

機械知能工学科
メカトロニクス総合

第03回

MC-03/Rev 15-1.0

オペアンプと増幅原理

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

○オペアンプによる増幅回路

- ◇オペアンプの特徴を説明できる。
 - ・無限大の(非常に大きな)増幅率
 - ・入力インピーダンスの高さ
- ◇反転増幅回路の動作原理を説明できる。
 - ・抵抗による増幅率の設定
 - ・ネガティブフィードバック
- ◇仮想短絡、仮想接地を説明できる。
 - ・オペアンプ回路理解のための考え方

オペアンプ

○差を非常に大きく増幅する部品

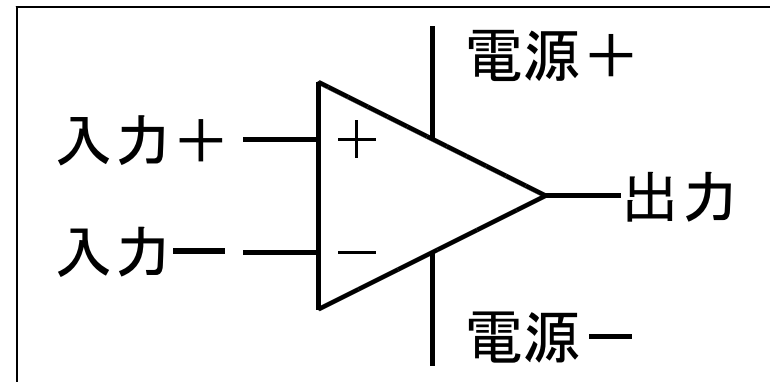
(IC:集積回路、半導体)

◇オペアンプ

- Operational Amplifier (Op(e)Amp)
- 演算増幅器

◇端子

- 入力: **+**と**-**
- 出力
- 電源: **+**と**-** (※**高い方**と**低い方**)
- 電圧: $V_+/V_{in+}/V_P$, $V_-/V_{in-}/V_N$, V_o/V_{out}



オペアンプ

○差を非常に大きく増幅する部品

◇特性

- $V_{out} = A(V_+ - V_-)$

A: 電圧増幅度

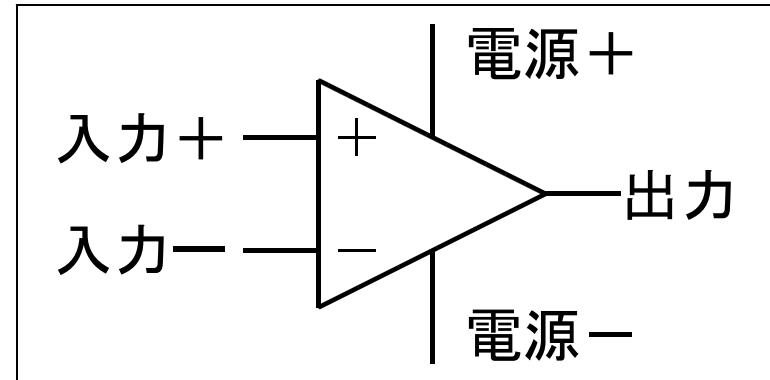
非常に大きい

※1000～100万倍など

※2入力の差をA倍に増幅する、の意味

- 入力端子には(ほぼ)電流が流れない

※多くの場合は無視できる



オペアンプ

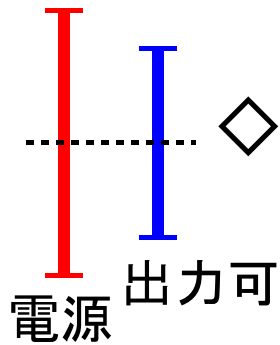
○理想オペアンプと実在のオペアンプ

◇増幅度 $V_{\text{out}} = A(V_+ - V_-)$

- ・理想: $A = \infty$ 実在: A は大きい(10^6 等)

◇入力 電源+

- ・理想: 入力インピーダンス ∞ : 全く流れない
実在: わずかに流れる ($G\Omega \sim$ 、nA, pA)



◇出力

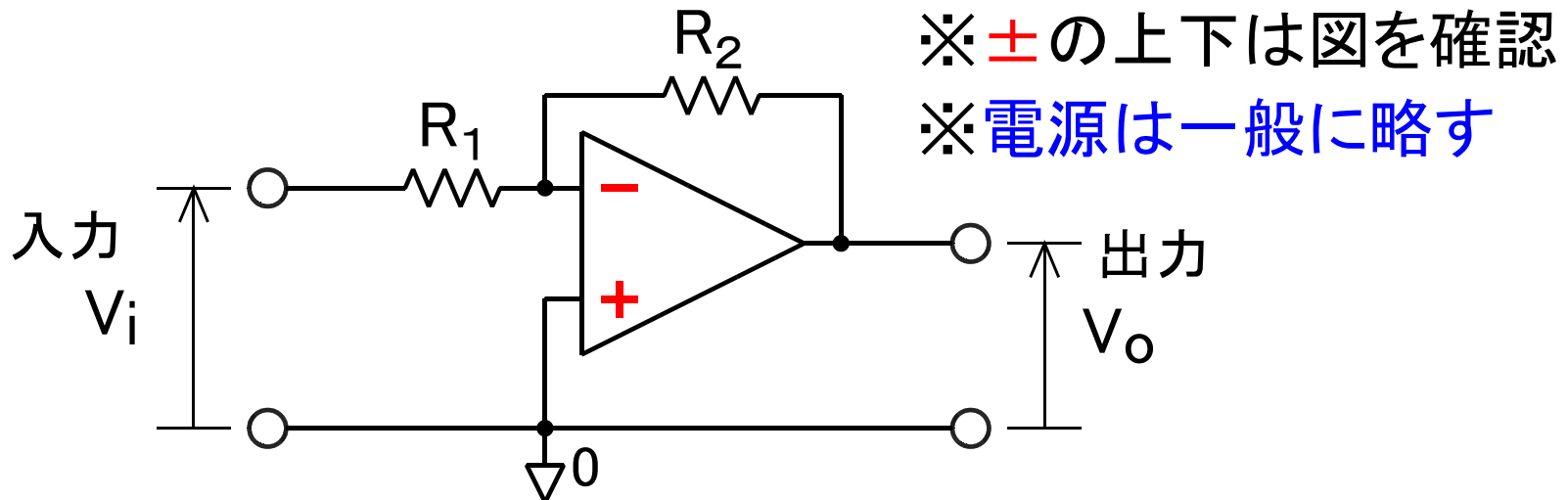
- ・理想: 何Vでも出せる 実在: 電源の内側
- ・理想: 何Aでも出せる 実在: 2,30mA程度等

反転増幅回路

○増幅回路の基礎 & 代表格

◇特性

- ・ $V_o = -(R_2/R_1) V_i$
- ・ 入力インピーダンス: R_1



反転増幅回路

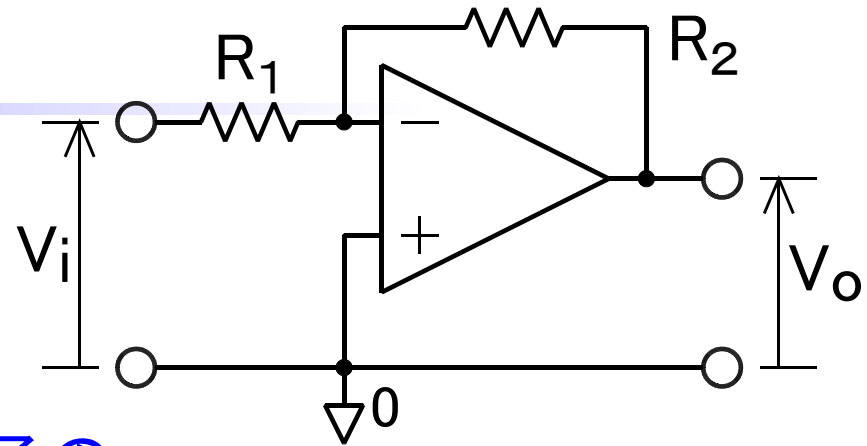
○動作の解析

◇基本方針

- ・ 2本の入力端子の電圧を求める
- ・ オペアンプの式: $V_o = V_{out} = A(V_+ - V_-)$ を当てはめる
- ・ A を ∞ にして(Limして)、式を整理する

◇解析法その2

- ・ +と-の端子間電圧=0として解析(後述)



反転増幅回路

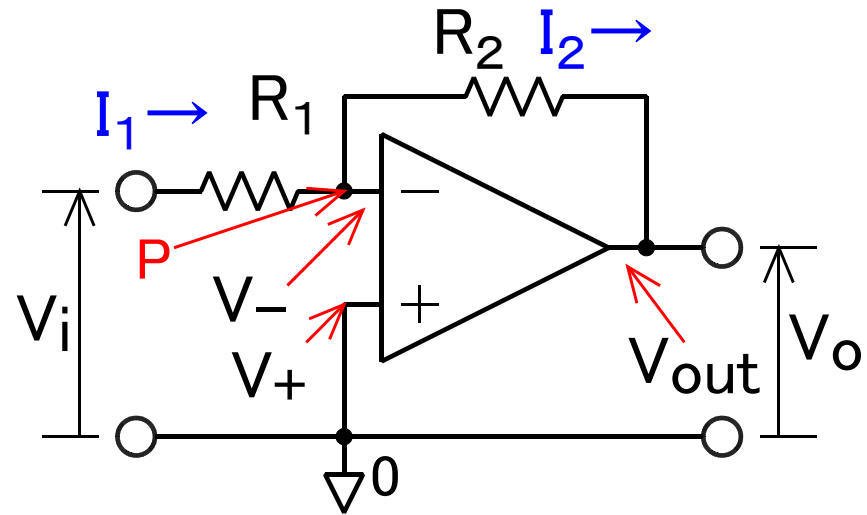
○解析の前準備

◇定数確認

- ・抵抗値
- ・固定の電圧

◇変数設定

- ・配線(接続点ごと)の電圧を示す変数
→ V_i V_o V_{out} V_+ V_-
- ・配線に電流変数 → I_1 I_2
- ・必要なら、接続点に名前 → P



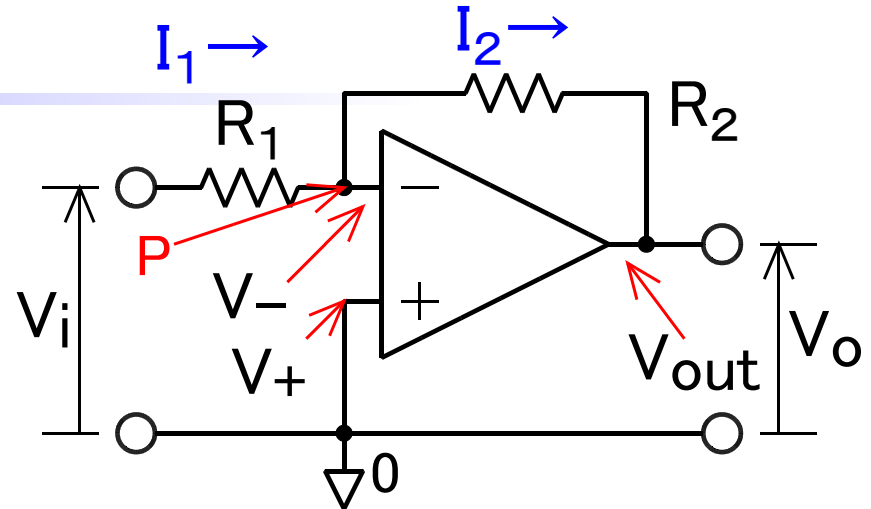
反転増幅回路

○動作の解析

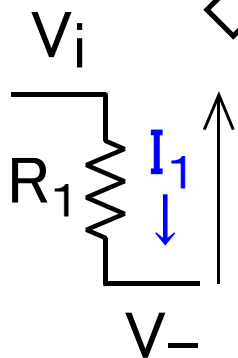
◇入力端子電圧

- ・ $V_+ = 0$
- ・ $V_- = ?$

V_- と V_o を R_1 と R_2 で分圧したような感じ



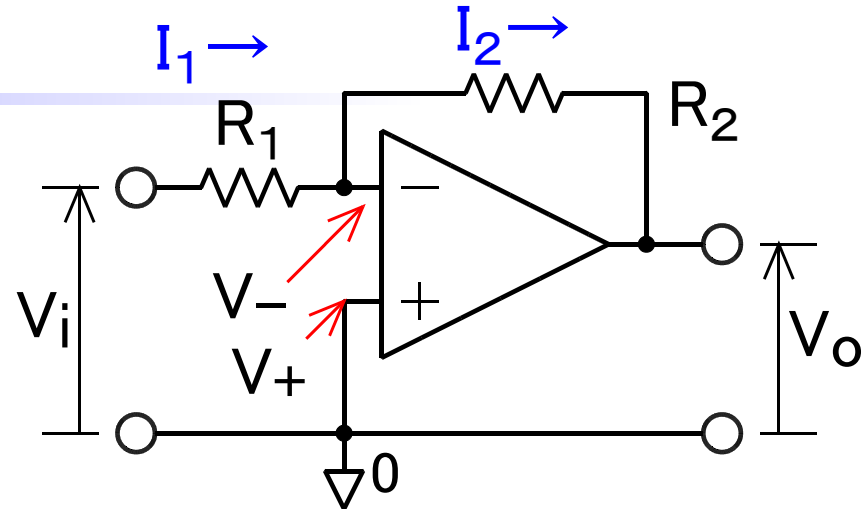
◇P点で: 電圧 = V_-



- ・ オーム: $V_i - V_- = R_1 I_1$ ※電圧: 上流一下流
- ・ オーム: $V_- - V_o = R_2 I_2$
- ・ キルヒ1: $I_1 = I_2 + 0$ ※一端子に流れない

反転増幅回路

○動作の解析



◇まとめて計算

- $(V_i - V_-) / R_1 = (V_- - V_o) / R_2 \rightarrow \times R_1 R_2$
- $(V_i - V_-) R_2 = (V_- - V_o) R_1 \rightarrow \text{移項、左右入替}$
- $V_- (R_1 + R_2) = V_i R_2 + V_o R_1$
- $V_- = (V_i R_2 + V_o R_1) / (R_1 + R_2) \quad \text{※汎用分圧}$

◇オペアンプの式 $V_o = A(V_+ - V_-)$ に代入

- $V_o = -A(V_i R_2 + V_o R_1) / (R_1 + R_2)$

反転増幅回路

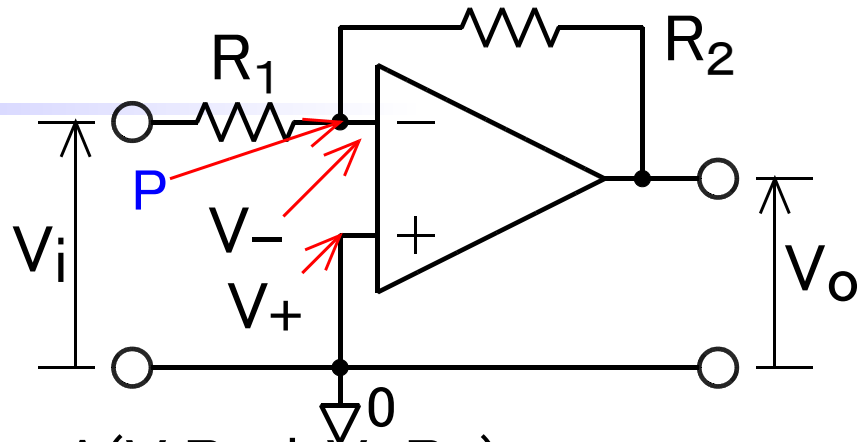
○動作の解析

◇ V_o について解く

- $(R_1 + R_2)V_o = -A(V_i R_2 + V_o R_1)$
- $(R_1 + R_2 + AR_1)V_o = -AR_2 V_i$ 両辺Aで割
- $\{(R_1 + R_2)/A + R_1\}V_o = -R_2 V_i$
- $V_o = \frac{-R_2}{(R_1 + R_2)/A + R_1} V_i$: 解いた式

◇電圧増幅度Aを ∞ とすると $(1/A) \rightarrow 0$ なので

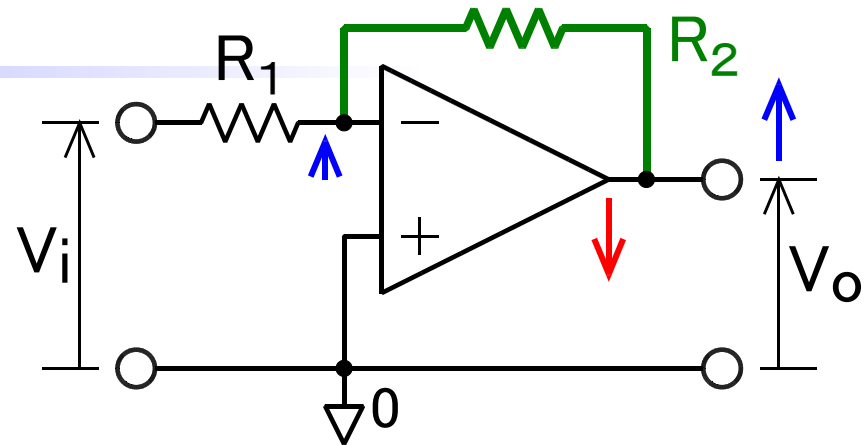
- $V_o = -(R_2/R_1)V_i$ 完



反転増幅回路

○負帰還(NFB)

※ネガティブ
フィードバック



◇出力から、出力を下げる側に電圧が戻る: R_2

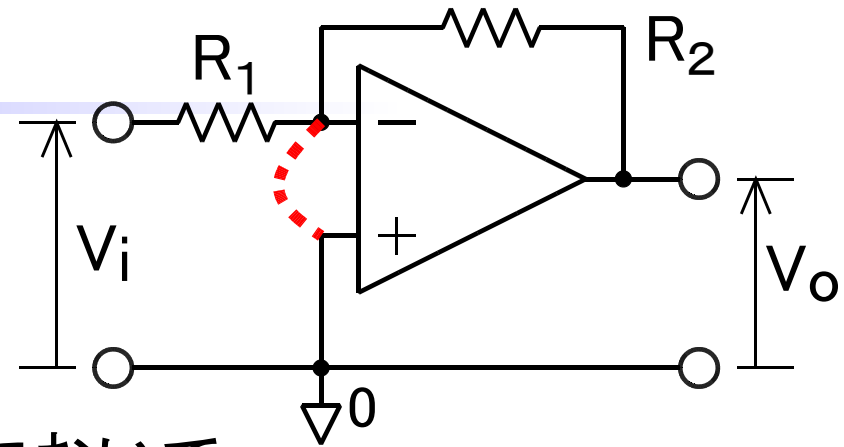
◇もし、何かの理由で出力電圧が上がると:

- ・引っ張られて一端子の電圧が上がる
- ・オペアンプ: $V_{out} = A(V_+ - V_-)$ によって、
出力電圧 V_{out} が下がる → 上がった分補正
- ・出力先の影響を受けにくく: 出力インピ°低

仮想短絡・仮想接地

○入力端子の電圧

◇負帰還型の
オペアンプ回路において



- ・出力に無難な電圧 V_o が出ている
→ 入力差($V_+ - V_-$)は非常に小さいはず
※($V_+ - V_-$) = $V_o / A \rightarrow 0$
- ・+-の2入力は同じ電圧
= ショートしている(直結)と同等
→ バーチャルショート: 仮想短絡

仮想短絡・仮想接地

○入力端子の電圧

◇オペアンプ回路において

- ・+-の2入力は**同じ電圧**

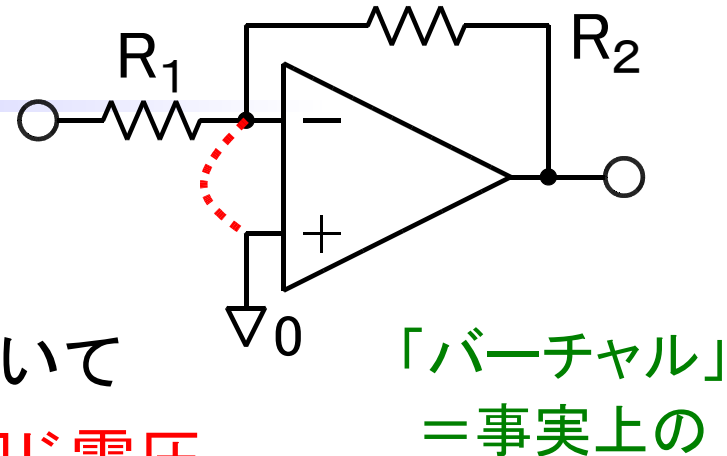
→ **バーチャルショート**: **仮想短絡**

- ・特に、一方が**0[V](GND)**につないである

→ **バーチャルグランド**: **仮想接地**

◇オペアンプ回路の解析

- ・仮想短絡、仮想接地を想定すると**簡単**
- ・既存の回路(負帰還型)の多くに成り立つ

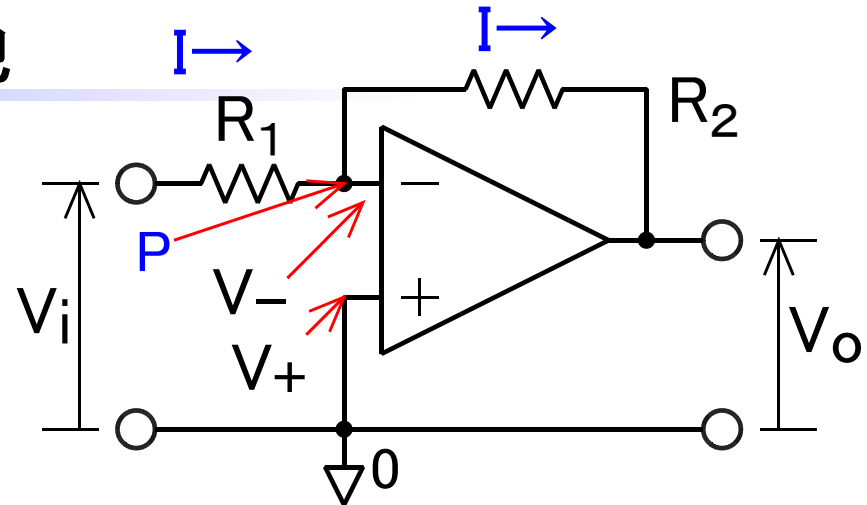


仮想短絡・仮想接地

○反転増幅回路

◇あらためて

- 仮想接地
- P点の電圧は0[V]
- 抵抗 R_1 には電圧 V_i がかかっているから、電流 $I = V_i / R_1$ が流れる。 ※入力インピ
- その電流はそのまま R_2 に流れる。(オペ入特)
- R_2 では上流:P点:0[V]から $R_2 I$ だけ電圧降下
→ $V_o = 0 - R_2 I = -(R_2 / R_1) V_i$ ※答



まとめ・補足

○オペアンプ回路の理解

◇新規に生み出す必要はない

- ・目的別回路を**選んで**、**抵抗値を設定**

◇**理解、解析**の必要性

- ・回路の元テンプレがわからなかった
- ・特殊な回路の理解

◇方針

※**使えない場合がある**ことも留意

- ・**動いている回路** & 負帰還型

→ **仮想短絡**／**仮想接地**を仮定してみる