

1 軸アームロボット実習

(メカトロニクス実習入門)

この冊子は弊社（長谷川技術開発）で製作している「1軸アームロボット」教材のテキストになっています。

2足歩行ロボットや遠隔操作ロボットなどロボット関節の制御に不可欠な位置決め制御の基本的な部分の学習教材です。

マイコンを用いず、センサ・モータ・オペアンプの電子部品と演算回路、ブロック線図など位置決め制御などが学習できるように説明しています。

本冊子の「1軸アームロボット実習」の部分は、高橋良彦 著『ロボティクス入門（新教科書シリーズ）』（装華房，2004）から、著作者・出版社の許諾を得て抜粋のうえ転載したものです。



本冊子・教材を購入して頂いて、ロボメカニクス・位置決め制御に興味を持たれましたら、『ロボティクス入門（新教科書シリーズ）』を購入して頂いてより一層の理解を深めて頂ければ幸いです。

内容

- 1 制御について
 - 1.1 マスタースレーブ方式のロボットの原理
 - 1.2 センサーの基礎
 - 1.3 オペアンプの基礎
 - 1.4 モーターの基礎
 - 1.5 制御回路の基礎
- 2 実習・組み立て
 - 2.1 部品の説明
 - 2.1.1 センサー
 - 2.1.2 オペアンプ
 - 2.1.3 固定抵抗
 - 2.1.4 半固定抵抗
 - 2.1.5 モータユニット
- 3 マスタースレーブ方式の製作

1 講義

1.1 マスタースレーブ方式ロボットの原理

マスタースレーブロボットアームでは、マスターアームを動かすとスレーブアームが追従して動きます。応用としては、人間が入れないような危険な環境での作業、あるいはインターネットを利用した遠隔操作作業などが考えられます。江戸時代であれば、図1のような機械的な連結のマスタースレーブとなってしまいます。

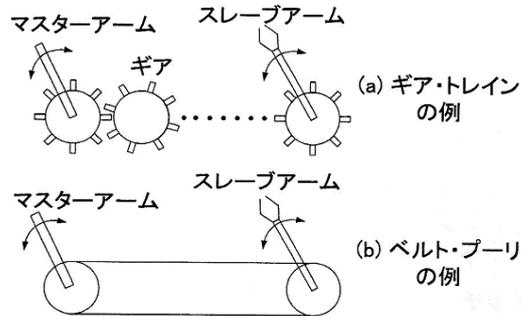


図1 . 機械的なマスタースレーブ

それに対して、現在であれば、電子回路やコンピュータが使える、よりインテリジェントなシステムが製作可能となります。マスターアームの回転角度をセンサーで読み取って電圧とし、またスレーブアームの回転角度をセンサーで読み取って電圧とします。その両者の電圧の差を偏差演算回路で演算し、モーターへと出力します。それにより、マスターアームにスレーブアームが追従することとなります。

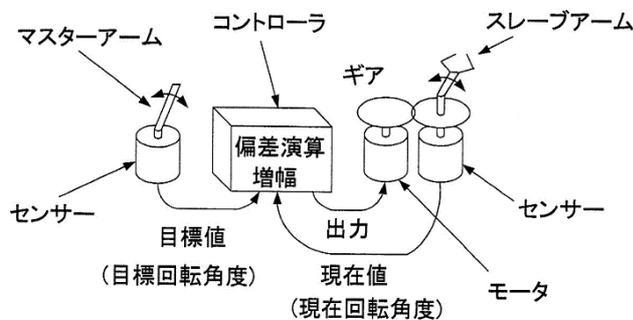


図2 現代の技術を用いたマスタースレーブ

図3は、マスタースレーブの信号の流れを示したブロック線図です。原理的には、図2と全く同じですが、信号の流れが分かりやすくなっています。

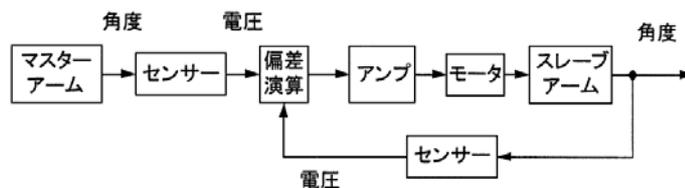


図3 マスタースレーブのブロック線図 (簡易型)

1.2 センサーの基礎

センサーは物理量を電圧などに変換します。今回は、回転角度を電圧に変換するポテンシオメーターを説明します。図4に内部構造を示します。抵抗体にブラシが回転して接触している構造です。端子は3本出ていて、両端の端子を基準電圧とグランドにつなぎます。すると、中央の端子から検出電圧が得られます。検出電圧は、ブラシの角度位置によって変化します。

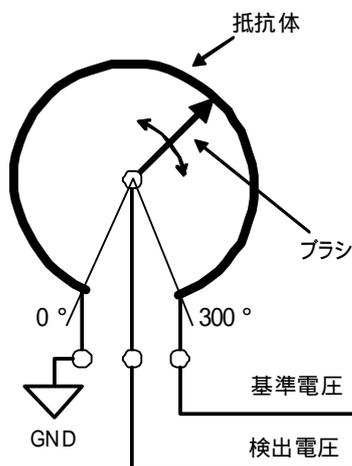


図4 ポテンシオメーター内部構造

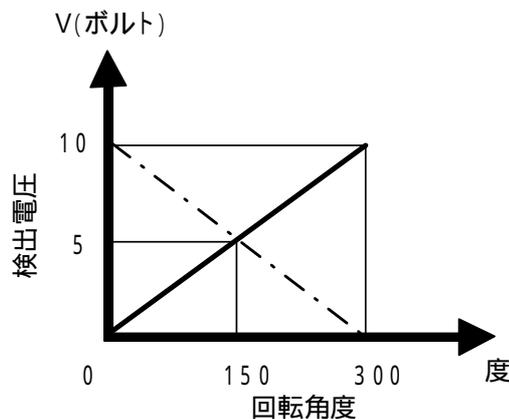


図5 ポテンシオメーター検出電圧例

検出角度が300度のポテンシオメーターに、基準電圧として10Vを接続します。すると、図5のような検出角度が得られます。

0度	0V
150度	5V
300度	10V

となります。つまり、電圧を読めば回転角度が分かりやすくなります。

(ポテンシオメーターの基準電圧とGNDを入れ替えると、点線のような値になります。)

0度	10V
150度	5V
300度	0V

ポテンシオメーターの回路図は図6のように示します。

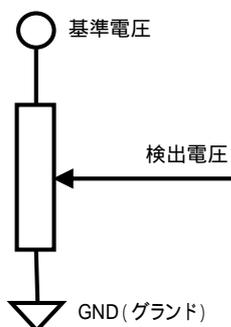


図6 ポテンシオメーターの回路図

1.3 オペアンプの基礎

電圧の演算を行う演算増幅回路 (Operational Amplifier) は、通称オペアンプと呼ばれています。単体の回路図は図7のようになります。 V_{in}^+ は (+) 側入力電圧、 V_{in}^- は (-) 側入力電圧、 V_{out} は出力電圧、 V^+ は (+) 側電源電圧、 V^- は (-) 側電源電圧です。ただし、オペアンプは単体ではあまり使用しません。

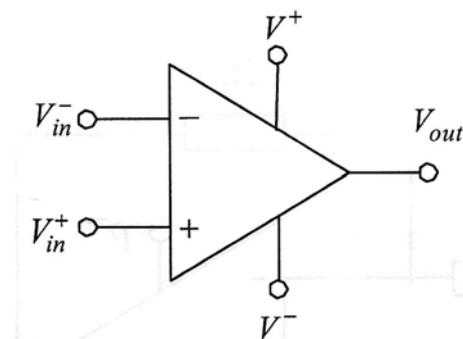


図7 オペアンプ単体の回路図

1.3.1 電圧増幅回路

図8に、オペアンプを利用した電圧増幅回路を示します。正式には反転増幅回路と呼ばれます。 $R_1 \cdot R_f \cdot R_g$ は抵抗です。入力関係は

$$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right)V_1$$

となります。

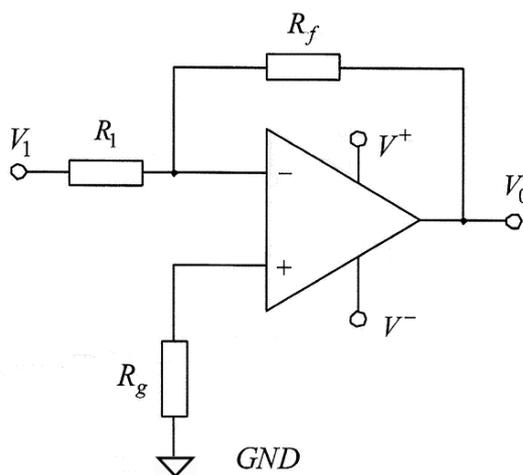


図8 オペアンプを利用した電圧増幅回路 (反転増幅回路)

つまり、入力電圧が、抵抗の比 (R_f / R_1) 分増幅されていることがわかります。 R_g は任意の保護抵抗です。

ただし出力電圧は、 V_0 は電源電圧 (V^+ 、 V^-) の範囲内に入っている必要があります。

1.3.2 2つの入力電圧の加算回路

次に2つの入力電圧の加算回路を説明します。図8の回路に一部抵抗を加えただけです。この回路の入出力関係は、

$$V_0 = -\left[\left(\frac{R_f}{R_1} \right) V_1 + \left(\frac{R_f}{R_2} \right) V_2 \right]$$

となります。

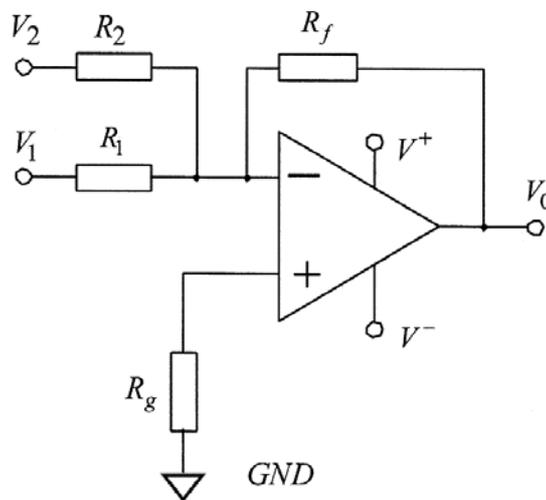


図9 2つの電圧入力の加算回路

つまり、2つの入力電圧がそれぞれ抵抗の比分増幅されて、加えられていることがわかります。 R_g は任意の保護抵抗です。

ただし出力電圧は、 V_0 は電源電圧 (V^+ 、 V^-) の範囲内に入っている必要があります。

1.3.3 減算回路

続いて、減算回路を説明します。これまでに説明した増幅回路と加算回路を組み合わせると、図10のように減算回路が出来ます。太い黒線のところで接続しています。抵抗を図のようにすると、入力関係は

$$V_0 = (V_1 - V_2)$$

となります。

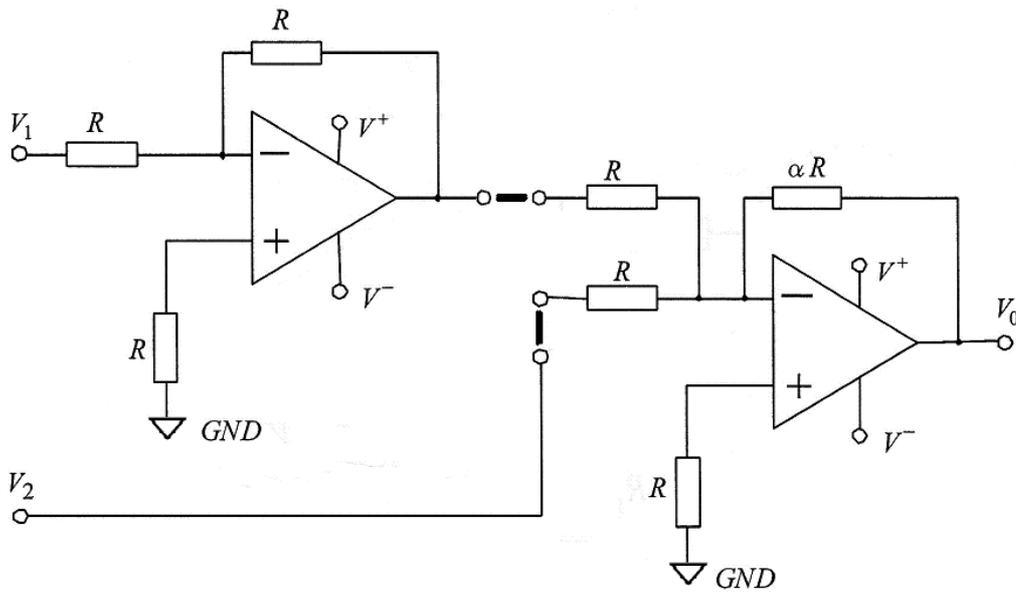


図10 減算回路

この回路は、ロボットアームの制御にとって非常に大切な回路となります。ブロック線的に描くと、図11のようになります。

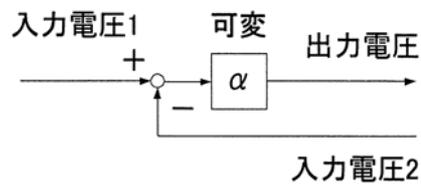


図11 減算回路のブロック線図

1.4 直流 (D C) モーターの基礎

1.4.1 磁界中に導線を 1 本のみ置き、その導線に電流を流し始めた場合を考えます。このときは、導線は電磁力を受け、動き始めます。この現象はフレミングの法則と呼ばれ、図 1 2 のような関係となっています。ここで、図の記号は以下のとおりです。

F : 発生力

I : 電流

B : 磁束密度

L : 磁界中の導線

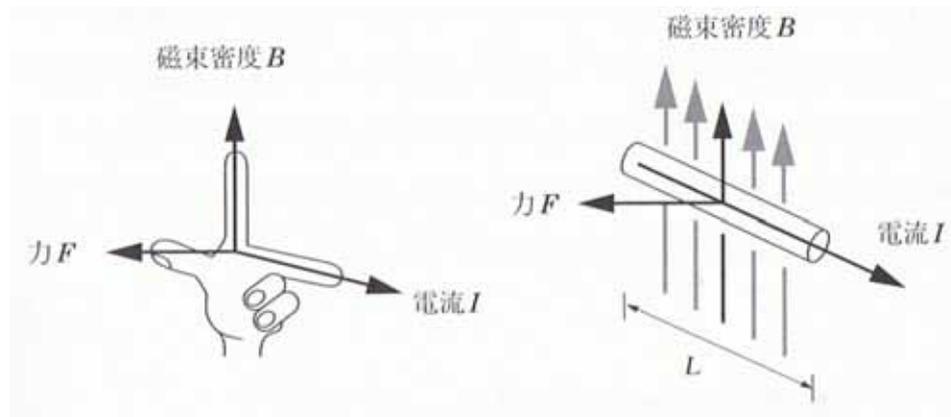


図 1 2 フレミングの左手の法則

発生力の方向は、電流そして磁界と直行する方向であり、その大きさは次の式となります。

$$F = (B L) I$$

つまり、磁束密度 B と磁界中の導線の長さ L は一定であると仮定すると、発生力は電流の大きさに比例します。

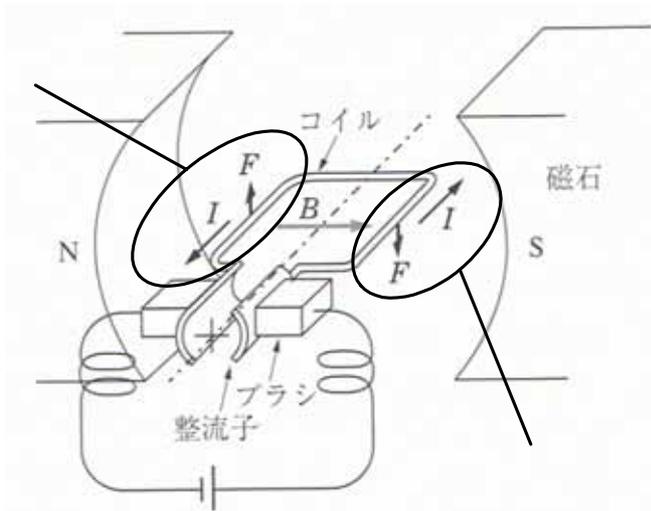


図 1 3 整流子とブラシによる電流方向の切り替え

と の 2 か所でフレミングの法則に則って発生力 F が生じています。

と では向きが逆の為、回転力が生じています。

また、電流 I の向きを変えると発生力 F の向きが変わり、回転方向が変わることが分かります。

1.4.2

直流モーターは、図 1 4 のように 2 本の端子が出ている構造です。電池との接続を変えると、回転方向が変わります。

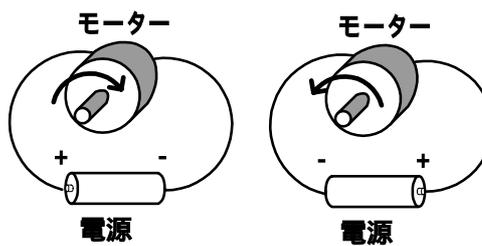


図 1 4 モーターの回転方向

直流モーターは、図15、図16に示すように、ギアを用いて減速し、発生する回転力（トルク）を増大させます。回路図としては、簡易的に図17のように描きます。

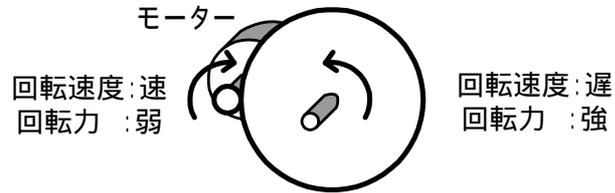


図15 ギアによる回転力（トルク）の増大化（減速ギア1枚のとき）

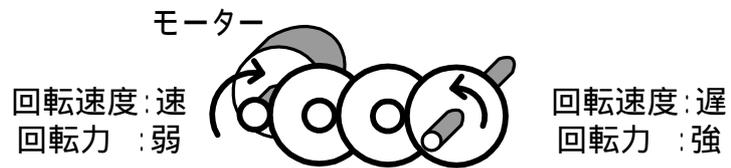


図16 ギアによる回転力（トルク）増大化（減速ギア複数枚のとき）

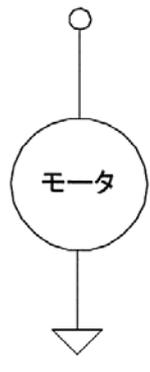


図17 モーターの回路図（簡易版）

1.5 制御回路の基礎

これまで説明しました各項目を組み合わせると、図3のマスタースレーブのブロック線図は、図18の回路図となります。

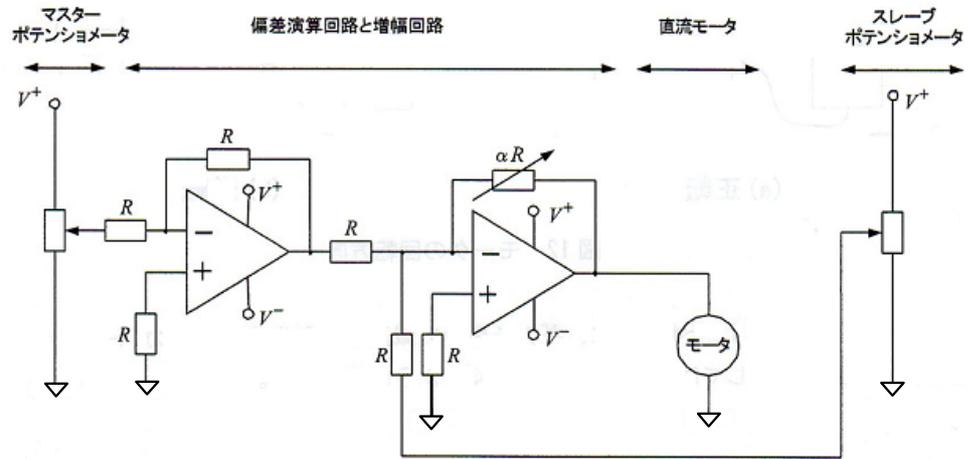


図18 マスタースレーブの回路図

演算の過程を図 19 に示します。

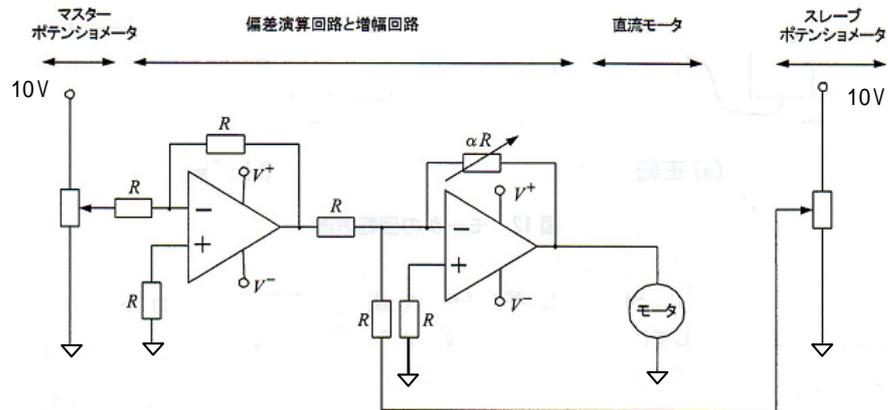


図 19 マスタースレーブの演算例

V^+ が +10V、
 マスターポテンシオメータが 300°
 スレーブポテンシオメータが 0°
 のとき、

ポテンシオメータは

- : 300° では 10V
- : 0° では 0V
- : 反転増幅 (R は同じなので倍率は 1 なので反転のみ) で -10V
- : 加算回路 (で反転されているので減算回路により) $-10V + 0V$
- : 分増幅されて (さらに反転されて) モーターに出力される

$$\text{モーター電圧} = [(-10 + 0)] \times$$

すなわち、(が 1 のとき) +10V でモーターが回転します。この時、モーター軸は減速ギアを介し、スレーブ側のポテンシオメータに接続されているので、モーターの回転と共にポテンシオメータの角度も変化します。

時間が経過して、スレーブ側のポテンシオメータの角度が 150° になったとき、

- : 150° では 5V
- : 反転増幅 (R は同じなので倍率は 1 なので反転のみ) で -10V
- : 加算回路 (で反転されているので減算回路により) $-10V + 5V$
- : 分増幅されて (さらに反転されて) モーターに出力される

$$\text{モーター電圧} = [(-10 + 5)] \times$$

すなわち、(が 1 のとき) +5V でモーターが回転します。

モーター電圧が 10V のときより、トルクは半減しましたが回転しています。
 さらに時間が経過して、スレーブ側のポテンシオメーターの角度が 300° になったとき、

- : 300° では 10V
 - : 反転増幅 (R は同じなので倍率は 1 なので反転のみ) で -10V
 - : 加算回路 (で反転されているので減算回路により) -10V + 10V
 - : 分増幅されて (さらに反転されて) モーターに出力される
- $$\text{モーター電圧} = [(-10 + 10)] \times$$

すなわち、(が 1 のとき) モーター電圧が 0V になり、回転が停止します。

また が 0° で が 300° のときは

(が 1 のとき) モーター電圧が -10V になり、回転が逆回転します。

時間の経過とともに

モーター電圧 = $[(-0 + 0)] \times$

(が 1 のとき) モーター電圧が 0V になり、回転が停止します。

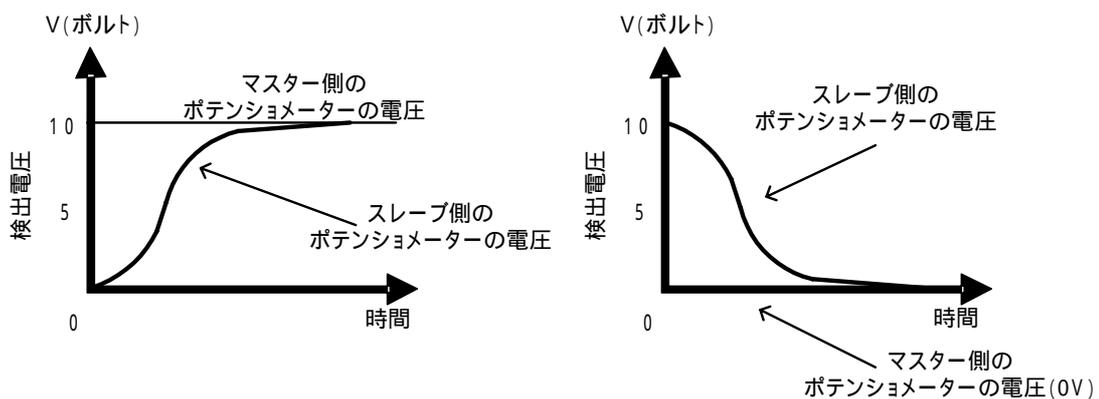


図 20 時間軸にみたスレーブ側アーム角度の追隨

マスター側のポテンシオメーターの角度に追従するように、スレーブ側のポテンシオメーターとの角度を演算回路でモーターへと出力します。それにより、マスターアームにスレーブアームが追従することとなります。

参考書

高橋良彦：「新教科書シリーズ ロボティクス入門」(裳華房, 2004)