

機械知能工学科
メカトロニクス総合

MC-08/Rev 16-1.0

第08回

バイポーラトランジスタ と MOSFET

工学部 機械知能工学科

熊谷正朗

kumagai@mail.tohoku-gakuin.ac.jp

東北学院大学工学部
ロボット開発工学研究室 **RDE**

今回の到達目標

○電力増幅に用いられる半導体部品

◇バイポーラトランジスタの

電流増幅作用の基本式を説明できる。

- バイポーラトランジスタの特徴・特性
- 直流電流増幅率 h_{FE}

◇MOSFETの特性(スイッチング用)を説明できる。

- 動作の原理と特性
- スwitching用: V_{TH} とオン抵抗

◇両者の回路例を示せる。

トランジスタ

○増幅用半導体

◇「トランジスタ」(transistor)

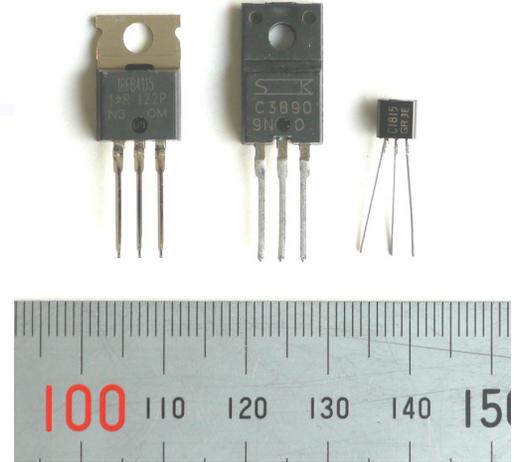
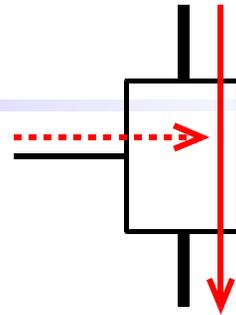
- ・一般に端子が3本:

出力にあたる電流の経路2本 + 制御入力

- ・入力(電流・電圧)に応じて、出力の流れが変化

◇種類 (主なものの例)

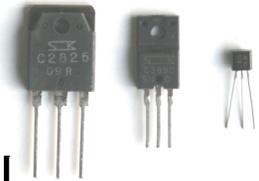
- ・バイポーラトランジスタ (単にトランジスタ)
- ・電界効果トランジスタ FET、MOSFET
- ・メカトロパワー大出力向け特殊:IGBT



バイポーラトランジスタ

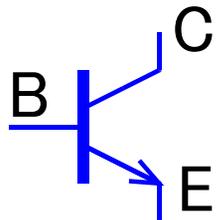


○電流増幅型のトランジスタ



◇単にトランジスタというとバイポーラ型

◇端子



・ **B=ベース** : 制御電流入力の端子

・ **C=コレクタ** **E=エミッタ** : 出力電流流れる

◇特性 (NPN型の場合)

・ [コレクタ→エミッタの電流]

$$= h_{FE} \times [\text{ベース} \rightarrow \text{エミッタの電流}]$$

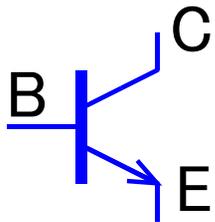
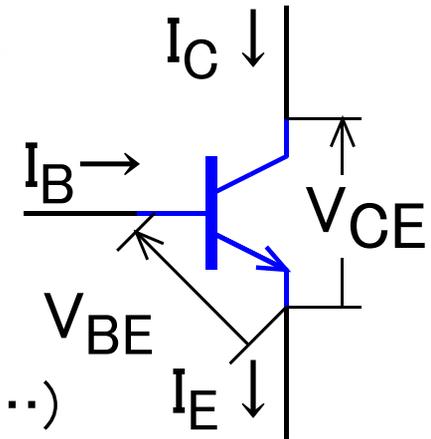
・ h_{FE} : 直流電流増幅率 (数十～数百程度)

バイポーラトランジスタ

○電流増幅型のトランジスタ

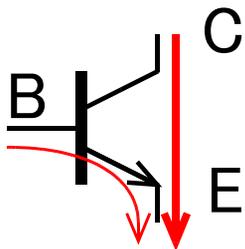
◇トランジスタに関わる変数

- ・ 電流: I_B , I_C , I_E (ベース電流、…)
- ・ 電圧: V_{BE} = エミッタ基準のベースの電圧
 V_{CE} = 同コレクタ ※損失計算に関係



◇特性式

- ・ $I_C = h_{FE} I_B$ 、 $I_E = I_B + I_C \doteq I_C$
- ・ 動作時に $V_{BE} \doteq 0.7[V]$: ダイオードと同じ
- ・ V_{CE} 最低でも $0.2 \sim 0.3[V]$ ※ V_{CEsat}

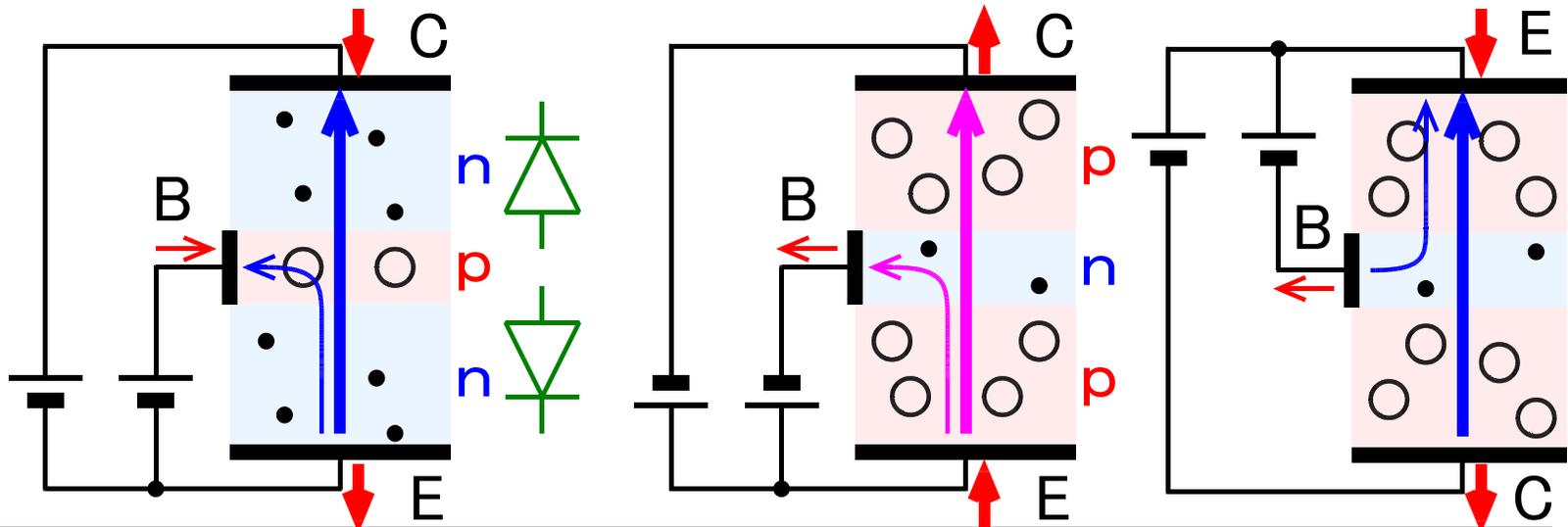
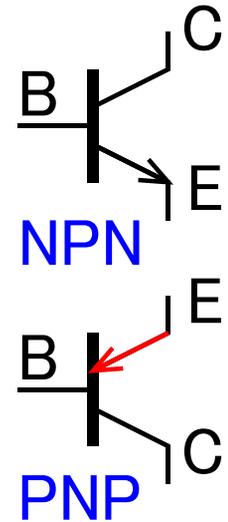


バイポーラトランジスタ

○トランジスタの構造とNPN/PNP

◇並びの違いで2種類

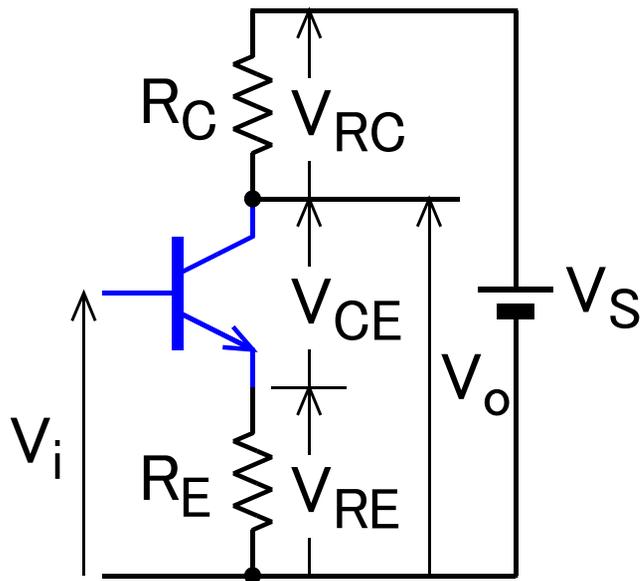
- ・ NPN: ベースに正の電圧、流し込み
- ・ PNP: ベースに負の電圧、吸い出し



バイポーラトランジスタ

○トランジスタによる増幅回路の例

◇アナログ電圧増幅



- ・ 特性: $V_i \rightarrow V_o$

$$V_o = V_S - (R_C / R_E)(V_i - V_{BE})$$

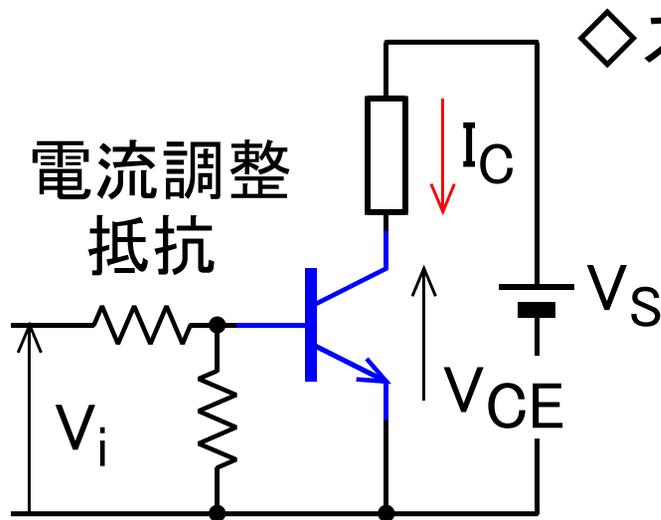
$$= -(R_C / R_E) V_i$$

$$+ V_S + (R_C / R_E) V_{BE}$$

- ・ 抵抗比で増幅率が定まる
(数倍程度)
- ・ 比例の式にはならず (一次関数)

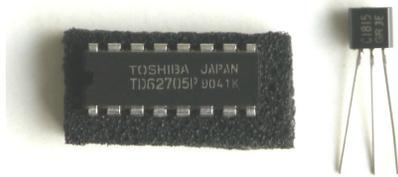
バイポーラトランジスタ

○トランジスタによる増幅回路の例



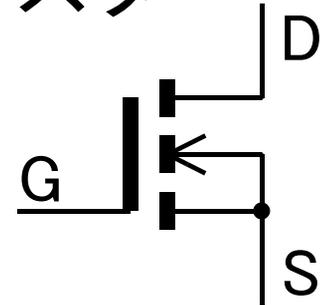
◇スイッチング型での利用

- ・ベース電流が十分
- コレクタに十分流せる
- 対象(□)の両端電圧大
- V_{CE} が限界まで下がる
- =飽和動作
- トランジスタ損失($V_{CE} \times I_C$)
が最低



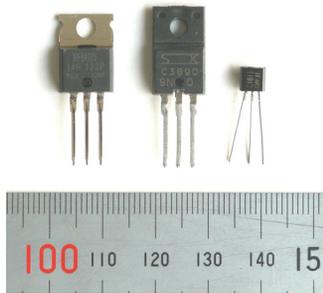
FET・MOSFET：電界効果トランジスタ

○電圧制御型のトランジスタ



Nch MOSFET

◇名称



- **FET** = Field-Effect Transistor
- **MOSFET** = Metal-Oxide-Semiconductor FET

※金属、酸化物、半導体（構造）

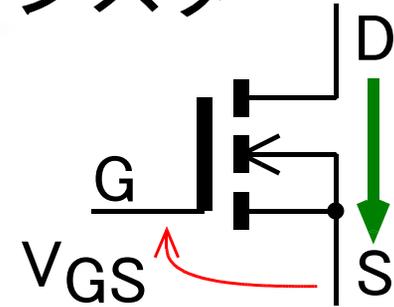
※「もす えふいーていー（ふえつと）」

◇端子

- **G=ゲート**：制御電圧をかける端子
- **S=ソース、D=ドレイン**：出力電流が流れる

FET・MOSFET：電界効果トランジスタ

○電圧制御型のトランジスタ

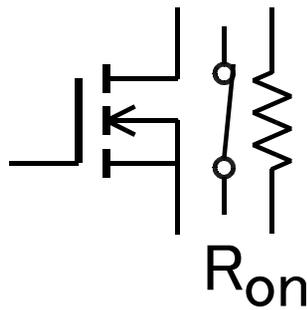


◇特性（FET全般）

- ・ゲートに電圧をかけると、ドレイン-ソース間の電流が増える

◇特性（MOSFET、スイッチング用途）

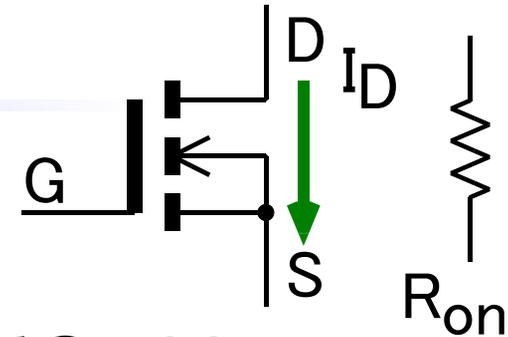
- ・十分なゲート電圧を与えると、DS間は小さな抵抗として振る舞う：オン抵抗 R_{on}
- ・ゲートには電流が流れない（※定常時）



→大電流のスイッチングをしやすい

MOSFET

○メカトロとMOSFET



◇電カスイッチング素子としてのMOSFET

- ・マイコンのデジタル出力直結で大電流SW

※バイポーラは十分なベース電流を要する

- ・ $R_{on} I_D^2$ の電力消費 → 低オン抵抗品は有利

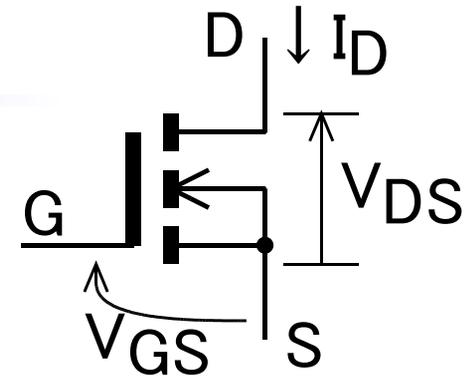
※バイポーラは $V_{CEsat} \times I_C$

◇デジタル回路の素子(コンピュータも)

- ・CMOS回路 (Complementary MOS)
- ・省電力のデジタル回路 c.f. TTL(バイポーラ)

MOSFET

○MOSFETの特性



◇MOSFETに関わる変数・定数

- ・ 電圧 V_{GS} : ソース基準のゲート電圧
- ・ 電圧 V_{DS} : ソース基準のドレイン電圧
- ・ 電流 I_D : ドレイン→ソースの電流
- ・ オン抵抗 R_{on} : オン時のDS間特性
- ・ 閾値電圧 V_{TH} : オンにするための V_{GS}
- ・ ゲート容量: オンに必要な電流(電荷)検討
- ・ V_{DS} 、 I_D の最大値、 R_{on} 、 V_{TH} は主要仕様

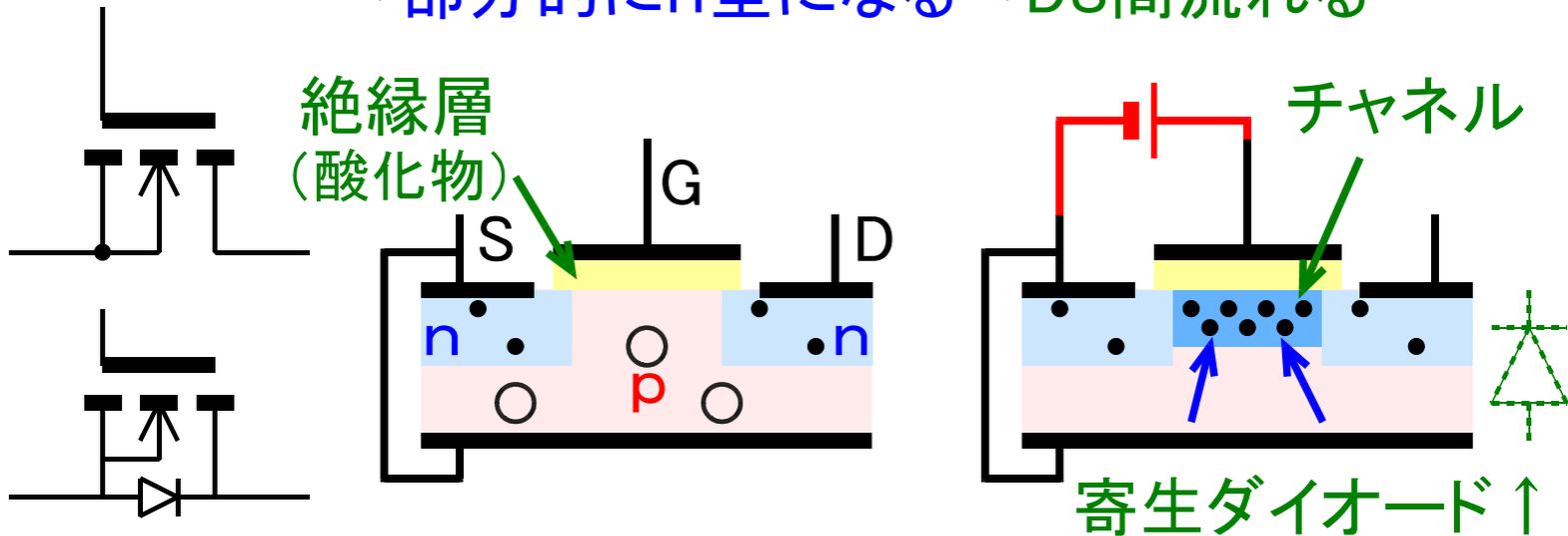
MOSFET

↓逆のPチャネルがある

○MOSFETの構造と原理(Nチャネル型)

◇絶縁層→Gには流れない(コンデンサを形成)

◇ゲートに正電圧をかける→電子が寄ってくる
→部分的にn型になる→DS間流れる

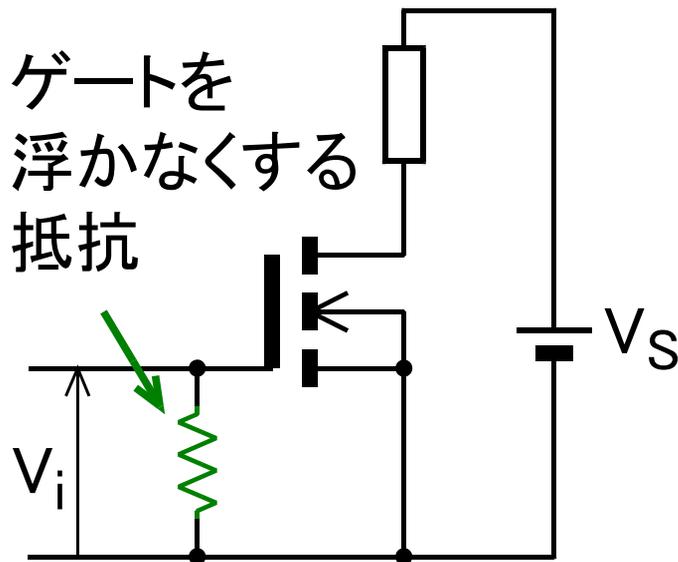


MOSFET

○MOSFETを使ったスイッチング回路

◇単なるオンオフ回路

- ・ゲートに閾値電圧 V_{TH} を十分に超える電圧をかける
 $V_i > V_{TH} \rightarrow$ オンする
- ・ $V_i < V_{TH}$ ならオフ
- ・ゲートをオープンにしてはならない: Gに高抵抗を接続する場合あり。

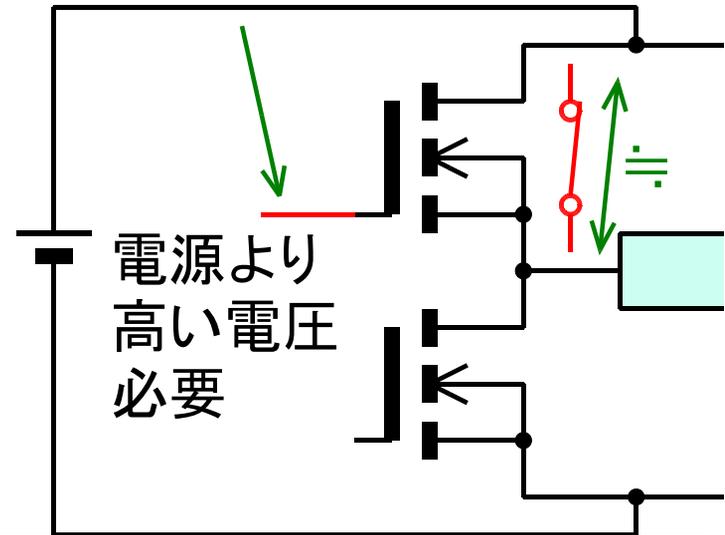
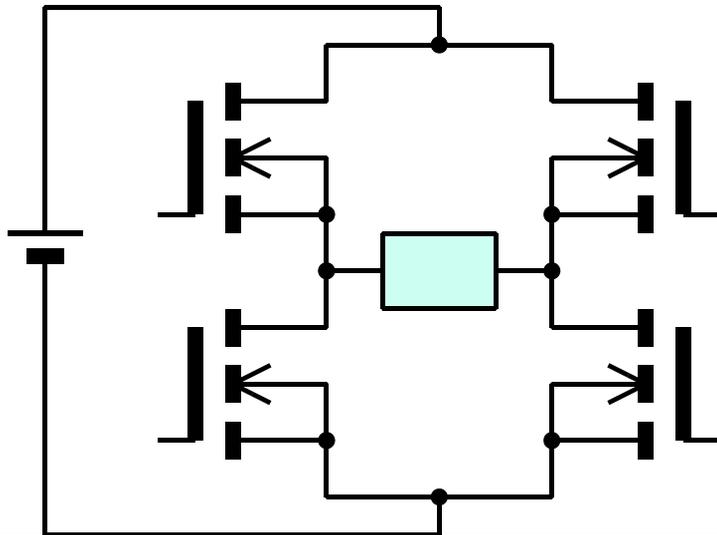


MOSFET

○MOSFETを使ったスイッチング回路

◇Hブリッジ ↓"ハイサイド(スイッチ)"

- ・ **上のFET**をオンするには、さらに上の電圧
- ・ "ゲートドライブ回路"をつかう(専用IC等)



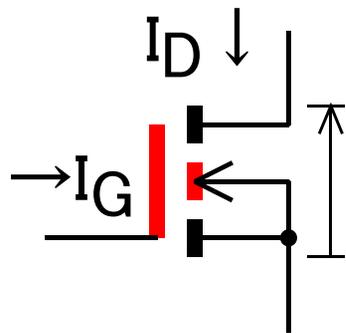
MOSFET

○MOSFETの消費電力

◇オン時： R_{on} による消費 $R_{on} I_D^2$

◇オン・オフ切替時

- ・ゲートがコンデンサの性質を持つ



→ 電流の入出でゲート電圧が変化

→ 電流が少ないと閾値付近の半端な状態

→ ちゃんとオンしない= V_{DS} が小さくない

→ 電力消費 $V_{DS} I_D$

- ・オンオフごと=PWMなどの周波数に比例