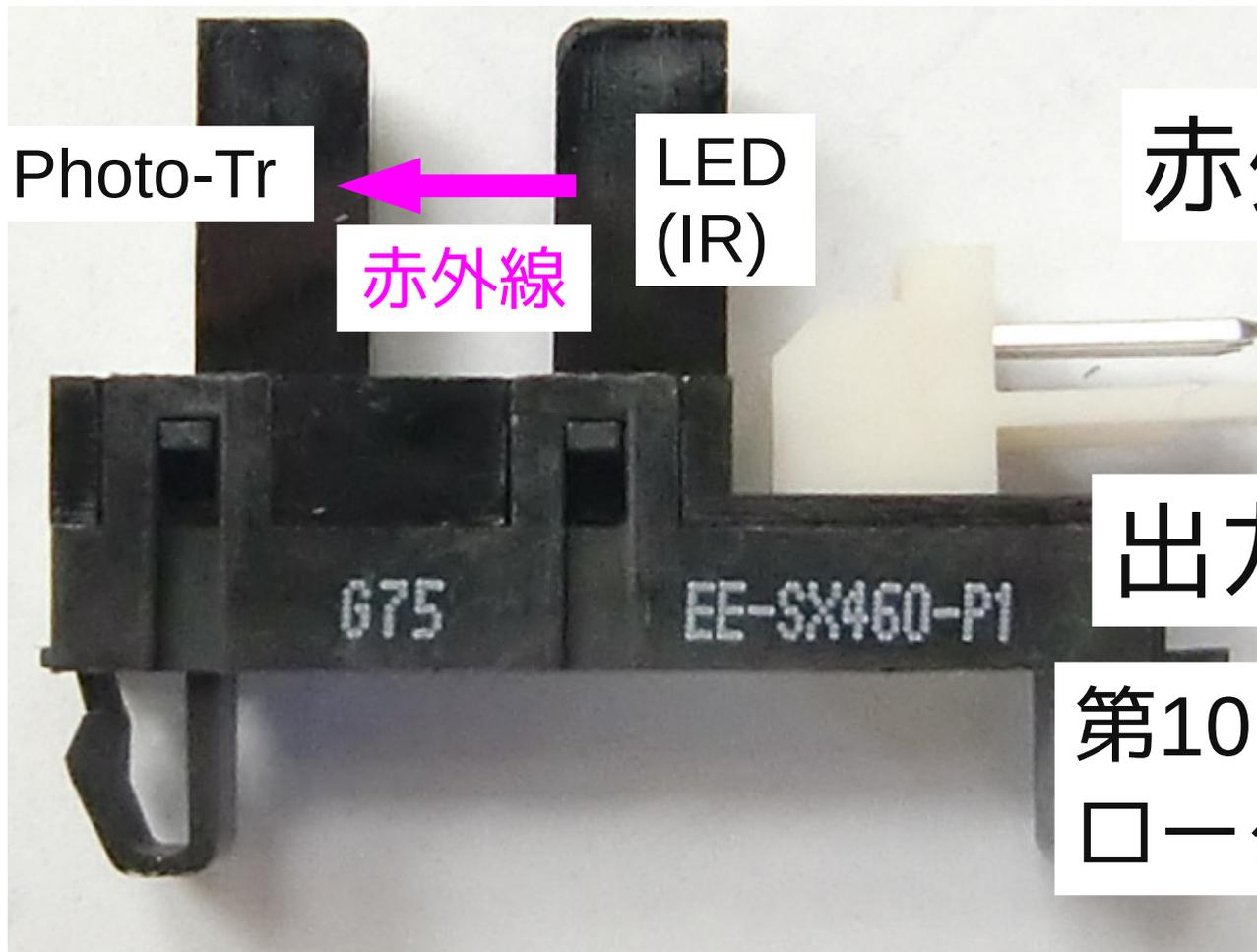
LED+フォトトランジスタ=フォトインタラプタ



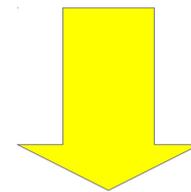


# フォトインタラプタ (透過型フォトマイクロセンサ)

LED+フォトトランジスタ=フォトインタラプタ



赤外線を遮断



出力端子に信号

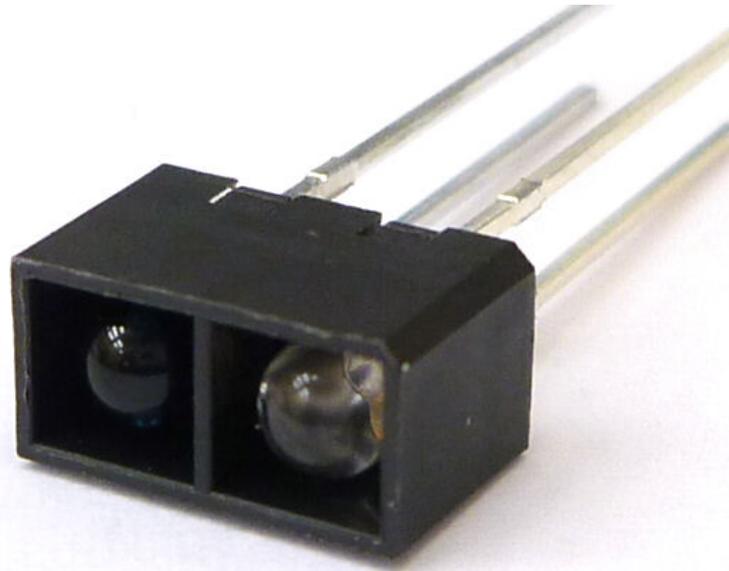
第10回

ロータリーエンコーダ



# フォトリフレクタ

LED+フォトトランジスタ=フォトリフレクタ

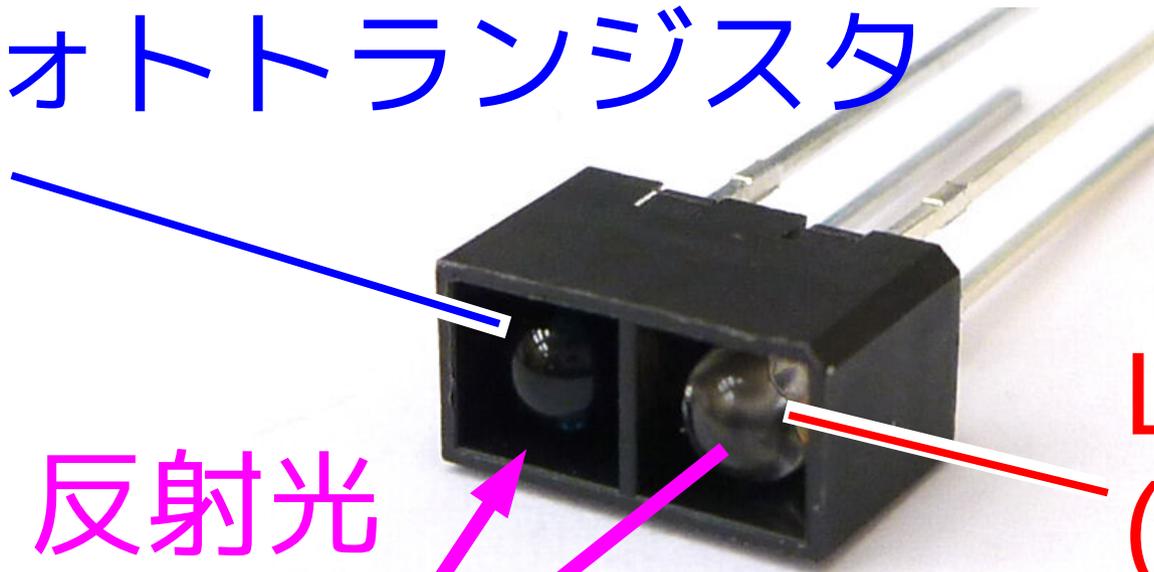




# フトリフレクタ

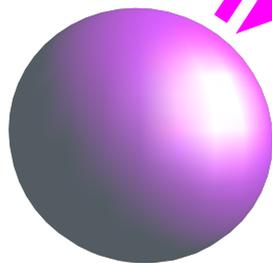
LED+フォトトランジスタ=フトリフレクタ

## フォトトランジスタ



反射光

LED  
(IR)



照射光

用途  
近接センサ  
ライントレーサカー



# 距離センサ(測距モジュール)

LED+フォトトランジスタ=測距モジュール



LED  
(IR)

位置検出素子PSD  
(フォトトランジスタ多数)

※距離センサにはいろいろあり、光を使用しないものものもある。

- ・ 超音波を使う距離センサ
- ・ 光を使うがPSDを使用しないものもある。
- ・ 電波を使う距離センサ



# 光センサ応用(受光)

- 照明制御(暗いとき点灯、明るいとき消灯)
- いろいろなセンサ  
近接センサ 煙検知器 放射線X線センサ
- データ通信(光通信)受光器
- 絶縁デバイス(フォトカプラ) → 第7回  
電氣的に絶縁しているが信号は伝送したい
- フォトインタラプタ → 第10回ロータリーエンコーダ
- 距離センサ → 第14回距離センサ



# 光センサ応用(受光)

- ライトレーサカー
- デジタルカメラ
- ビデオカメラ
- スキャナ
- 携帯端末(赤外線通信・カメラ・画面の明るさ制御)



# 光センサ応用(受光以外の応用)

光を受けない使い方

- 放射線センサ

遮光した光センサに放射線が入ると、光が入射したときと同じ動作をする



# 基礎実験

- 実験 素子の基本的な特性を理解する
  - ◆ CdSセル
  - ◆ フォトトランジスタ



# 基礎実験(CdSセル)

テストでCdSセルの抵抗値を測定する

- 1.環境光(蛍光灯)で、CdSセルの抵抗値を測定
- 2.CdSセルを手で覆い、CdSセルの抵抗値を測定



# 基礎実験 (CdSセル)

条件	CdS抵抗値
環境光(蛍光灯)	1.234 [kΩ]
CdSセルを手で覆う	156.7 [kΩ]

電圧や抵抗は適切なレンジで測定する

不適切なレンジで測定すると精度(桁数)が不足する



# 基礎実験 (フォトトランジスタ)

1. 電源電圧、抵抗値をテスタで測定
2. フォトトランジスタ、抵抗をブレッドボードに配置、結線
3. LED(IR)でフォトトランジスタを照らし、 $V_{CE}$ を測定  
 $R_D$ にかかる電圧 $V_R$ を測定
4. LED(G)でフォトトランジスタを照らし、 $V_{CE}$ を測定  
 $R_D$ にかかる電圧 $V_R$ を測定

LED(IR):赤外線LED

LED(G):緑色LED



# 実体配線図(フォトトランジスタ)

端子は

曲げるな  
広げるな

端子の識別は  
リングに着目  
(データシート)

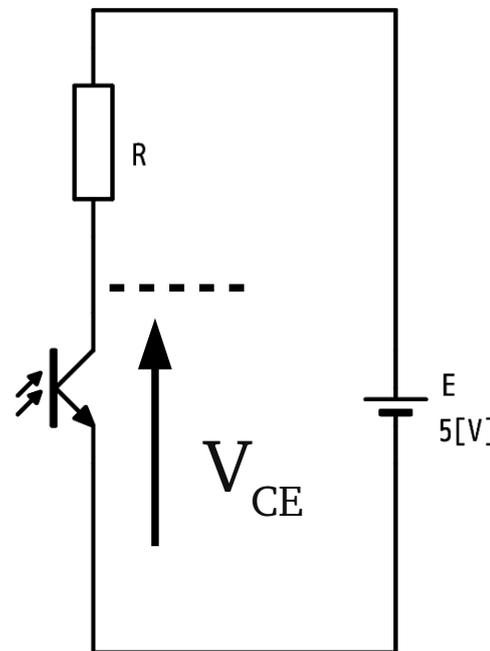


コレクタ

エミッタ

抵抗3k[Ω]

テスタ  
(電圧計)



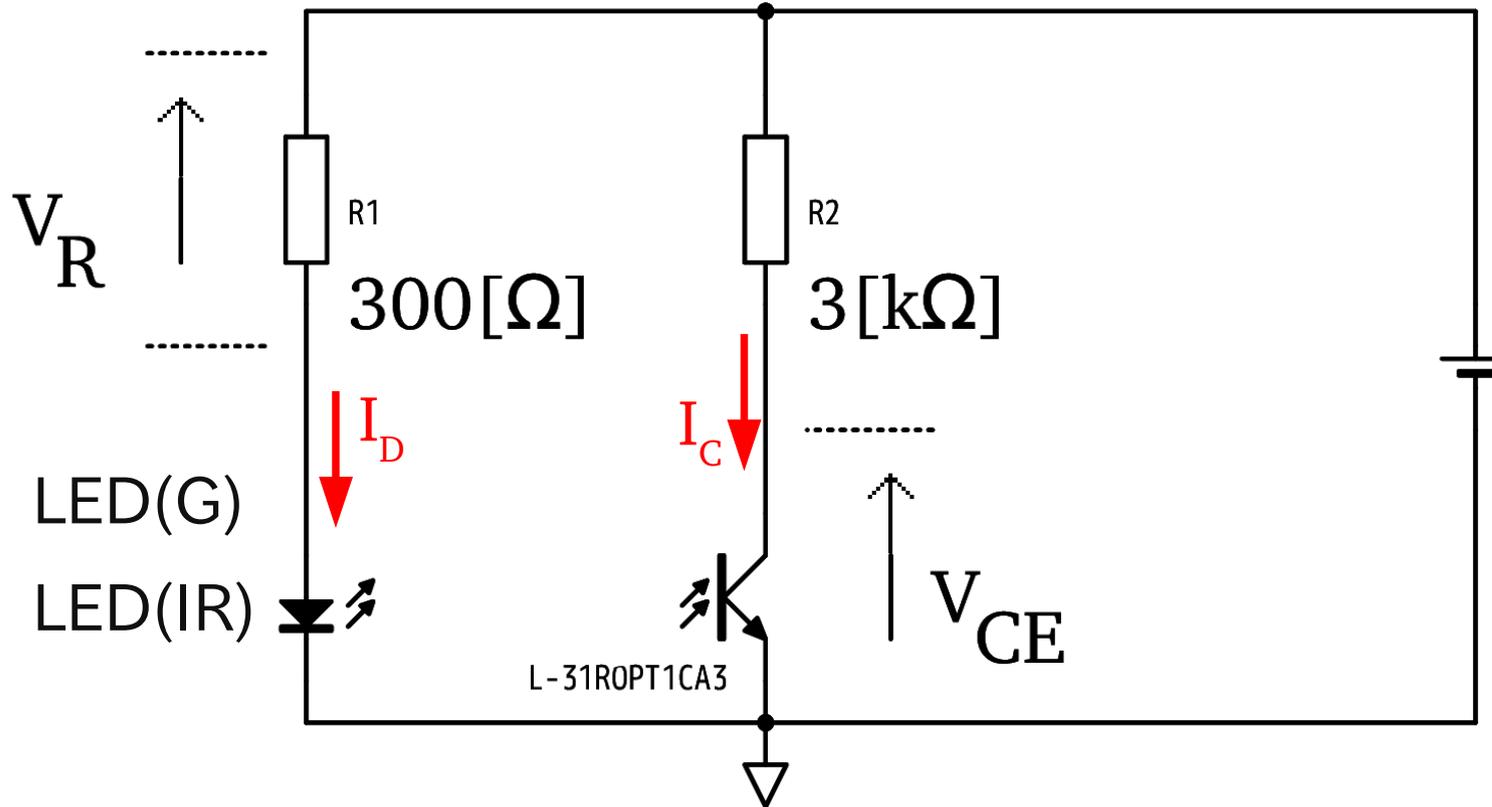


LED フォトトランジスタは  
端子を曲げるな! 広げるな!



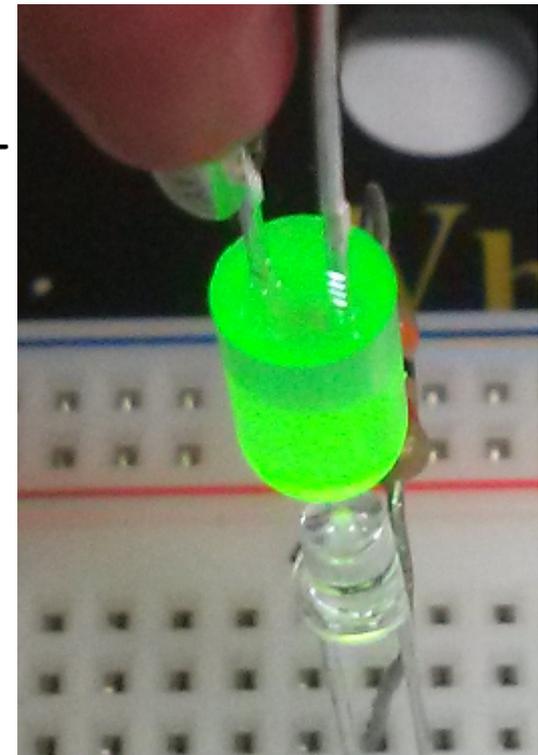
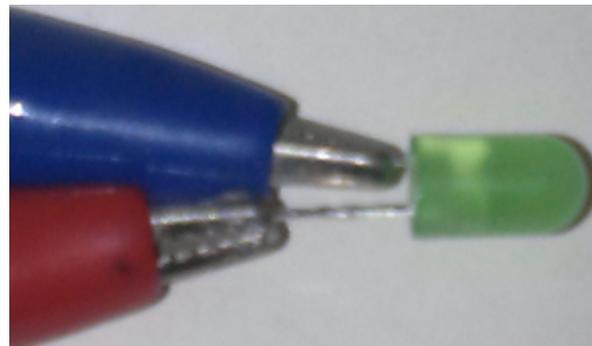


# 測定回路(フォトトランジスタ)



LEDの足は  
曲げない  
広げない

ワニ口クリップで  
LEDをつかむ



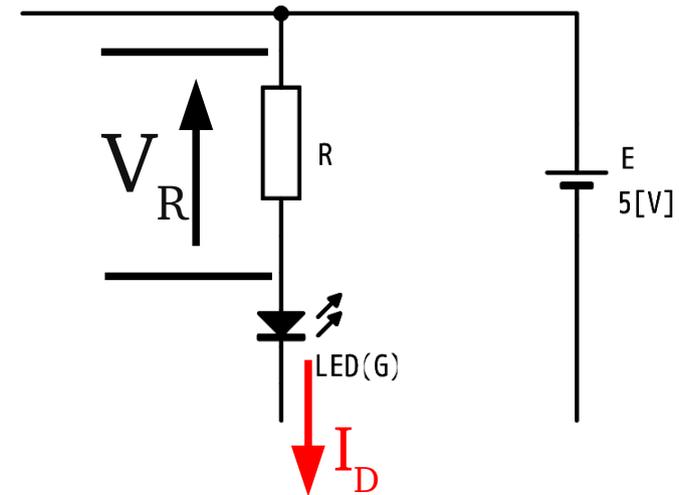
フォトトランジスタを  
LED(G)で照らす

真上から照らす



# LEDに流れる電流

LEDに流れる電流 $I_D$ は  
抵抗 $R$ の電圧降下 $V_R$ から計算  
(オームの法則)



抵抗 $R$ がないとLED他が壊れることがあります  
(ほぼ確実に壊れます)



# 基礎実験1 (フォトトランジスタ)

抵抗値R1 0.296 [k $\Omega$ ] 抵抗値R2 2.96 [k $\Omega$ ]  
電源電圧E 5.12 [V]

条件	$V_R$ [V]	$V_{CE}$ [V]
LED(IR)で照らす	1.234	123.4[mV]
LED(G)で照らす	1.789	2.56[V]

$I_D, I_C$  は後に計算により求める



# 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)
- トランジスタの性質を復習
- LEDの性質を復習



# 応用実験

- 応用実験1 フォトトランジスタを使う
- 応用実験2 CdSセルを使う



# 応用実験1

LED点灯時は10[mA]以上30[mA]以下の電流をLEDに流す

- 回路A

フォトトランジスタが**明るい時はLED(G)が消灯**

フォトトランジスタが**暗い時はLED(G)が点灯**

- 回路B

フォトトランジスタが**明るい時はLED(G)が点灯**

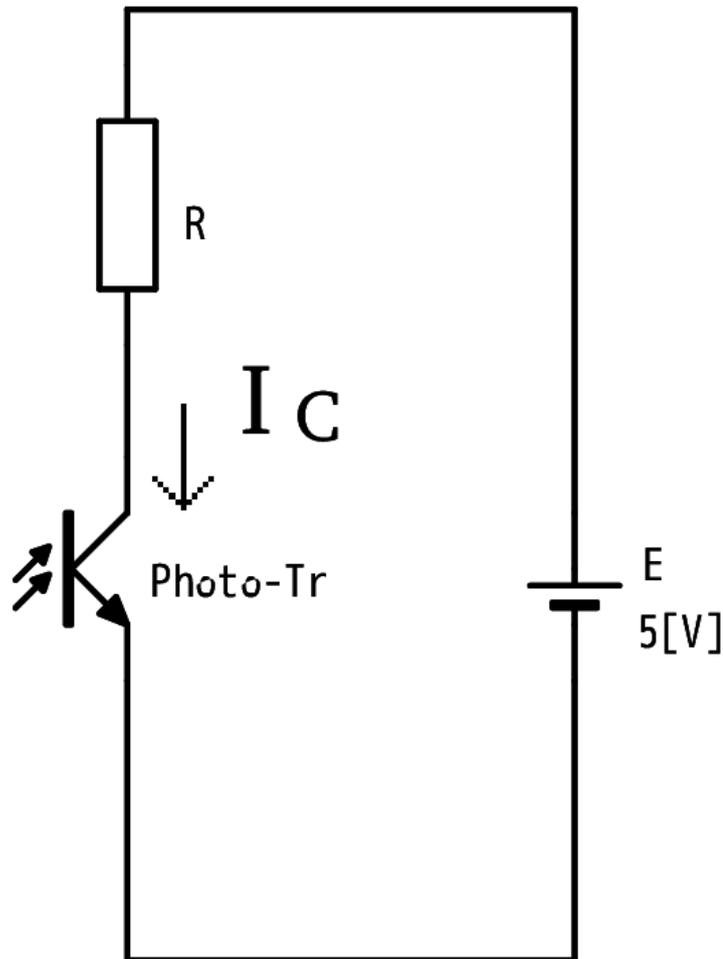
フォトトランジスタが**暗い時はLED(G)が消灯**

**動作確認後、先生のサイン(押印)**



# ヒント

フォトランジスタが暗くなるとLEDが点灯



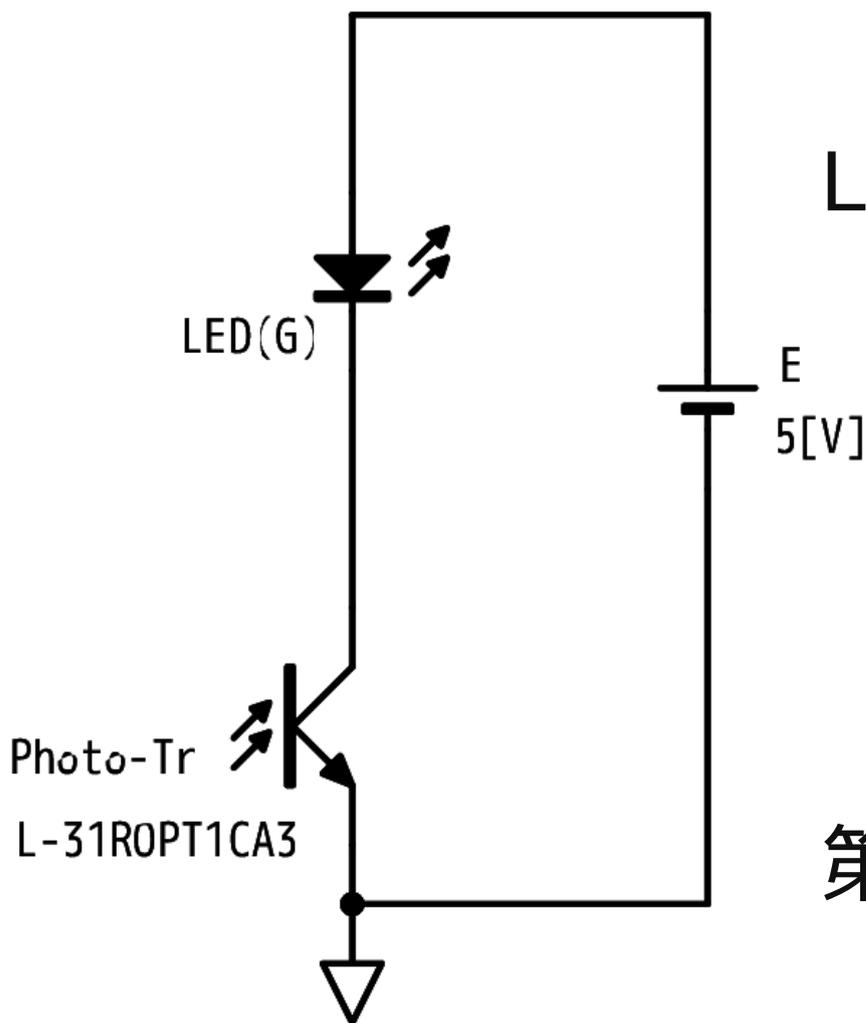
フォトランジスタが受光  
 $I_C$ は数ミリアンペン



# LEDを入れてみる

この回路は

フォトトランジスタが明るくなるとLEDが点灯しそう

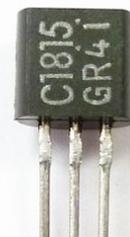


LEDは光るが輝度が不十分

なにかが足りない . . .

フォトトランジスタで  
LEDを直接駆動できない

第6回、第7回を思い出そう





## 応用実験2

太郎君は朝が苦手です。毎日遅刻しそうになっています。正しくは、ときどき遅刻します。本当は週に5日しか遅刻していません。まだ大丈夫だと本人は言っています。でも、センシング基礎演習はこれ以上遅刻すると・・・

太郎君は考えます。「あれがあると遅刻しないのでは？」  
みなさんは、太郎君のために「あれ」を作ってください。

<「あれ」の仕様>

CdSセルに光が当たると電子ブザーから音が出る

CdSセルが暗くなると電子ブザーの音が止まる



# 電子ブザー

定格5[V] 20[mA]

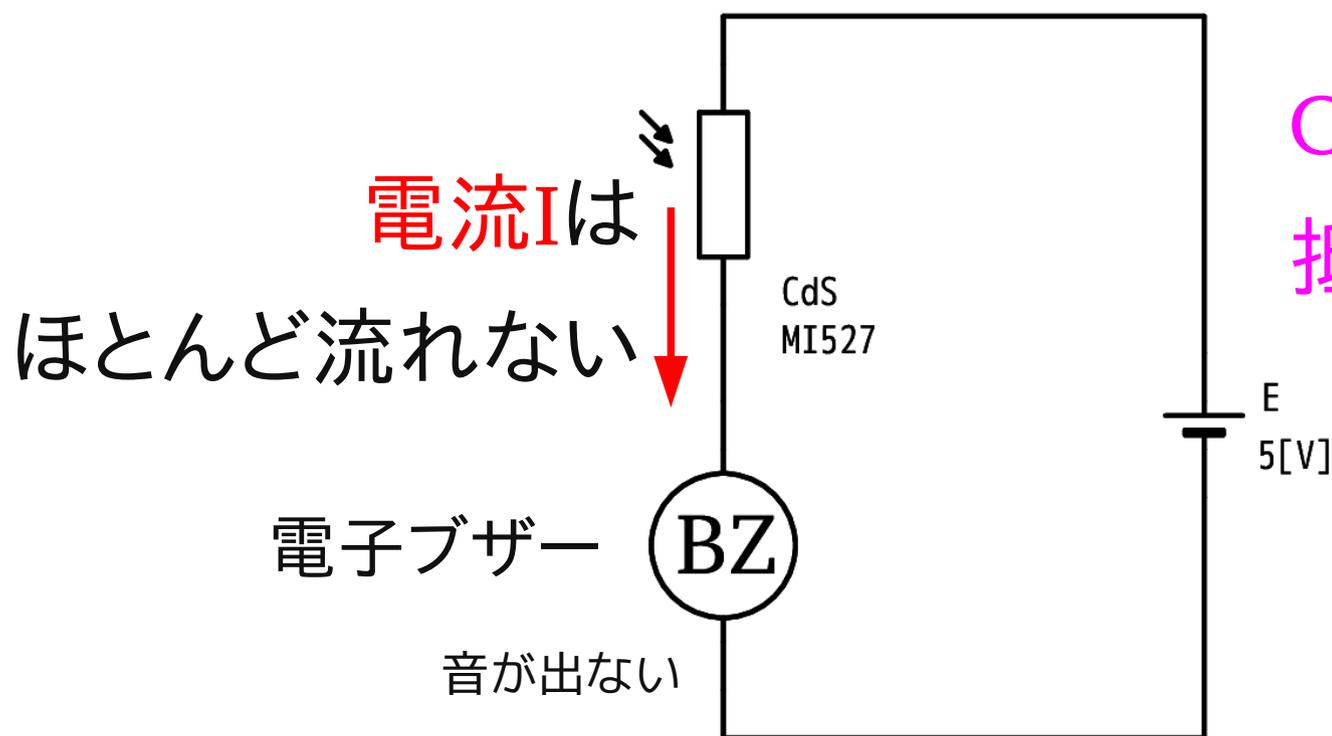
端子に5[V]の電圧をかけると「ピー」と音が出る



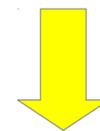


# CdSセルとブザーを使う

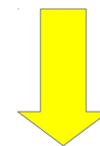
CdSセルに光が当たらないとき、  
電子ブザーから音はしない



光が当たる



CdSセルの  
抵抗値は小さくなる

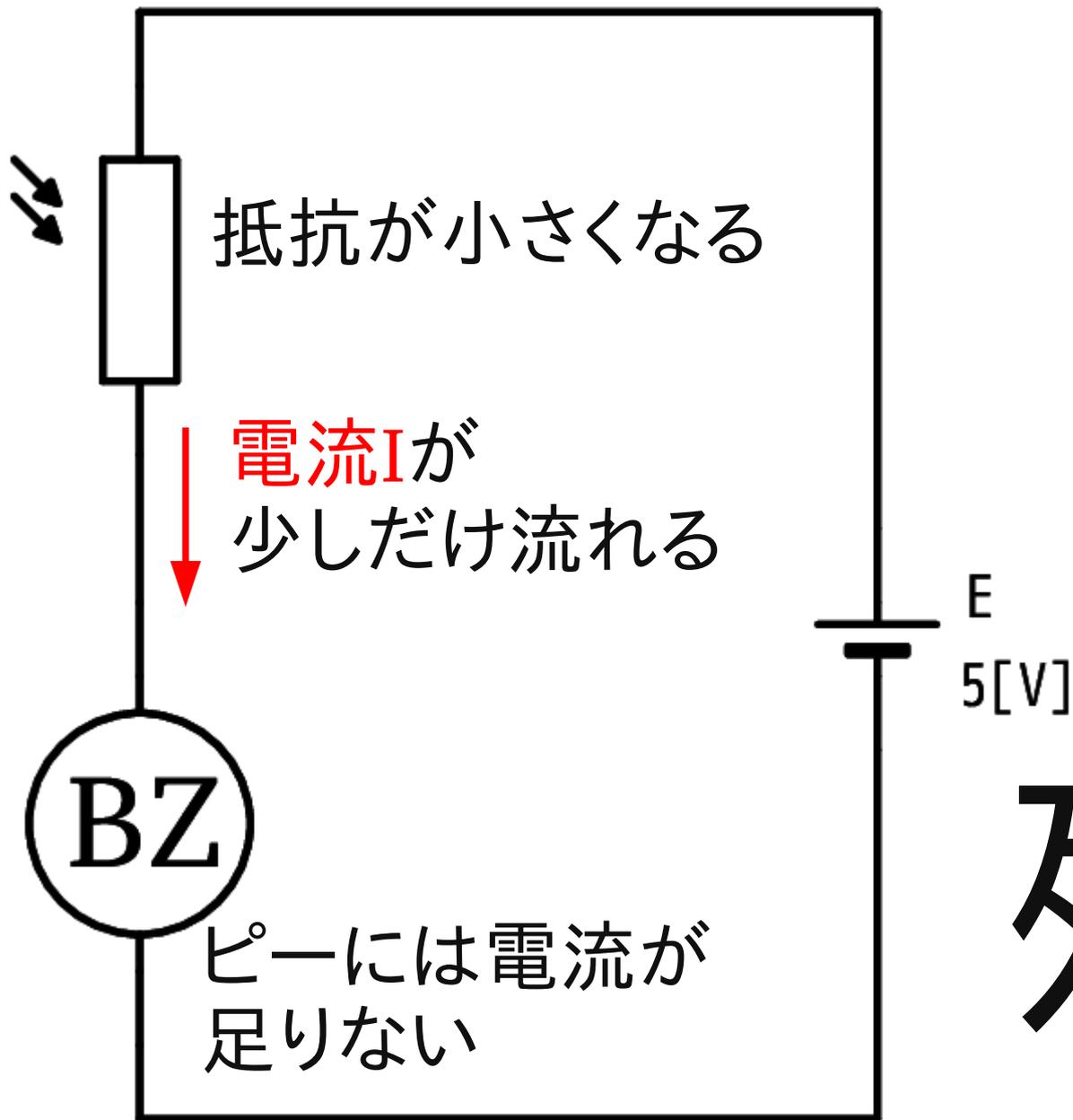


ピー!

# もしかして完成か？



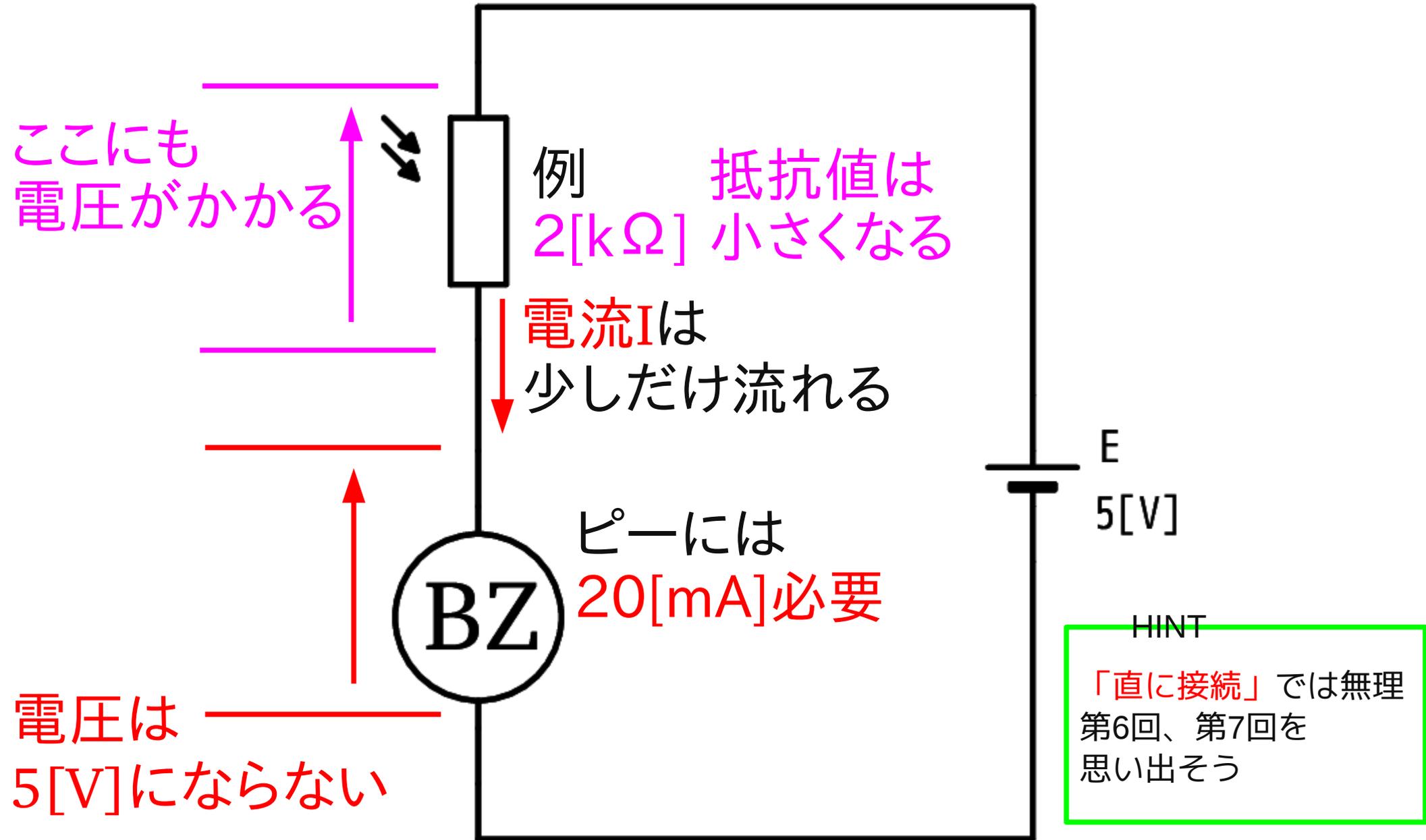
# CdSセルに光が当たるとき



# 残念!!



# 理由を考えてみよう

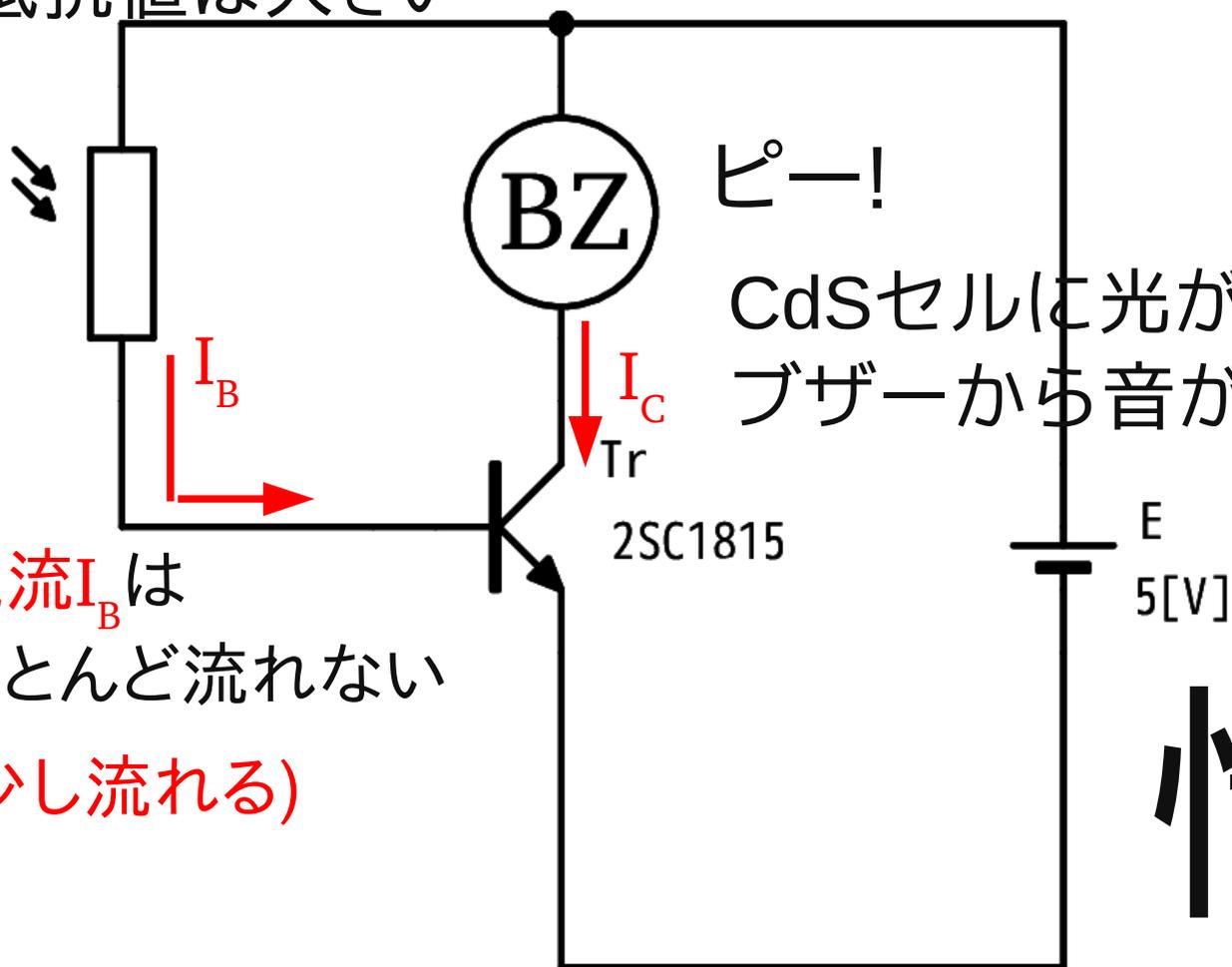




# CdSセルに光が当たらない

光が当たらない時

抵抗値は大きい



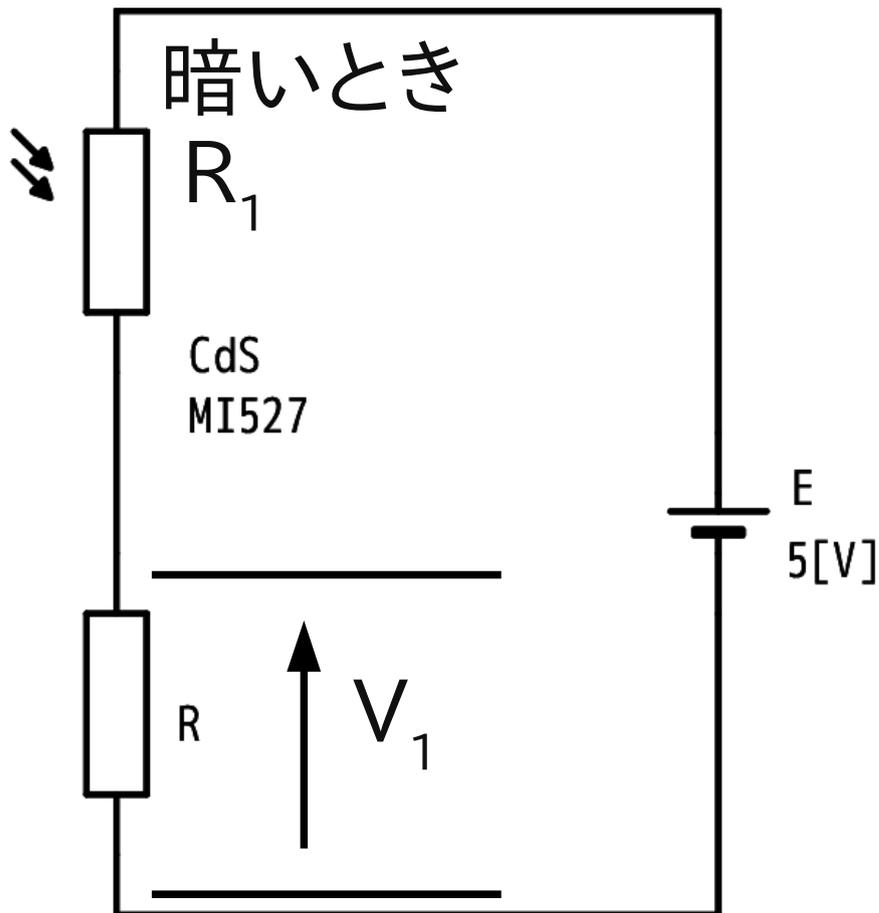
電流 $I_B$ は  
ほとんど流れない  
(少し流れる)

ピー!  
CdSセルに光が当たらないが  
ブザーから音が出る

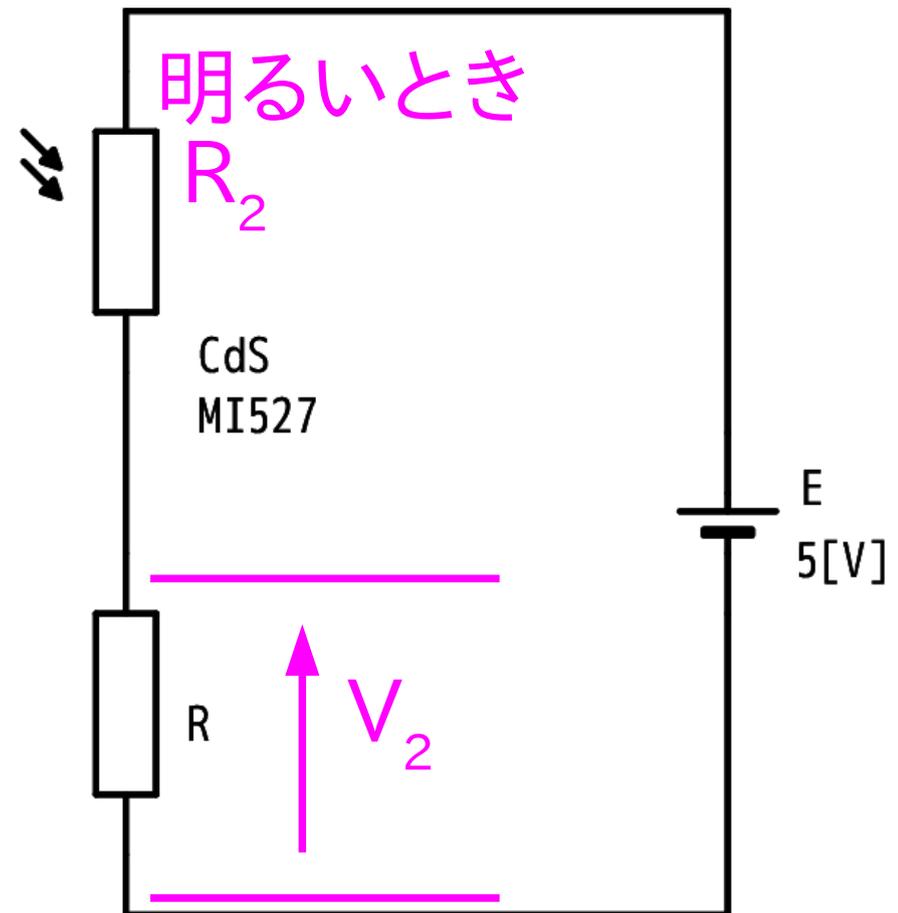
惜しい!!



# 連立不等式をつくれ!



$V_1$ は0.5[V]以下



$V_2$ は0.7[V]以上

この条件から連立不等式をつくればいいのだ!



# 連立不等式を解いて・・・

$$\frac{R}{R+R_1} E \leq V_1$$

$$\frac{R}{R+R_2} E \geq V_2$$

これを解いて (文字式で解く→数値を代入)

$E, V_2, R_2$  を含む式  $\leq R \leq$   $E, V_1, R_1$  を含む式

$E, R_1, R_2, V_1, V_2$  は値がわかっている

不等式の範囲内で適当な抵抗を選ぼう！

電源+CdSセル+抵抗で実験してみよう



# 解けない??? まさか・・・

仕方ないので

連立不等式が解けない???  
 いろいろな意味で危機的状況です  
 Rに適当な値を代入  
 条件を満たすか検討

$$\frac{R}{R+R_1} E \leq V_1$$

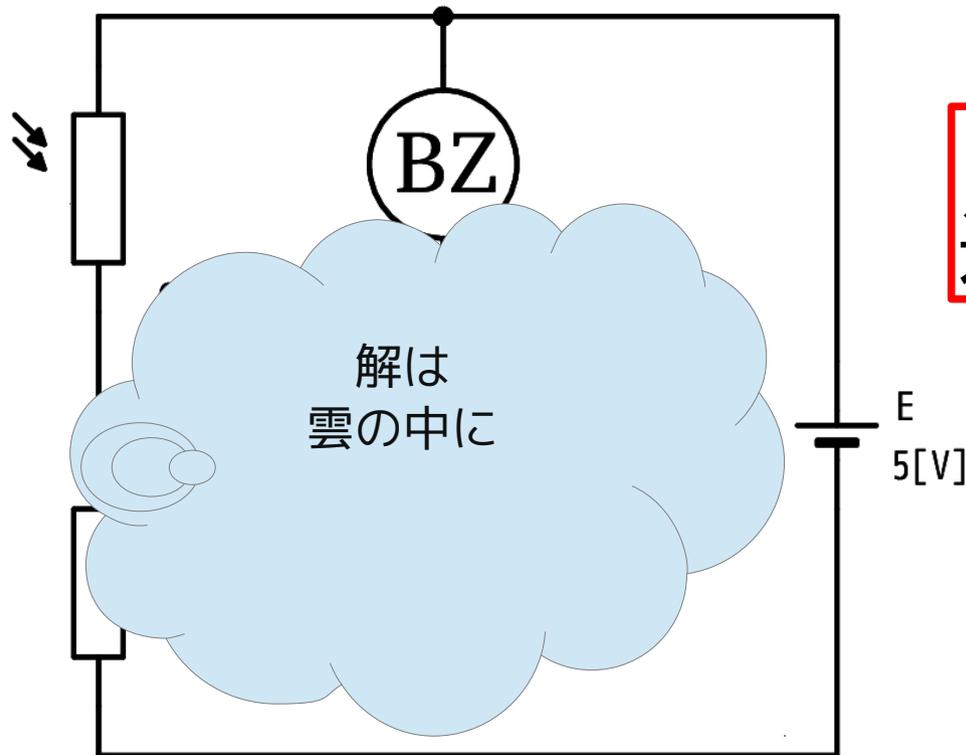
$$\frac{R}{R+R_2} E \geq V_2$$

$E, R_1, R_2, V_1, V_2$  は  
 値がわかっている

値がわからない?  
 $R_1, R_2, E$  は測定値  
 $V_1, V_2$  はトランジスタの性質



# トランジスタとブザーを追加



トランジスタとブザーを追加して完成

一度で成功するとは限らない  
実験してみると・・・(失敗するほうが多い)  
暗くてもピー →  $V_1$  を  $0.4[V]$  として再計算  
明るいのに無音 →  $V_2$  を  $0.8[V]$  として再計算