

# 第9回

- ◆第8回の復習と確認テストフォロー

- ◆第7回の課題解説

- ◆増幅器

  - 増幅率・入力インピーダンス・SN比

  - 増幅器の周波数特性

- ◆オペアンプ

  - 理想オペアンプ

  - 非反転・反転増幅器

  - 差動増幅・CMRR

# 増幅器

## ◆利得（ゲイン）・増幅度

$$\begin{aligned}\text{電圧利得} &= \frac{\boxed{\phantom{00}} \text{電圧}}{\boxed{\phantom{00}} \text{電圧}} \\ &= \boxed{\phantom{00}} \frac{\text{出力電圧}}{\text{入力電圧}} \left[ \boxed{\phantom{00}} \right]\end{aligned}$$

デシベル

底は10

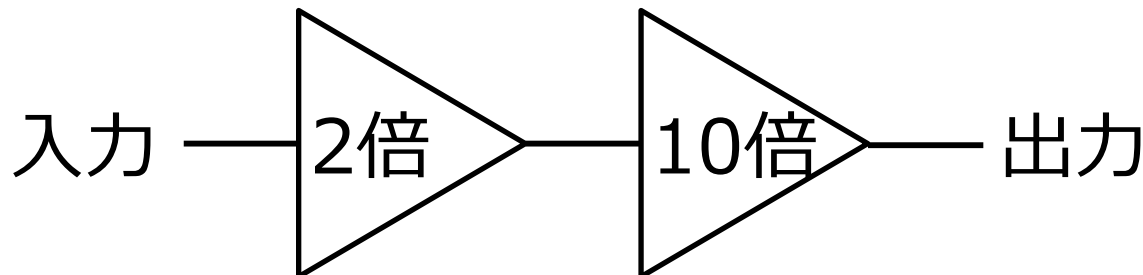
$$\begin{aligned}\text{ゲイン}^2 &\div \boxed{\phantom{00}} [\text{dB}] \\ \text{ゲイン} \boxed{\phantom{00}} &= 20[\text{dB}]\end{aligned}$$

感度（センシティビティ）  
= 入力電圧 / 出力電圧  
単位： $\mu\text{V}/\text{V}$ ,  
 $\text{mV}/\text{mm}$

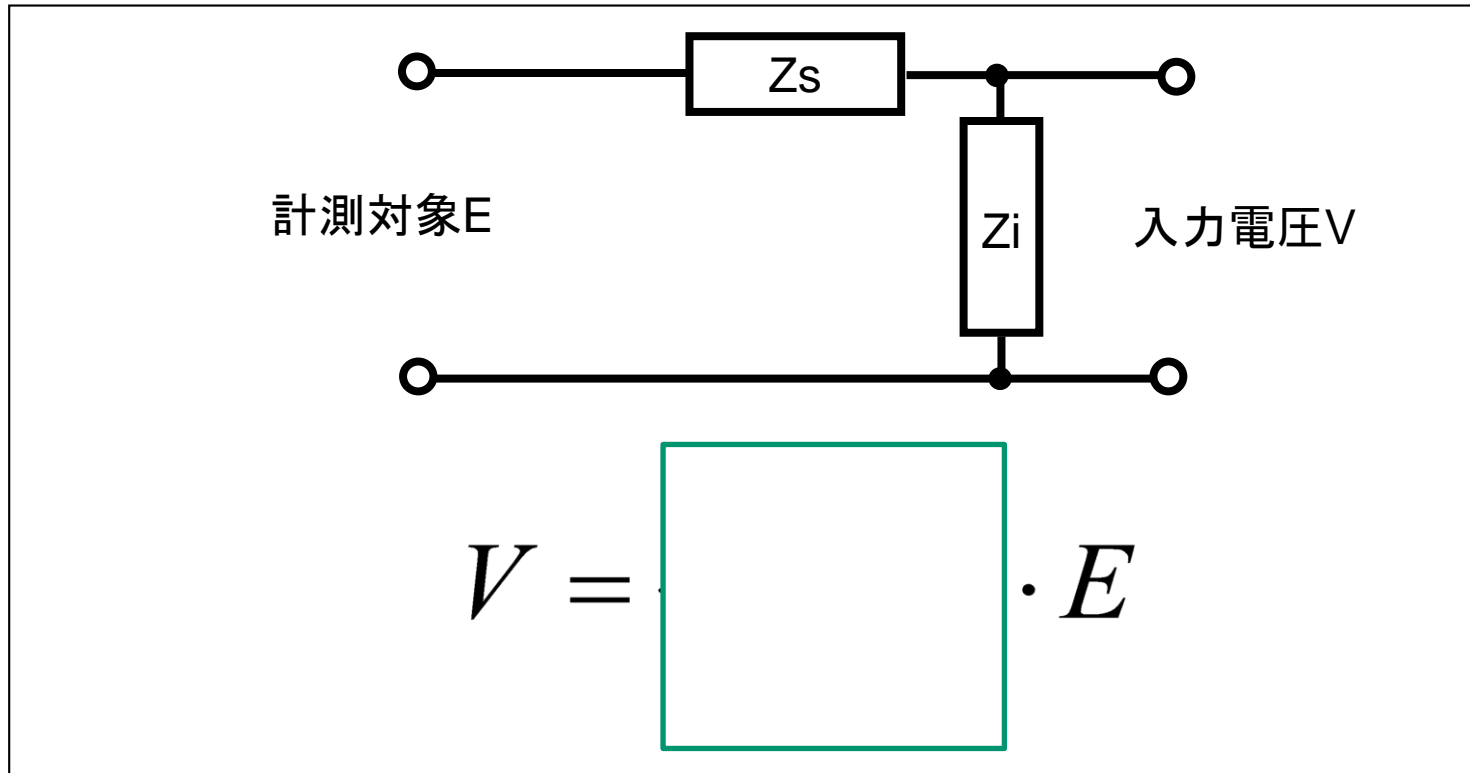
# 第9回課題（1）

下記①～④を課題提出用解答用紙に書いて提出せよ

- （1）10000倍の増幅器の電圧利得は ① [dB]である
- （2）1/1000倍の増幅器の電圧利得は ② [dB]である
- （3）40dBの増幅器は信号を ③ 倍に増幅する
- （4）2倍と10倍の増幅器が直列に接続されている  
この場合の全体のゲインは ④ [dB]である



# 入力インピーダンス



$Z_i$ :



インピーダンス

$Z_i$  が

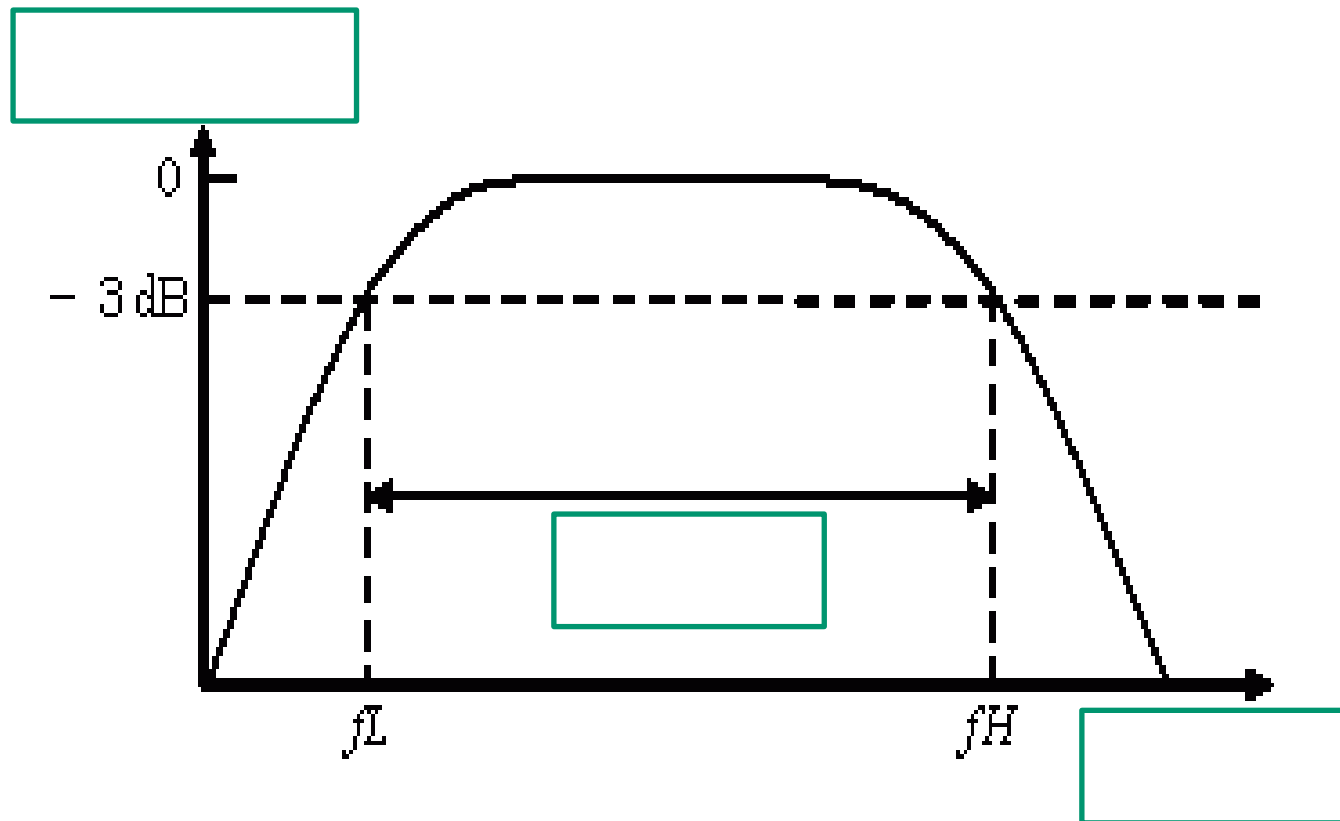


と  $Z_s$  の影響が小さくなる

# SN比 (S/N, SNR)

$$\begin{aligned} S / N &= \frac{\boxed{\phantom{0000}} (Signal)}{\boxed{\phantom{0000}} (Noise)} \\ &= \boxed{\phantom{0000}} \frac{\text{信号} (Signal)}{\text{雑音} (Noise)} \boxed{\phantom{0000}} \end{aligned}$$

# 増幅器の 特性



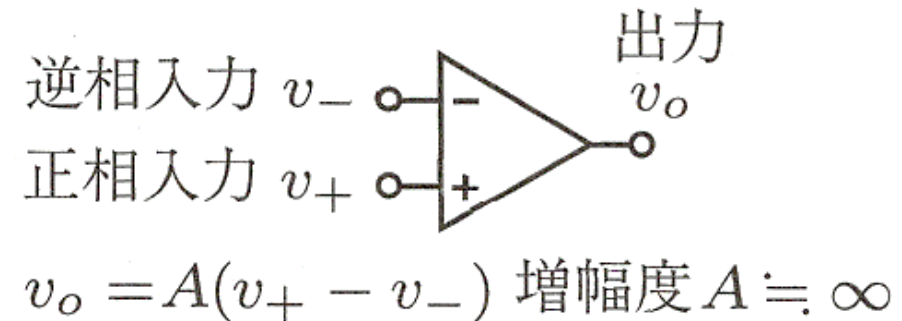
$f_L$  : 低域遮断周波数

$f_H$  : 高域遮断周波数

# （ Operational amplifier ）

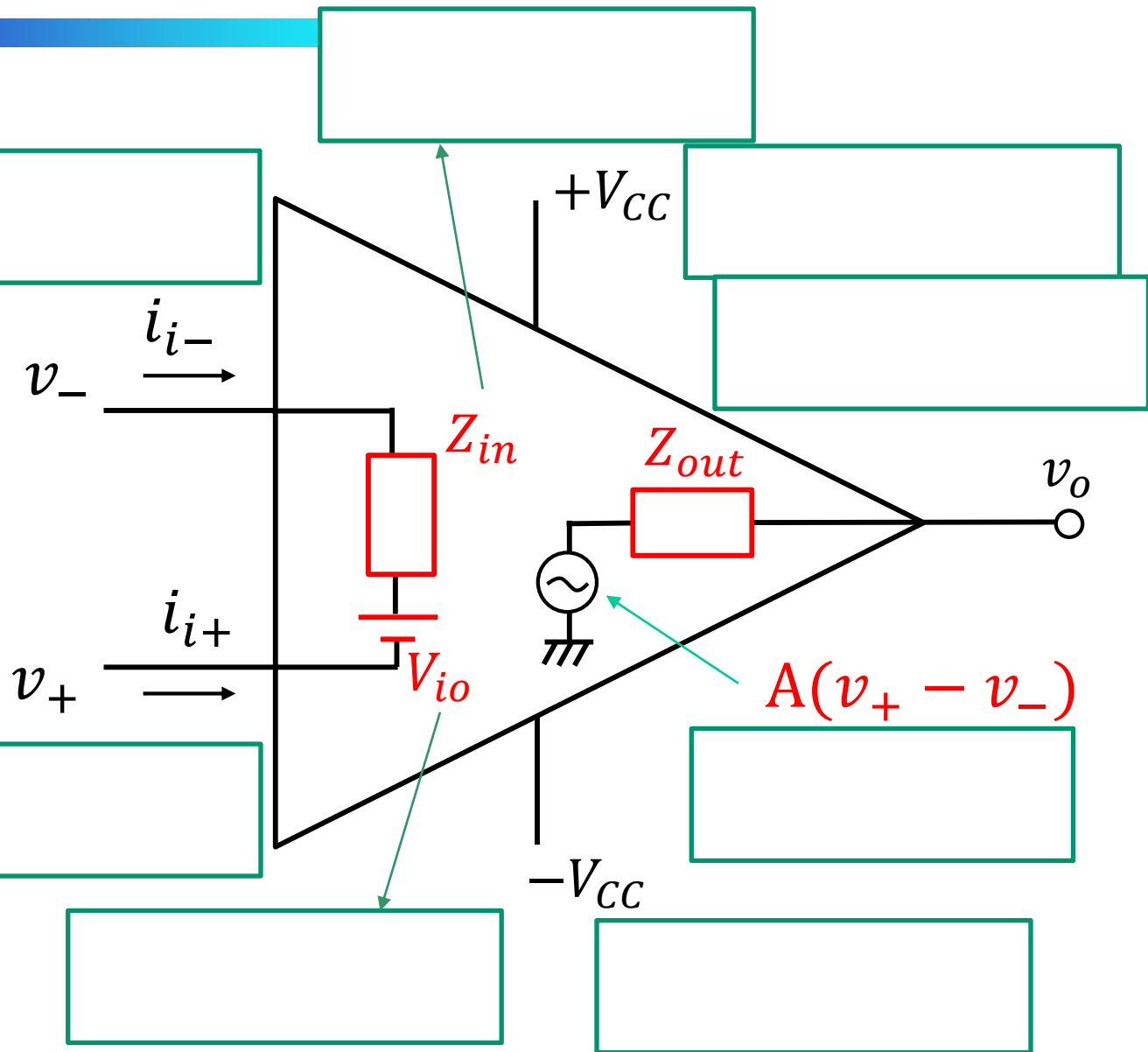
オペアンプとは、微弱な信号を増幅することができる集積回路

$$v_o = A(v_+ - v_-)$$



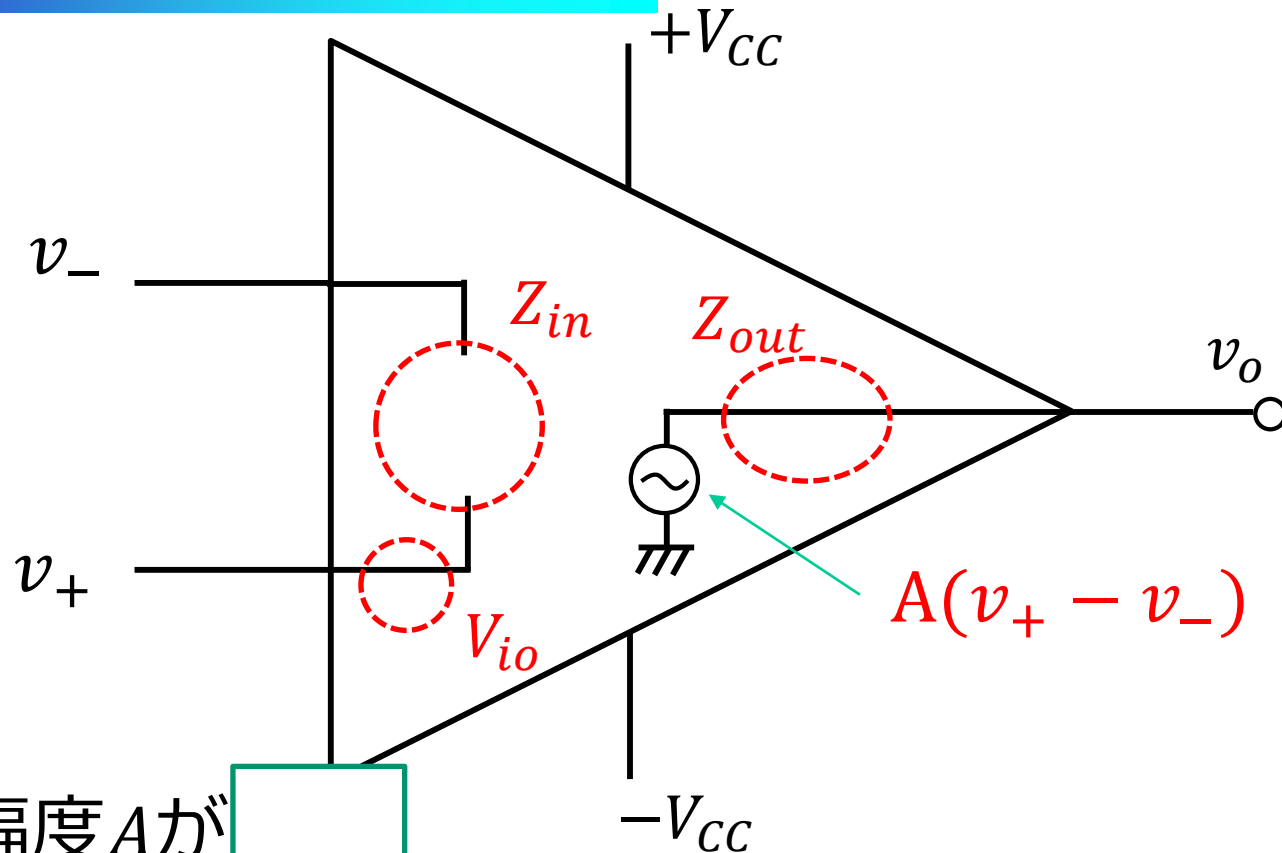
- $A$ :  (増幅率, 利得, ゲイン, 振幅比)
- 理想は  $A = \infty$  (実際は  $A = 10^3 \sim 10^7$ )
- $v_+ - v_-$  の周波数が非常に高いと  $A$  は小さくなる  
※ 通過周波数帯域より高い周波数成分は減衰する

# オペアンプ ( )





# 理想オペアンプ



● 増幅度  $A$  が

※ 周波数依存無し

● 時間遅れ無し

● オフセット電圧 =

● 入力インピーダンス  $Z_{in}$  が

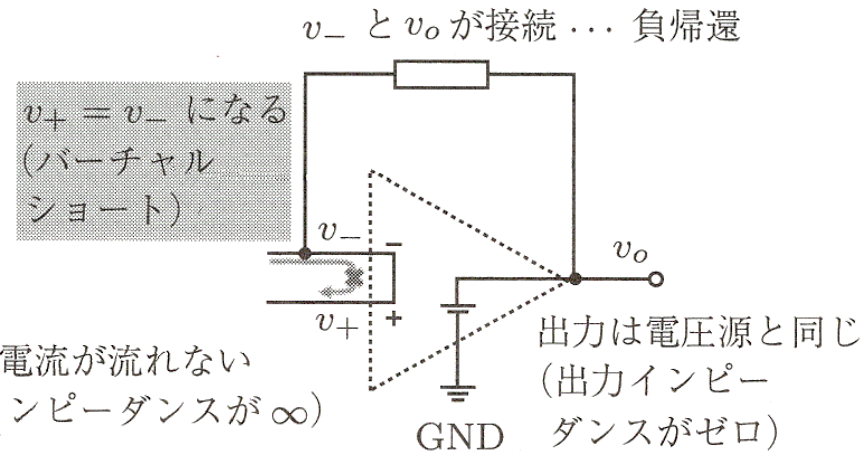
● 入力インピーダンス  $Z_{out}$  が

# ショート

$$v_+ - v_- = \frac{v_o}{A} \simeq 0$$

$(v_+ \simeq v_-)$

バーチャルショートが成り立つ



(b) 負帰還ありのとき

$v_o$  と  $v_-$  をつなげる  $\rightarrow v_o$  が大きくなると  $v_-$  も大きくなる

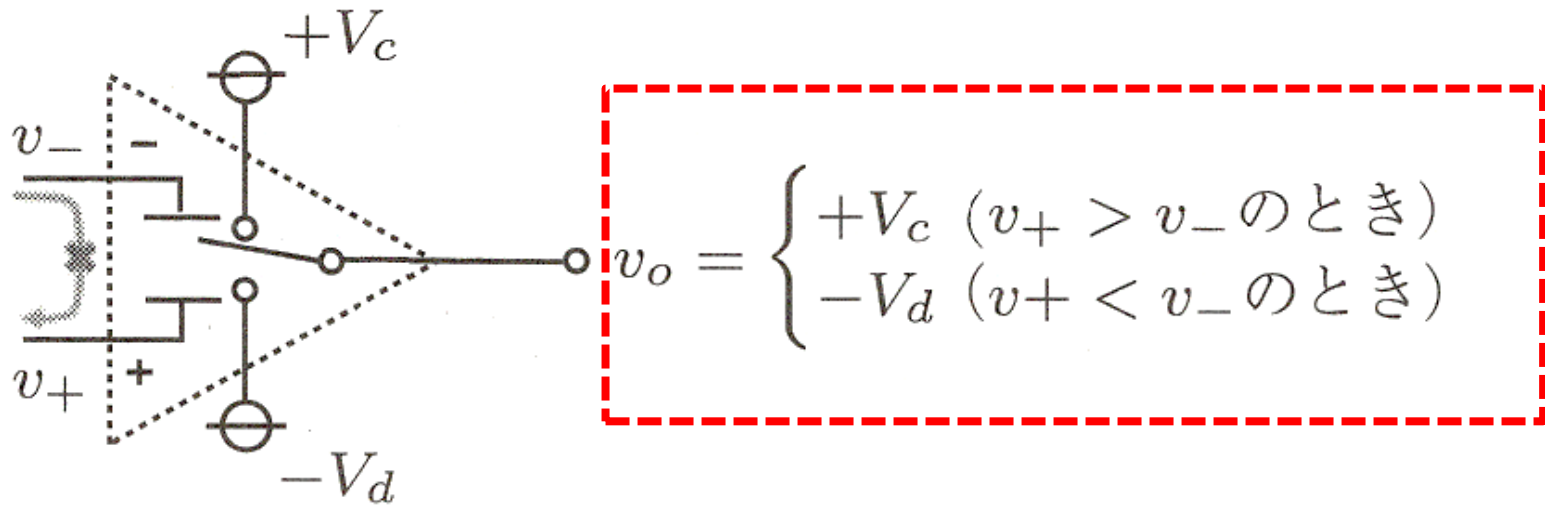


- $A(v_+ - v_-)$  が小さくなる ( $v_+ = v_-$ )
- $v_o$  が小さくなる ( $v_o$  が一定値に収束)



(ネガティブフィードバック) という

# 負帰還無しのおペアンプ



負帰還が無いとバーチャルショートが成立しない

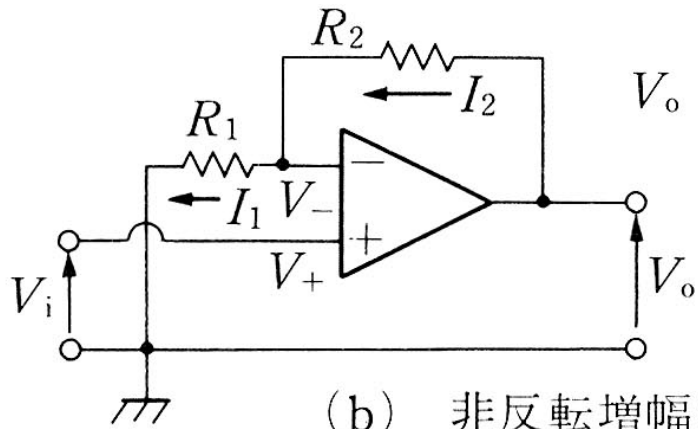


$v_+ - v_-$  に差が生じ増幅され電源電圧が出力される



$v_+ - v_-$  の大小が比較できる (  ・コンパレータ )

# 増幅器 (同相アンプ)



(b) 非反転増幅回路

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_i \quad (V_+ - V_-) = 0 \text{ となるように帰還がかかっているから,}$$

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{V_-}{R_1} \\ I_2 &= \frac{V_o - V_-}{R_2} \end{aligned} \right\}$$

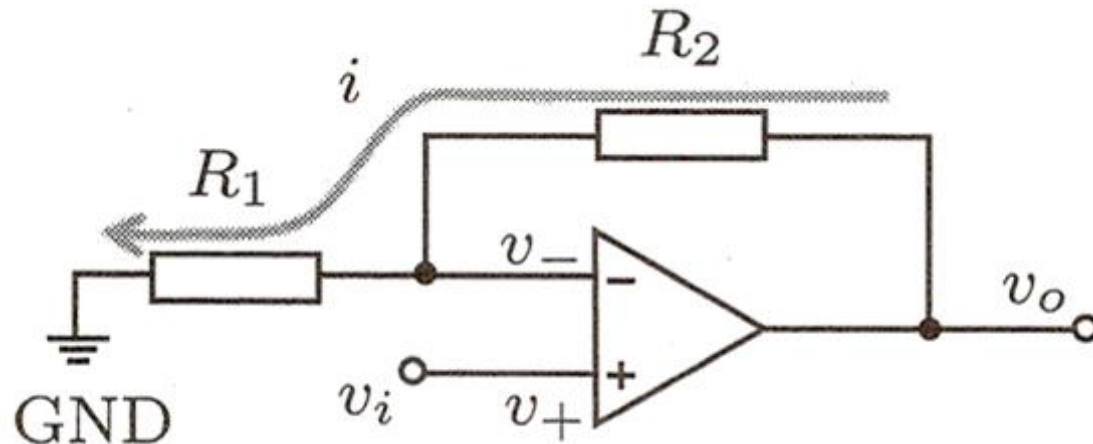
$$V_+ = V_- = V_i, \quad I_1 = I_2 \quad \text{から}$$

プラス側に入力  
マイナス側を接地

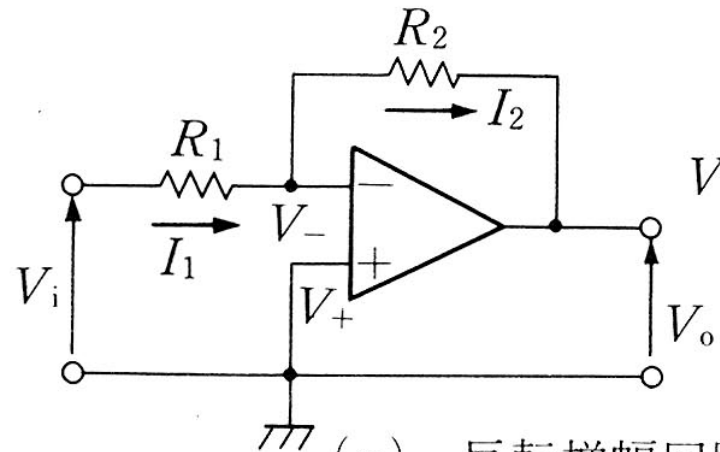
$$V_o = \left( \quad \right) V_i$$

# 非反転増幅器の例題

下図の非反転増幅器において $R_1 = 2k\Omega$ のとき、増幅度50にする抵抗 $R_2$ を設計せよ



# 増幅器 (逆相アンプ)



(a) 反転増幅回路

オペアンプは $V_+$ と $V_-$ に少しでも差が生じると $V_o$ が飽和するために常に $(V_+ - V_-) = 0$ となるように帰還がかかっている

→   imaginary short

マイナス側に入力  
プラス側を接地

$V_i$  を入力すると,  $V_- = 0$  であるから,  
 $R_1$ に流れる電流  $I_1$  は,

$$I_1 = \frac{V_i}{R_1}$$

$R_2$ を流れる電流は,

$$I_2 = \frac{V_- - V_o}{R_2} = -\frac{V_o}{R_2}$$

オペアンプの(−)入力端子に流れる電流はゼロなので,  $I_1$ は出力端子へ流れる

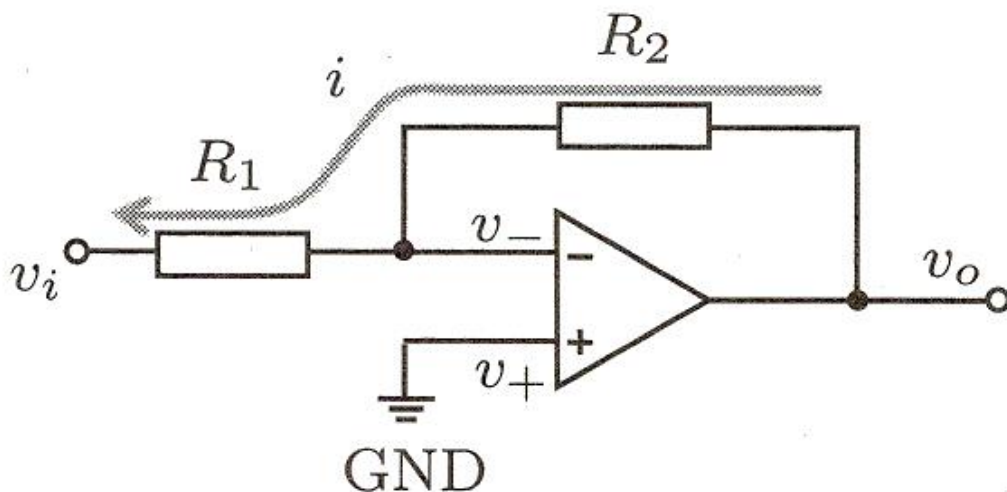
$$I_1 = I_2$$

以上より

|         |  |       |
|---------|--|-------|
| $V_o =$ |  | $V_i$ |
|---------|--|-------|

# 反転増幅器の例題

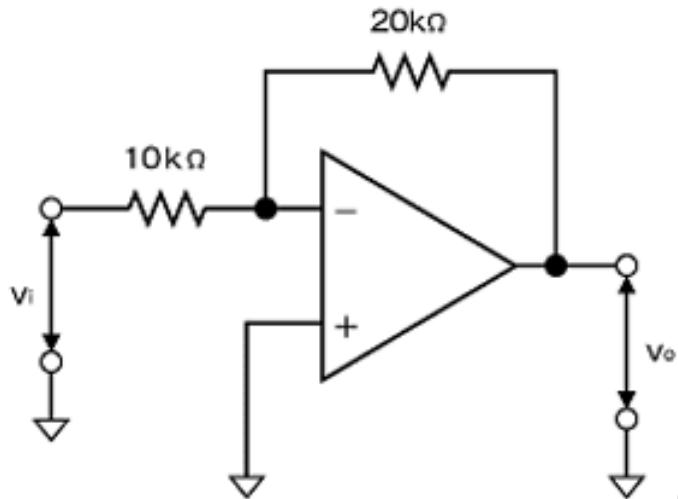
下図の反転増幅器において $R_1 = 2k\Omega$ のとき、増幅度50にする抵抗 $R_2$ を設計せよ



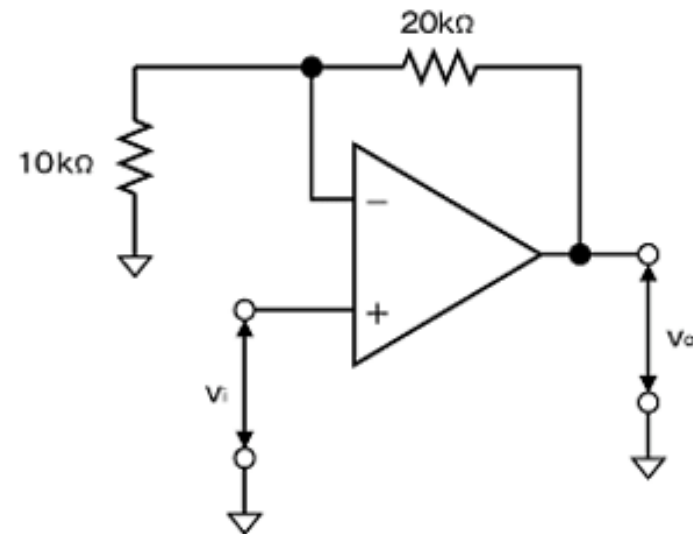
# 第9回課題 (2)

下記⑤～⑥を課題提出用解答用紙に書いて提出せよ

オペアンプを用いて以下のような増幅回路を作った。  
入力信号は何倍に増幅されるか？ただし、信号が反転する  
場合は倍率の前に「-」(マイナス)を付けよ

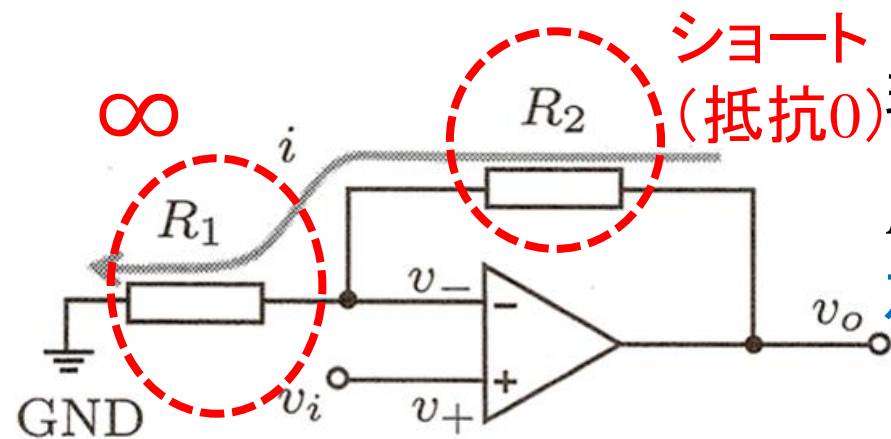


⑤ 倍に増幅される



⑥ 倍に増幅される





非反転増加器において

$R_1 = \square$ ,  $R_2 = \square$  にした回路を  
ボルテージフォロワという

$$v_o = v_i (1 \text{ 倍})$$



<特徴>

- 入力インピーダンス: ほぼ  $\square$
- 出力インピーダンス: ほぼ  $\square$

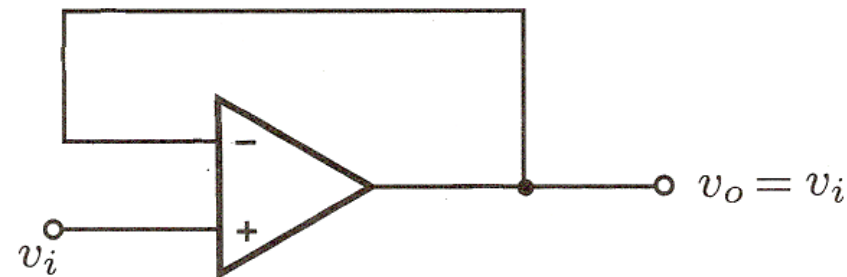
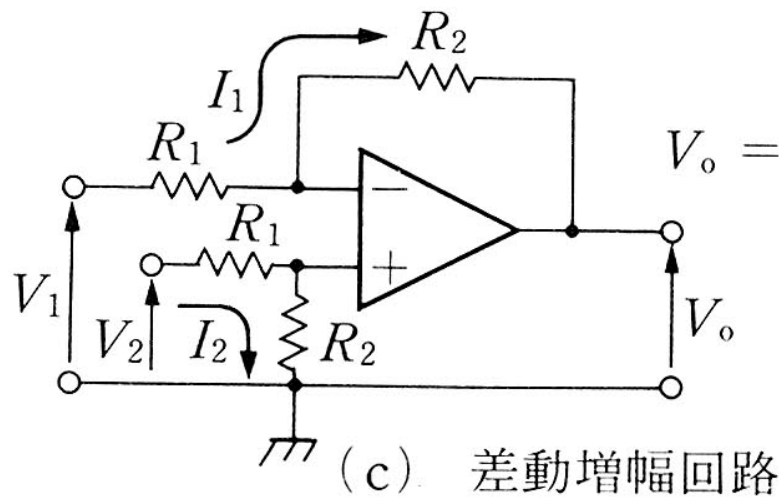


図 4.7 ボルテージフォロワ

# 増幅器

入力  $v_2 - v_1$  を増幅することを差動増幅といい、その回路を差動増幅器という

$(V_+ - V_-) = 0$  となるように帰還がかかっているから、



$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{V_1 - V_0}{R_1 + R_2} \\ I_2 &= \frac{V_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \right\}$$
$$V_1 - I_1 R_1 = I_2 R_2$$

プラス側とマイナス側の間の  
電圧差を増幅

$$V_0 =$$



(common mode rejection ratio)

実際の差動増幅器では完全に同相成分を消せない

$$v_o = A(v_2 - v_1) + \underbrace{\frac{A_c}{2}(v_2 + v_1)}_{\text{同相ノイズ}}$$

差動増幅度： $A(A_d)$  同相増幅度： $A_c$



$$CMRR = 20\log_{10} \left[ \text{ } \right] [\text{dB}]$$

$CMRR$ が大きいほど同相雑音の除去率が高い

# 第9回提出課題・宿題

## ◆提出課題：課題(1)(2)

提出期限：明日の正午

提出先：post 詳細は第1回資料参照

提出ファイル：解答用紙に書き込み（テキスト，手書き）PDF， 写真(.jpg)

ファイル名：学生番号\_氏名\_計測工学\_09.ext (すべて半角小文字)

◆[MR] 復習：プリント・教科書で理解不足のところ  
を勉強する

# 第10回予習・準備

---

- ◆[MR] 予習：教科書4.4 (pp.107-125)を読んで、代表的なノイズ除去法を把握する
- ◆予習：第10回資料の空欄を埋める

# 第9回確認テスト

## <解答時間>

本日16:30~17:00 (遅れても明日正午まで)

## <方法>

方法1：PCで下記URLに接続して回答

R: <https://bit.ly/2BpJea0>    S: <https://bit.ly/2TSIqAC>

方法2：スマホで下のQRコードを読んで回答

R:



S:

