

FATEC

ACサーボ実践コース

(MELSERVO-J4)
を受講する前に
読んでいただきたい冊子



お客様各位

拝啓

この度は、三菱電機 FA テクニカルセンター“AC サーボ実践”コースにお申込みいただきましてありがとうございます。本コースの内容については、パンフレットや三菱電機 FA サイトにて紹介させていただいておりますが、初めてサーボをお使いなる方には、ボリュームが多いこともありますし、本冊子を予習も兼ねて一読いただきますようお願い申し上げます。

また、本冊子にて“インバータとサーボの違い”等で紹介していますようにサーボを学習することによってインバータを学習する上でも、より理解が深まります。

敬具

目次

1. サーボとは
2. サーボモータ
3. サーボアンプ
4. サーボとインバータの違い
5. コントローラ
6. AC サーボ実践コースで使用する実習機について
7. 電子ギア（このあたりから、難しくなるので概要だけでも頭に残しておこう）
8. 絶対位置指令とインクリメンタル位置指令
9. 偏差カウンタ、ゲイン調整

1. サーボとは

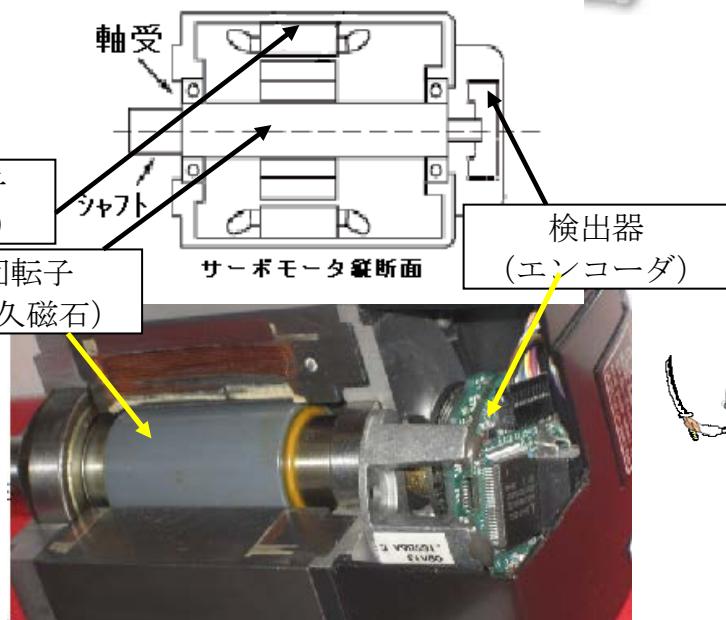
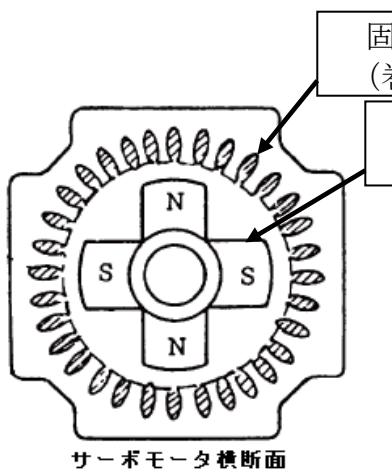
サーボは、いろいろな用途で使用されますが、ロボットで説明すると駆動部にはサーボモータを使用しており、目的位置にすばやく動いてすばやく止まることができます。（いろいろな用途事例は、講座の1章“AC サーボの用途”のところで説明があります）



1.1 サーボモータの特徴

サーボモータは、回転子に永久磁石を埋め込むことによりイナーシャ*を小さくして、すばやく動いてすばやく止まることを実現しています。

またシャフトの後ろに検出器（エンコーダ）を取り付け目的位置に到達する制度などを上げています。



サーボモータカットモデル

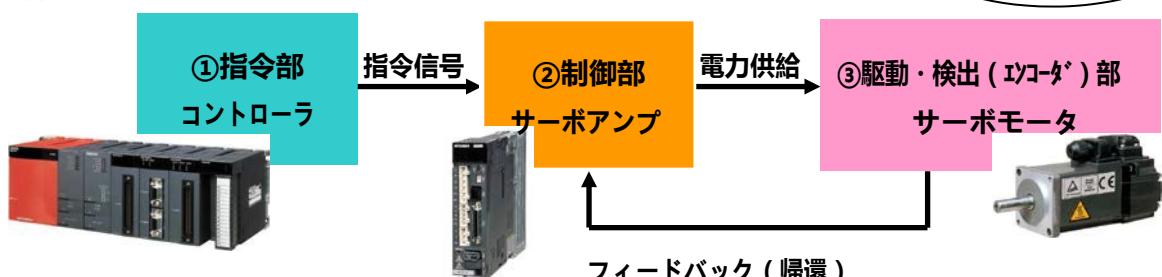
*イナーシャ（慣性モーメント）：回転体の回転重さを表す量のこと。

1.2 サーボ構成

サーボ機構は 次の通りで構成されています

- (1)動作を命令する指令部（コントローラ）
- (2)命令通りモータを動かす制御部（サーボアンプ）
- (3)動きの状態を監視する検出器〔エンコーダ〕を持つ駆動部（サーボモータ）

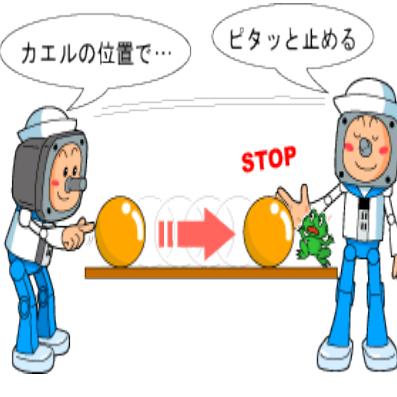
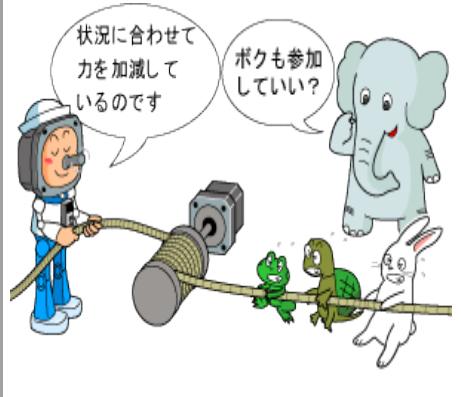
3つの組み合わせで動くんだ。



フィードバック（帰還）
★エンコーダフィードバックは、基本的に汎用インバータにはありません。

サーボシステムの特徴として、検出器〔エンコーダ〕からサーボアンプへのフィードバック信号があります。コントローラから出された指令信号+とサーボモータ、検出器〔エンコーダ〕からのフィードバック信号-の足し算をして、常に結果がゼロになるように働いているのが、偏差カウンタ（14ページで少し説明しています）になります。

1.3 サーボの制御 サーボの制御には、位置・速度・トルクおよびそれらの組合せ制御が可能で。

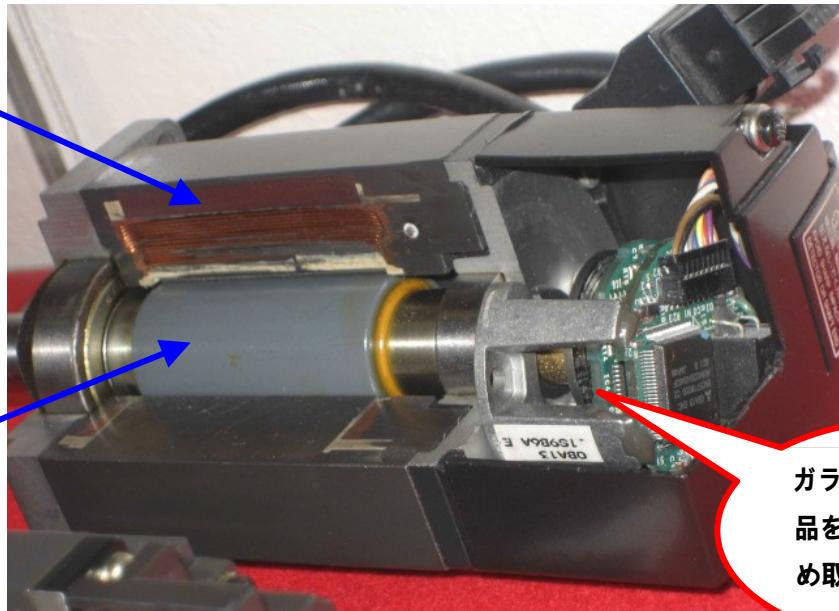
位置制御	速度制御	トルク制御
指示位置に対して、正確に移動・停止できます。 位置精度は、ミクロン(μm : 千分の一ミリ)以下まで可能なものです。	目標速度が変化した場合でも、すばやく応答できます。 負荷が変動しても、目標速度からの変動をきわめて小さくできます。広い速度範囲で連続運転が可能です。	負荷が変化しても指示されたトルクで正確な運転ができます。 ※トルクとは、回転軸を回そうとする「力」のこと。
		

2. サーボモータ

(1)サーボモータの内部構造：大きくステータ、ロータ、検出器（エンコーダ）に分かれる。

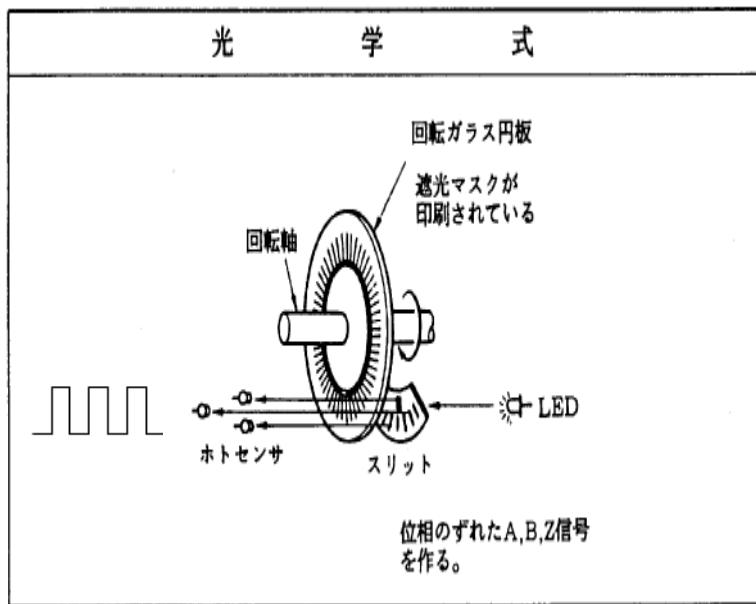
ステータ：ロータを回すための土台となり、コアに電線を巻いている。

ローター：軸が回転する部分。エンコーダとつながっている



検出器（エンコーダ）には、ロータからの回転軸につながったガラス円板とLED→スリット→ホトセンサを受けた電気信号を処理、制御する電子部品が搭載されている。

ガラス円板や電子部品は、振動、衝撃に弱いため取り扱いには注意が必要になります。



スリットにLEDの光が通過するか見ていいんだ。

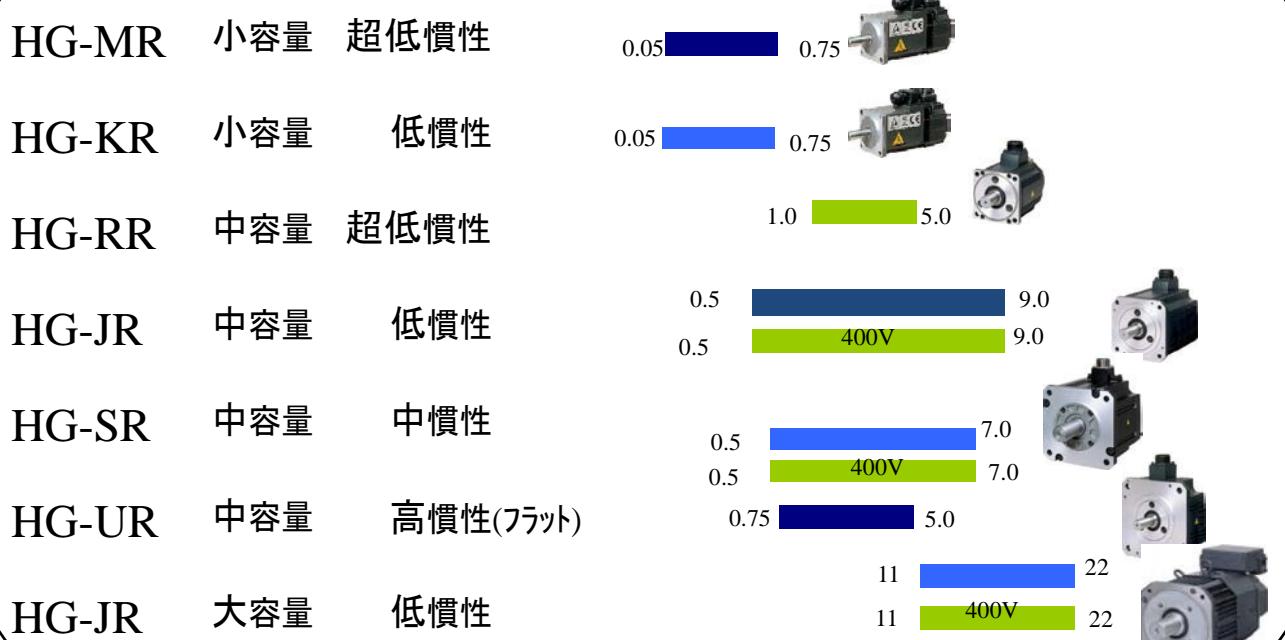


(2)サーボモータのラインナップ

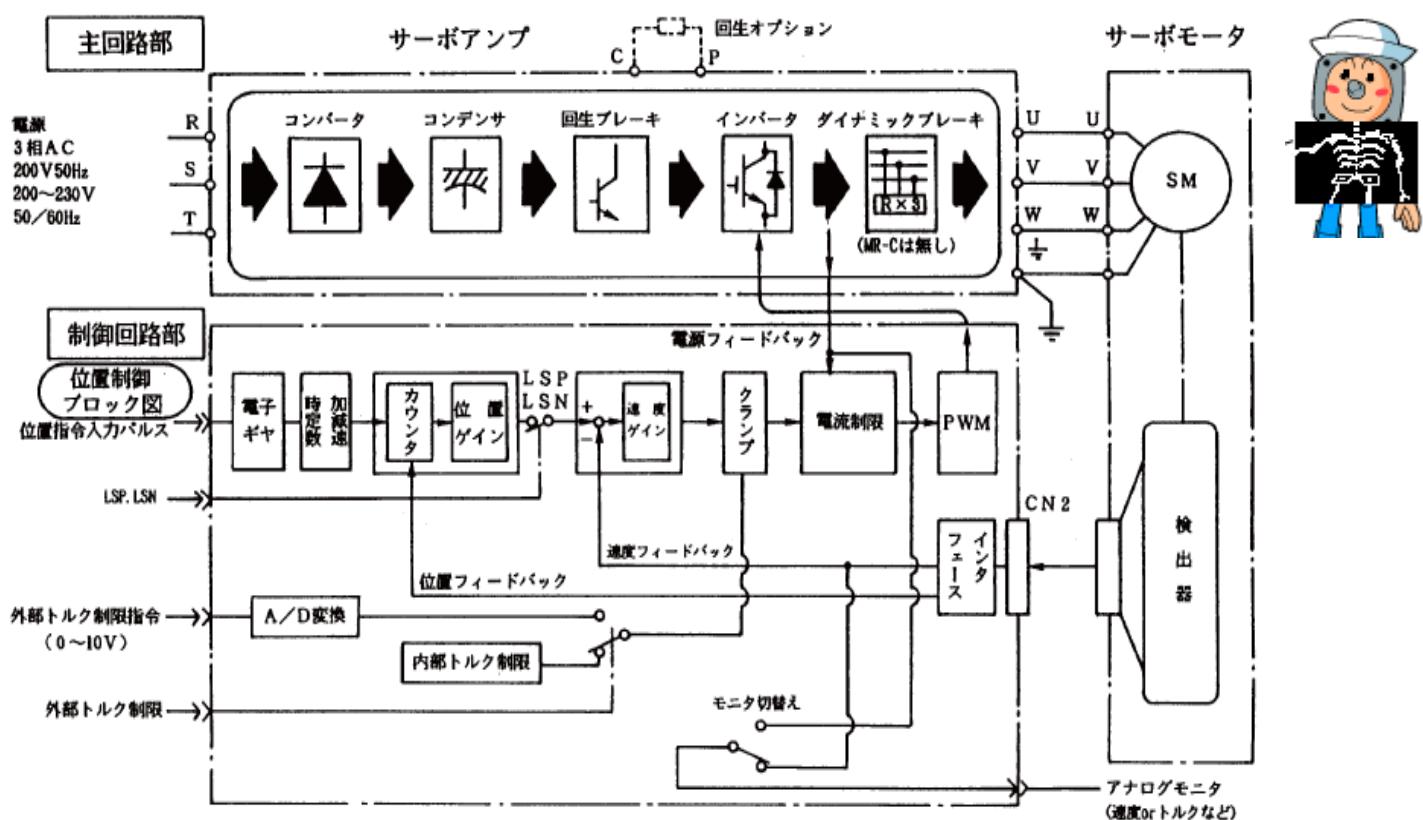
サーボアンプ毎に対応したサーボモータを豊富なラインナップの中から選定する必要があります。

仕様には、小容量50W から大容量 5 KW まで、超低慣性から高慣性まで、定格回転速度は、1000r/min (一分間に 10000 回転) から 3000r/min まで、電源仕様単相 100V から三相 AC400V まで など豊富です。

(使用用途に応じた容量選定は、講座の 6 章の“選定”のところで説明があります)



3. サーボアンプ

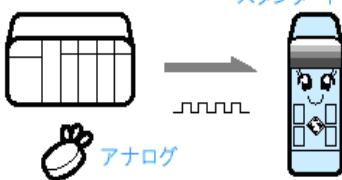
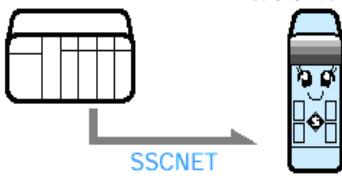
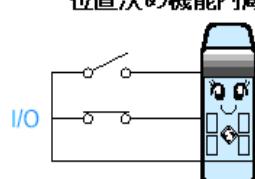
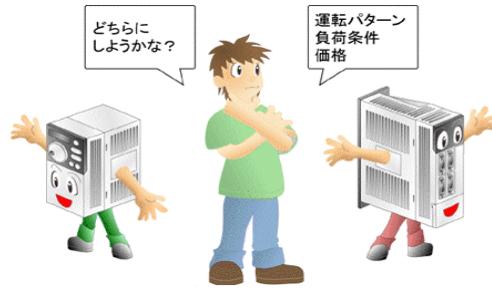


サーボアンプの中身は、主回路と制御回路部に分かれます。主回路部は、コンバータ、コンデンサ、回生ブレーキ、インバータ、ダイナミックブレーキから構成され、この部分は、インバータのものとほぼ同じになります。

制御回路部は、サーボモータにある検出器（エンコーダ）からのフィードバックがありますので、インバータと比べ複雑な回路構成になっています。

(それぞれの回路の概要は、講座の 1.4 項“AC サーボのしくみ”的ところで説明があります)

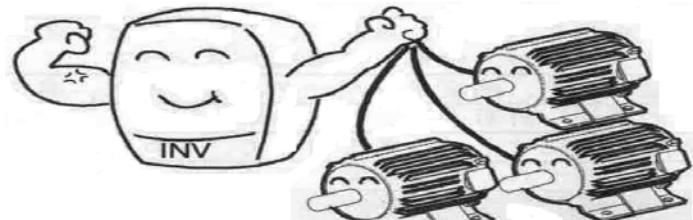
サーボアンプのタイプは、制御方式に応じて以下の A、B、T の 3 タイプに分かれます。

Type A	 アナログ	スタンダードタイプ	<ul style="list-style-type: none"> 汎用 I/F の A タイプです。 アナログ、パルス列などさまざまな I/F に対応。 位置、速度、トルク制御が可能です。
Type B	 SSCNET	おすすめタイプ	<ul style="list-style-type: none"> SSCNET* 対応の一度使用したらやめられない B タイプです。 省配線、パラメータ管理、モニタなど上位の コントローラで全て対応。 同期システムなどで威力を発揮します。 <p>*SSCNET: サーボシステムコントロールネットワーク</p>
Type T	 I/O	位置決め機能内蔵タイプ	<ul style="list-style-type: none"> I/O 入力だけで位置決めができます。 位置決め機能内蔵なのでポイントテーブルにデータを書き込むだけで目的位置まで動きます。 <p>(CC-Link 含む)</p> 

4. サーボとインバータの違い

(1)概略比較

比較項目	AC サーボ	インバータ
制御用途	過渡状態の制御を、素早く、精度良く実現する必要がある場合に利用されます。	比較的ゆるやかな定常状態の制御が対象となります。
制御機能	位置制御モード、速度制御モード、トルク制御モードに対応します。	基本的には、速度制御モードが対象です。
利用モータ	モータは、基本的にサーボアンプとの関係で、専用・限定的となります。(同じメーカー品でもシリーズやタイプによって限定)	汎用(誘導)モータが利用できます。 (違うメーカーのものでもスペックが合えば利用可能)
複数モータ	基本的に、1台サーボアンプで1台のモータ駆動です。	駆動 1 台インバータで、複数台モータの駆動が可能です。
価格	比較的に高価となります。	> 比較的に安価です。

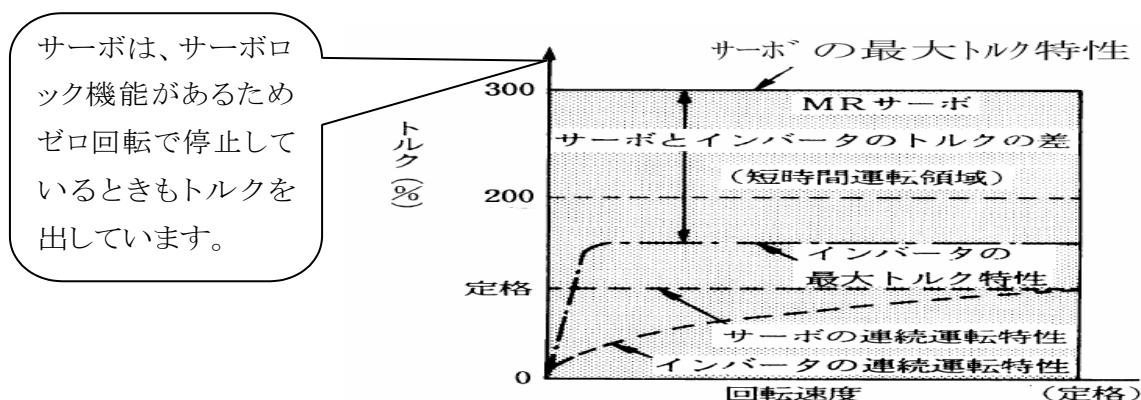


インバータは、容量に余裕がある場合複数台モータの接続が可能であるが、サーボは、基本は 1 台、1 台対応なので、容量選定を慎重に行う必要があります。

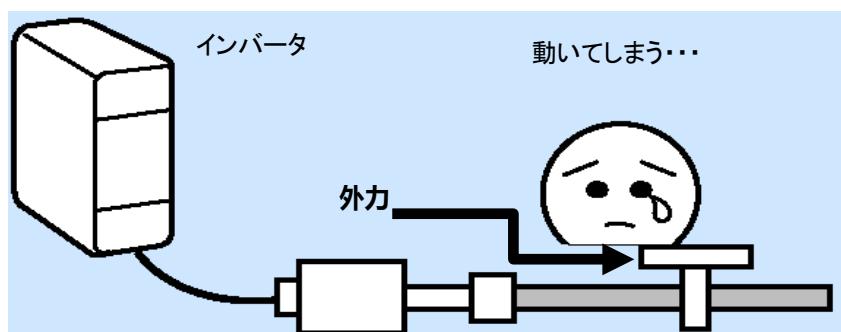
(2)性能比較

比較項目	AC サーボ	インバータ
応答性(大きい程よい)	高い。 200~5500rad/s 程度	低い。 30rad/s以下。
停止精度	1 μm 程度まで可能。	最高で 100 μm 程度まで。
始動停止頻度 (始動/停止できる回数)	20~600 回/分程度。	20 回/分程度以下。
速度変動率 少ない。 (不可が 0~100%まで変化した場合)	0.03%程度	大きい。1~5%程度
連続運転範囲 (100%負荷で連続運転できる速度範囲)	広い。1:5000程度。	狭い。1:10程度。
最大トルク(定格トルク比)	300%程度。	150%程度。
出力	10W~60KW程度。	100W~300KW

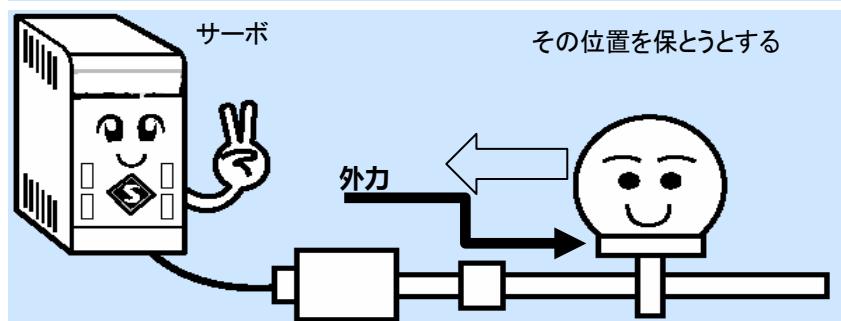
(3)トルク特性比較



(4)サーボロック機能

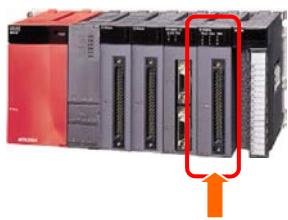


- ・サーボモータが制御可能状態での位置保持のこと。
- ・外力で1パルスでもズレを生じるとその誤差を修正しようと動作してモータに電流を流し外力に反抗するトルクを発生する。



5. コントローラ

- (1) 位置決めユニット：パルス列とシリアルバス通信の二つに分かれます。サーボモータの数が少ない場合や、
簡易的にサーボ運転する場合に使用。プログラムは、シーケンサで使用するラダープログラムに、セットアップソフトウェアを用いて位置決めしたい場所を設定していきます。
(FATEC スクールでは“Q 位置決め”、“FX 位置決め”コースをご用意しています)



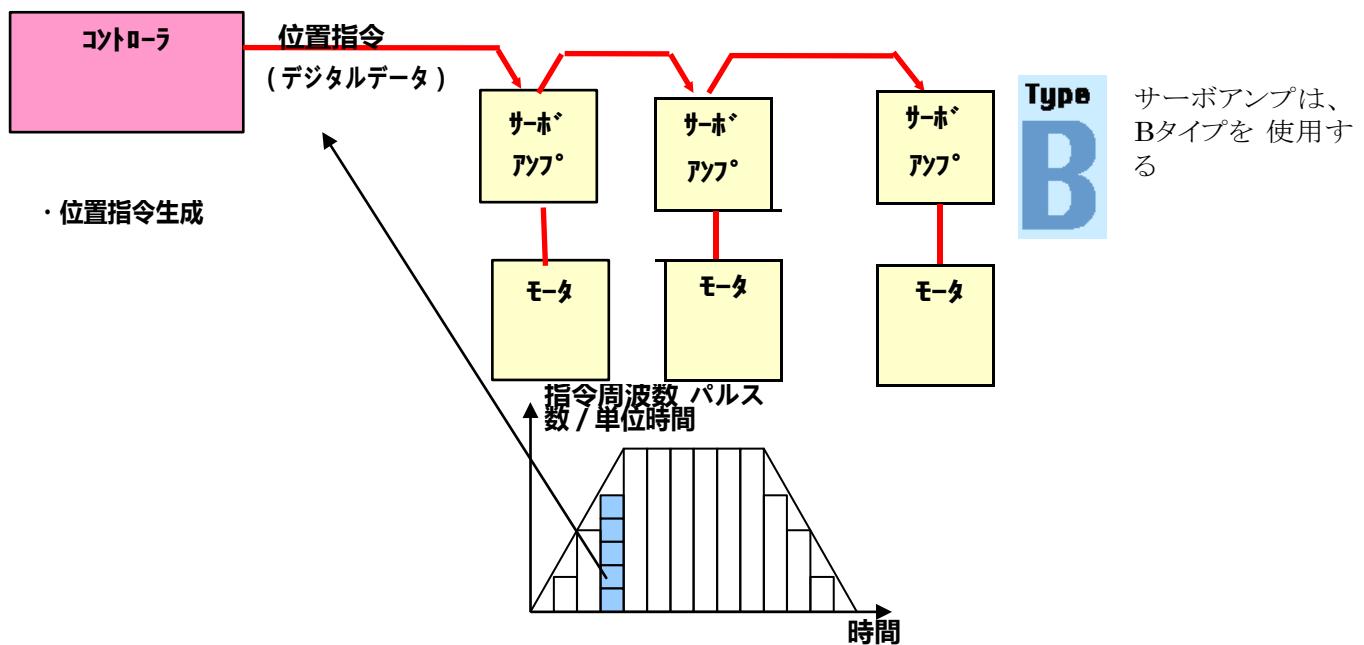
シーケンサに位置決めユニットを装着し、使用する



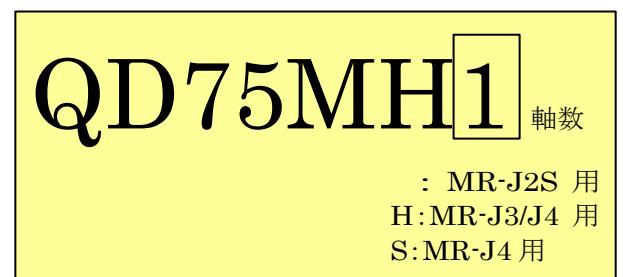
① リアルバス通信方式の位置決めユニット

位置決めユニットから、デジタルデータが出力されサーボアンプを通して、モータへ送られる。

- 位置指令をデジタルデータでネットワーク通信
- 一定周期毎の双方向通信



シリアルバス通信方式の位置決めユニットには、光ケーブル(耐ノイズ性に強く、高速通信ができるMR-J3/J4用)
接続によるものがあります。



同じシリアルバス通信方式を使ったモーションコントローラの紹介

モーションコントローラ：制御するサーボモータの数が多い場合や、高精度な同期（シンクロ）



シーケンサにモーションCPUユニットを装着し、使用する

運転する場合に使用。プログラムは、モーション SFC やメカサポート言語を使用。
(シーケンサで使用するラダープログラムと異なるためFATEC スクールでは“Q モーションコントローラ”コースをご用意しています)



モーションSFC

~ 8 ~

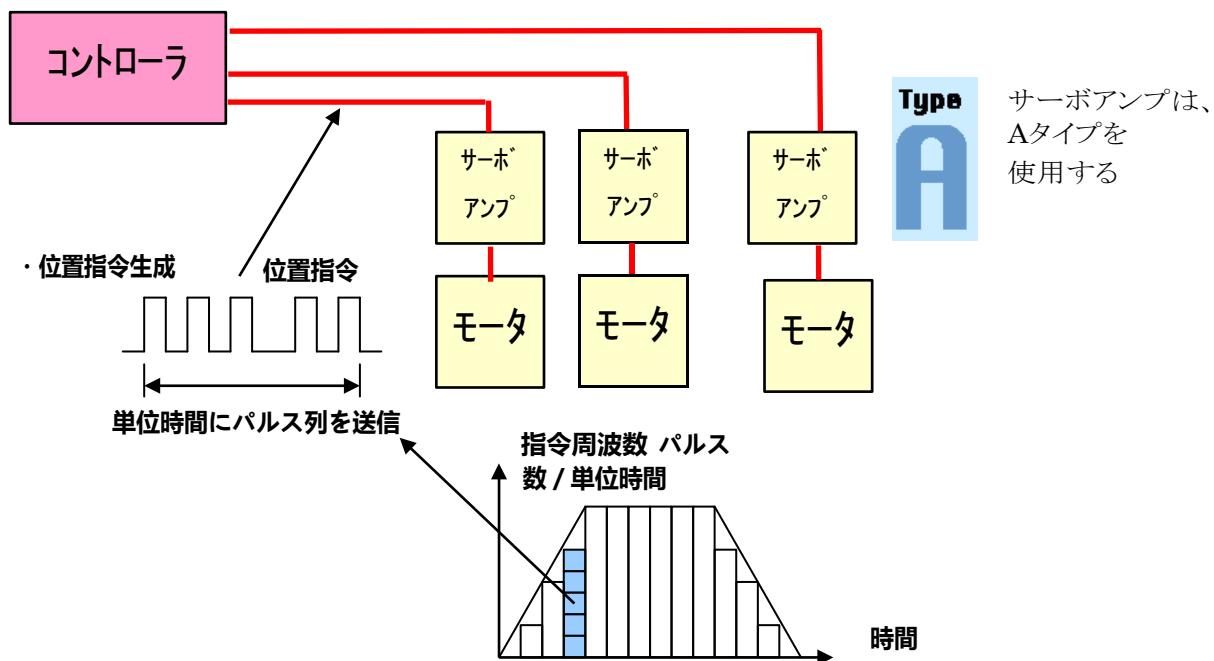


メカボット言語

②パルス列方式の位置決めユニット

位置決めユニットから、パルス列が出力されサーボアンプを通して、モータへ送られる。

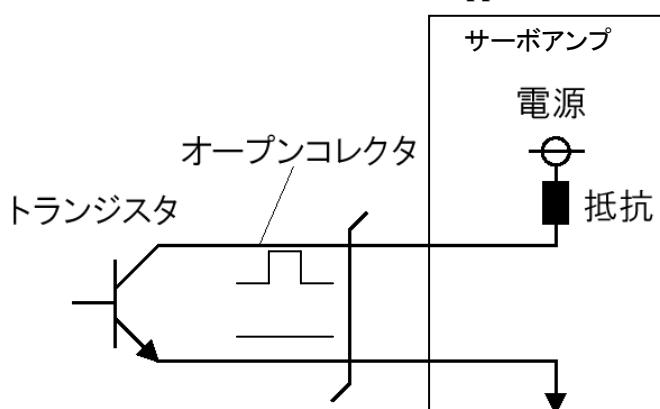
- モータの回転量は入力されたパルス数に比例。
- モータの速度はパルスの指令周波数に比例。



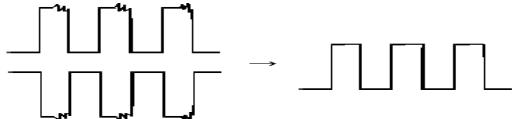
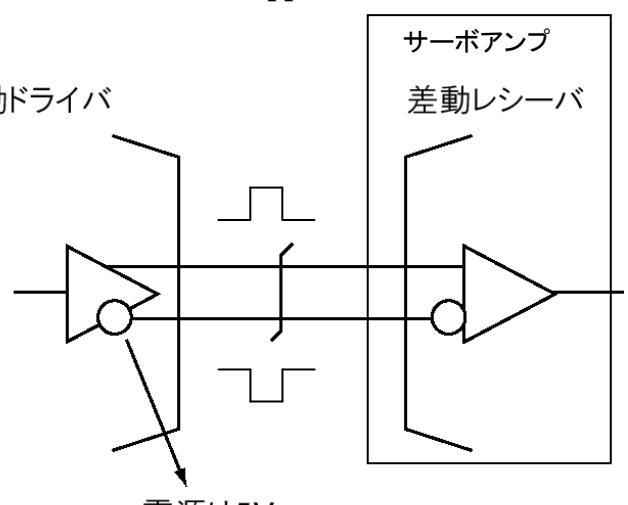
パルス列方式の位置決めユニットには、I/F(インターフェース)としてオープンコレクタと差動方式の2種類があります。



オープンコレクタ(最大200kpps)



差動(最大4Mpps)



“差分を実信号として取出すため耐ノイズ性が高い”

従来は、簡単なオープンコレクタ出力タイプが主流でしたが、パルス列の高速化・耐ノイズ性の向上などから最近は、差動ドライバ出力タイプが多くなっています。

6. AC サーボ実践コースで使用する実習機について

本コースでは、実習機とパソコン（MR-Configurator2）を使ってパラメータ変更、ゲイン調整、モニター表示等を行っていきます。

シーケンサ

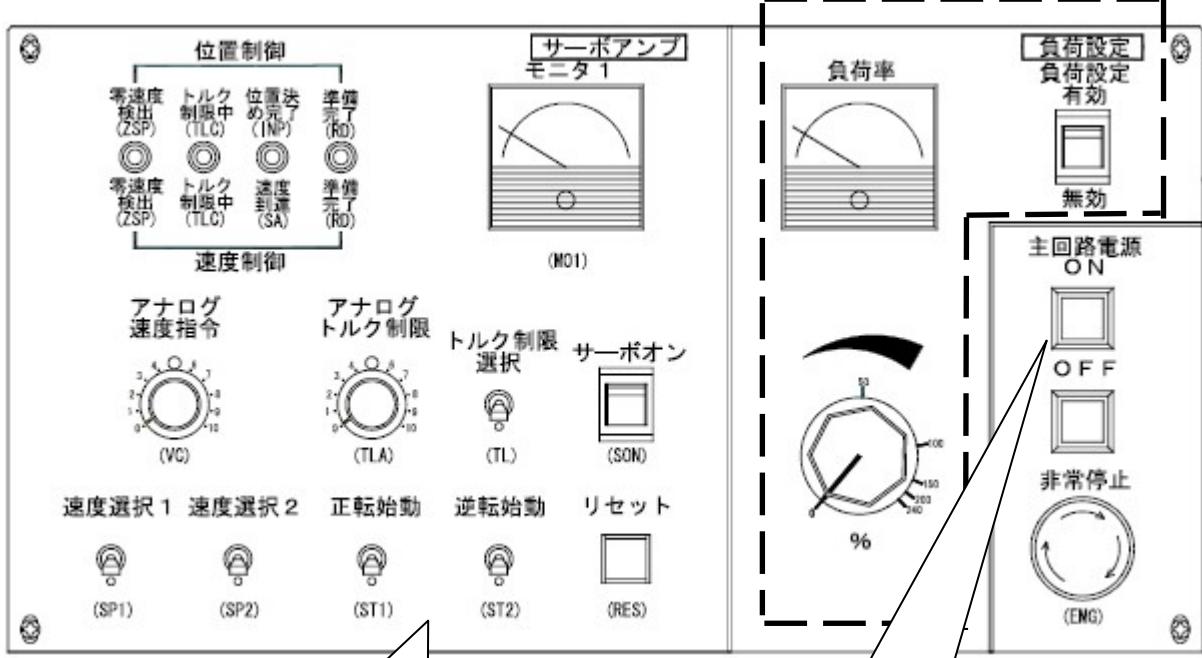
Q32SB, Q61SP
Q03UDECPU
QD75D1N,
QX40

サーボアンプ
MR-J4-10A
操作パネル2



操作パネル1

パウダーブレーキを使ってタイミングベルトに負荷をかけていきます

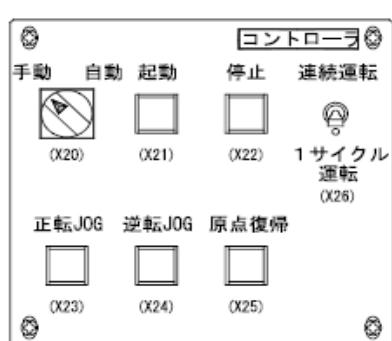


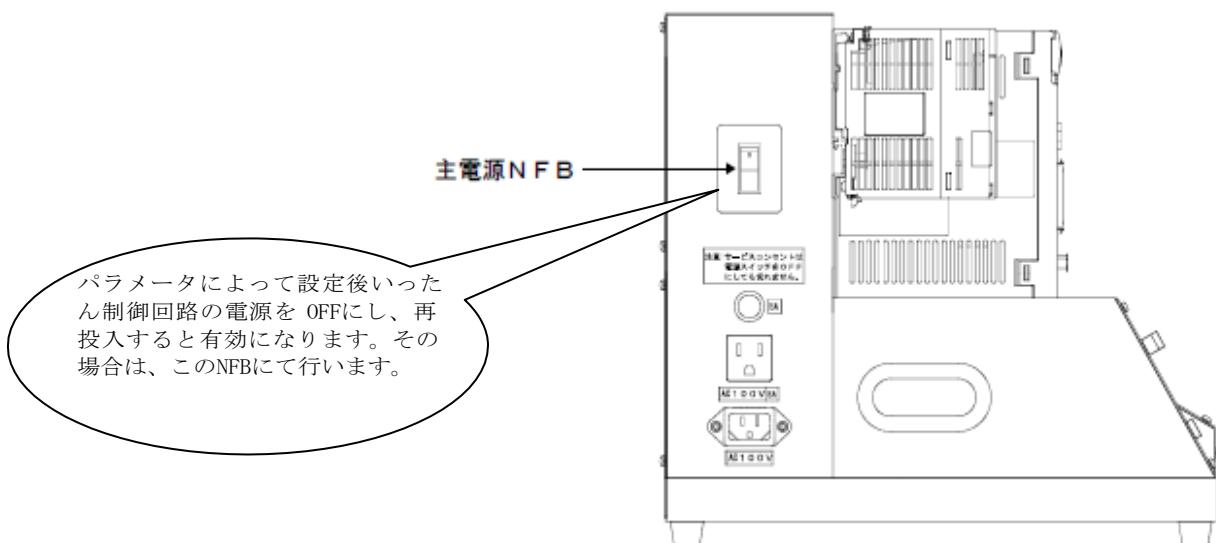
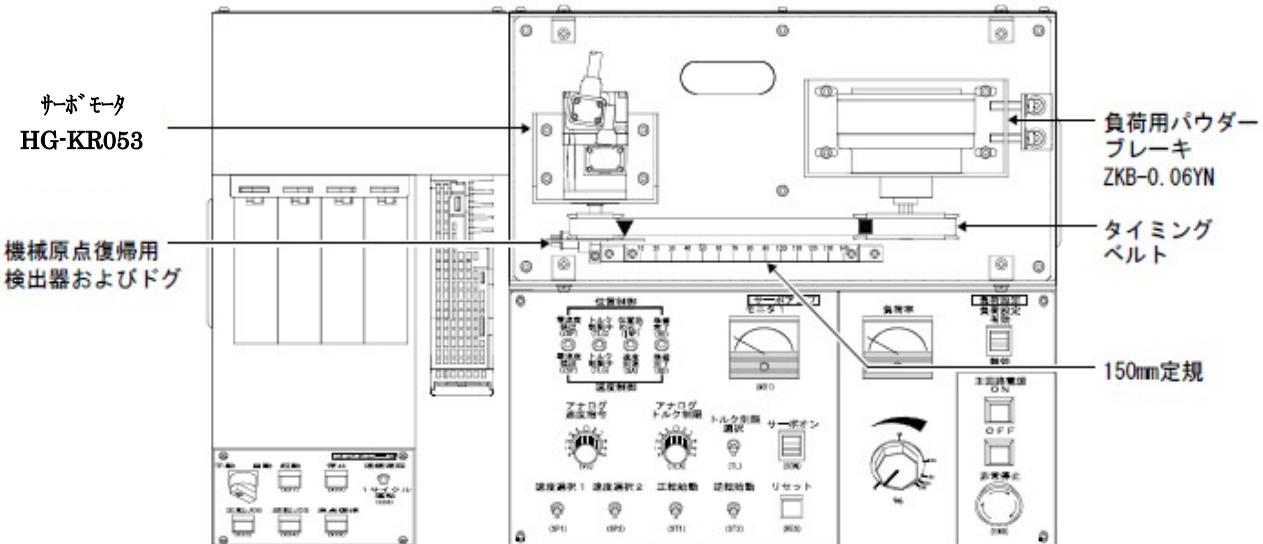
正転始動と逆転始動が、両方ONしていると、どちらに回っていいのかわからないため回転しません。

主回路電源がONしていない状態でサーボオンすると不足電圧でAL10が出ます。

あらかじめプログラミングム（ラダー）の運転を切り替えます。

操作パネル2

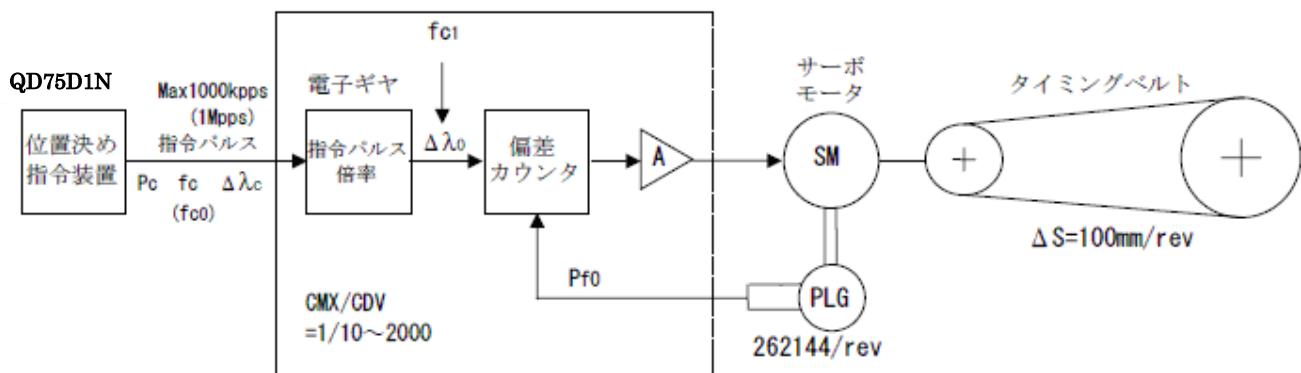




7. 電子ギア（ここから少し難しくなります）

(1)電子ギアの役割

サーボモータは定格回転速度で動かした時、最も効率よく動作します。しかし、位置決めユニットは出力できる最大指令パルス周波数が決められており、この値が低いと定格回転速度に達する指令を出力できません。この問題を解決するために電子ギアという機能があり、指令パルス周波数を大きく加工できます。



例) 1倍(ギアが無い)の場合のサーボモータの最高速度: $1000000 \times 1 / 262144 \times 60 = 229$ [r/min]

電子ギアの倍率	サーボモータの最高速度[r/min]	
×1(ギアが無い場合)	229	定格回転速度に達しておらず、サーボモータの性能を発揮できない
×2	458	
×10	2290	
×20	4580	定格回転速度に達しており、サーボモータの性能を発揮できる

この条件の場合、電子ギアの倍率は20倍あたりに固定し、指令パルス周波数を変更してモータ速度を制御します。

×20の場合 定格回転速度 $3000\text{r/min} < 4580\text{r/min} <$ 最大回転速度 6000r/min

(2) 電子ギアの設定

① 電子ギヤの設定考え方

1パルス当たりのベルトの移動量 $\Delta\lambda_c = 0.001\text{mm}$ ($1\mu\text{m}$) 単位で可能かを検討してみる。

$$\text{電子ギヤ比 } \frac{\text{CMX}}{\text{CDV}} = \frac{\text{モータのフィードバックパルス Pf0} \times 1 \text{パルス当たりのベルトの移動量} \Delta\lambda_c}{\text{モータ1回転当たりのベルトの移動量} \Delta S}$$

$$= \frac{262144 \times 0.001}{100} = \frac{32768}{12500} = \frac{8192}{3125}$$

② 電子ギヤ比 8192 / 3125 の場合、モータが 3000r/min の時の f_c を求める。

1パルス当たりのベルトの移動量 $\Delta\lambda_c = 0.001\text{mm}$ ($1\mu\text{m}$) 単位で可能かを検討してみる。

$$N = \frac{f_c \times 60 \times \text{CMX}/\text{CDV}}{\text{Pf0}} = \frac{f_c \times 60 \times 8192/3125}{262144} = 3000\text{r/min}$$

$$f_c = \frac{262144 \times 3000}{60 \times 8192/3125} = 5000\text{kpps} > 4000\text{kpps}$$

位置決め装置 QD75D1N の最大指令周波数は 4000Kpps (4Mpps)

最大指令周波数を超えててしまう為、設定不可である。

電子ギヤって
計算が難しい



③ 1パルス当たりのベルトの移動量 $\Delta\lambda_c = 0.05\text{mm}$ ($50\mu\text{m}$) 単位で検討してみる。

$$\text{電子ギヤ比 } \frac{\text{CMX}}{\text{CDV}} = \frac{262144 \times 0.05}{100} = \frac{327680}{2500} = \frac{16384}{125}$$

電子ギヤ比 16384 / 125 の場合、モータが 3000r/min の時の f_c を求める。

$$f_c = \frac{262144 \times 3000}{60 \times 16384/125} = 100\text{kpps} < 4000\text{kpps}$$

位置決め装置 QD75D1N の最大指令周波数は 4000Kpps (4Mpps)

6000 r/min でも $200\text{Kpps} < 4000\text{Kpps}$ となり、最大指令周波数を超えないで問題なし。

※ 本トレーニング装置では、1パルス当たりの送り量を 0.01mm としている。

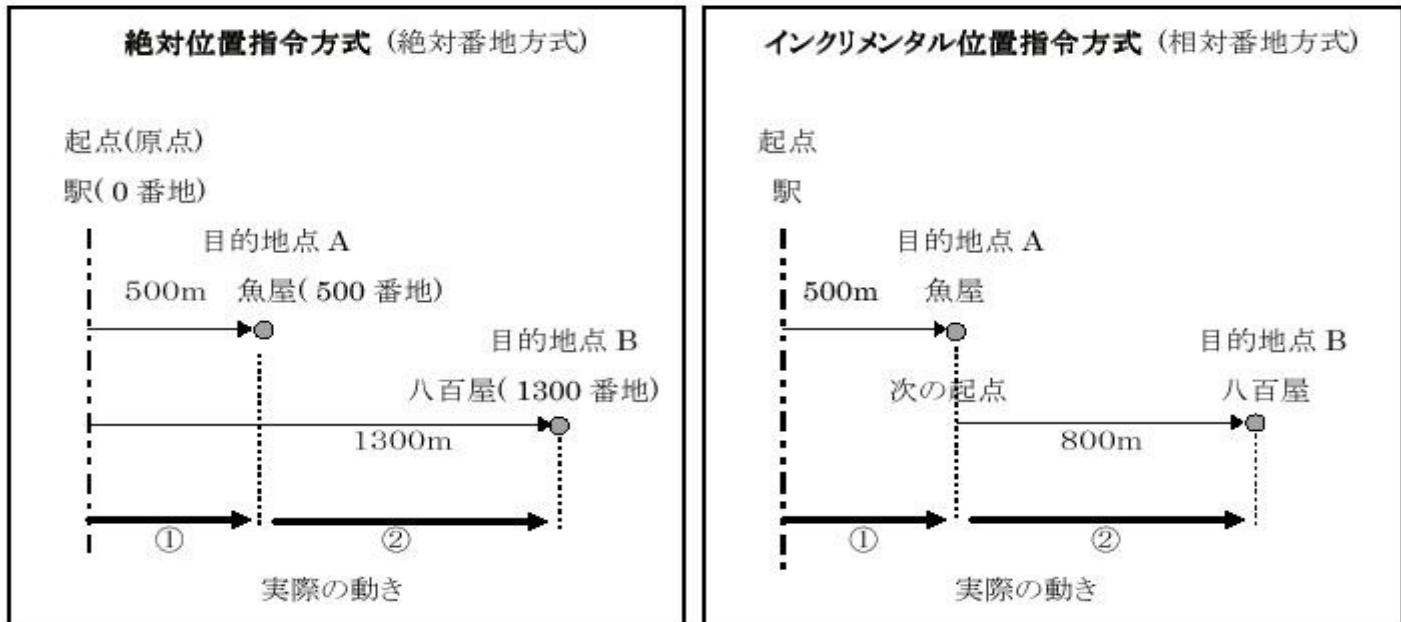
$$\frac{\text{CMX}}{\text{CDV}} = \frac{262144 \times 0.01}{100} = \frac{262144}{10000}$$

SSCNET方式にすれば、指令を直接
送信するので、電子ギヤによる難し
い計算をする必要はなくなるの
じゃ。

計算結果 CMX=262144 の値をパラメータ PA06
CDV=10000 の値をパラメータ PA07
それぞれに設定します。



8. 絶対位置指令とインクリメンタル位置指令



・絶対位置指令方式(ABS:ABSOLUTE)…原点からの距離を指令する方式。

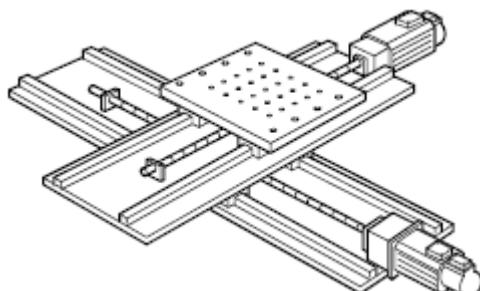
魚屋に行くには、原点から500番地へ。八百屋に行くには、原点から1300番地に行きなさいの命令を与える。

・インクリメンタル位置指令方式(INC:INCREMENTAL)…現在位置を起点にして、次の位置決め点までの方向と距離を指令する方式

魚屋に行くには、起点から右へ500m。八百屋に行くには、魚屋から右へ800m行きなさいの命令を与える。

用途事例：X-Yテーブル

原点の位置を記憶しておき
そこを起点にして稼動させる。
停電や作業終了後、電源をOFFにしても
原点を覚えているので、作業を続けて
行うことができる

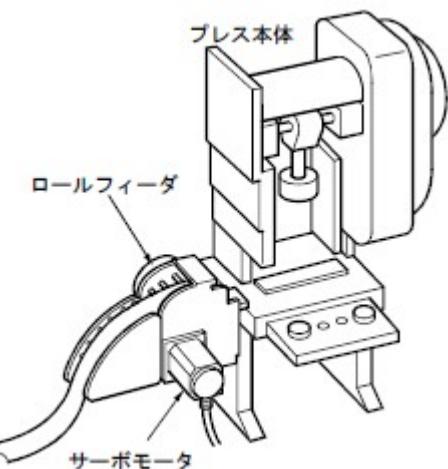


絶対位置検出システム方式の場合は、

サーボアンプにバッテリー (MR-BAT6V1) を付けることにより、現在位置を記憶しています。

用途事例：プレス・ロールフィーダ

材料を定寸長さに位置決めしてから
プレスされます。
現在位置を起点とするインクリメンタル
方式を採用するケースが多い。



9. 偏差カウンタ

偏差カウンタは、位置決めユニットからの指令パルスを加算すると同時に、エンコーダからのフィードバックパルスを減算します。このとき、偏差カウンタに溜まっているパルスを「溜りパルス」と呼びます。偏差カウンタは、溜りパルス値と比例した速度指令を速度アンプに出力します。そのため、溜りパルス値が大きいとサーボモータの回転速度は加速し、小さくなるにつれて減速して、ゼロで停止します。

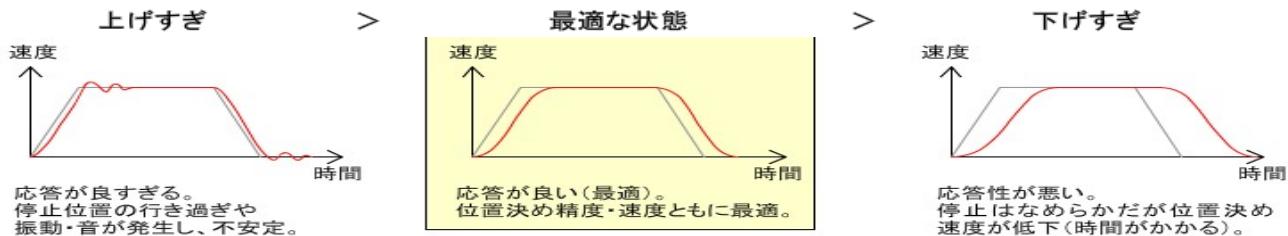


ゲイン調整：ゲインといつてもいろいろ種類がありますが、ここでは、位置ループゲインを例に紹介します。

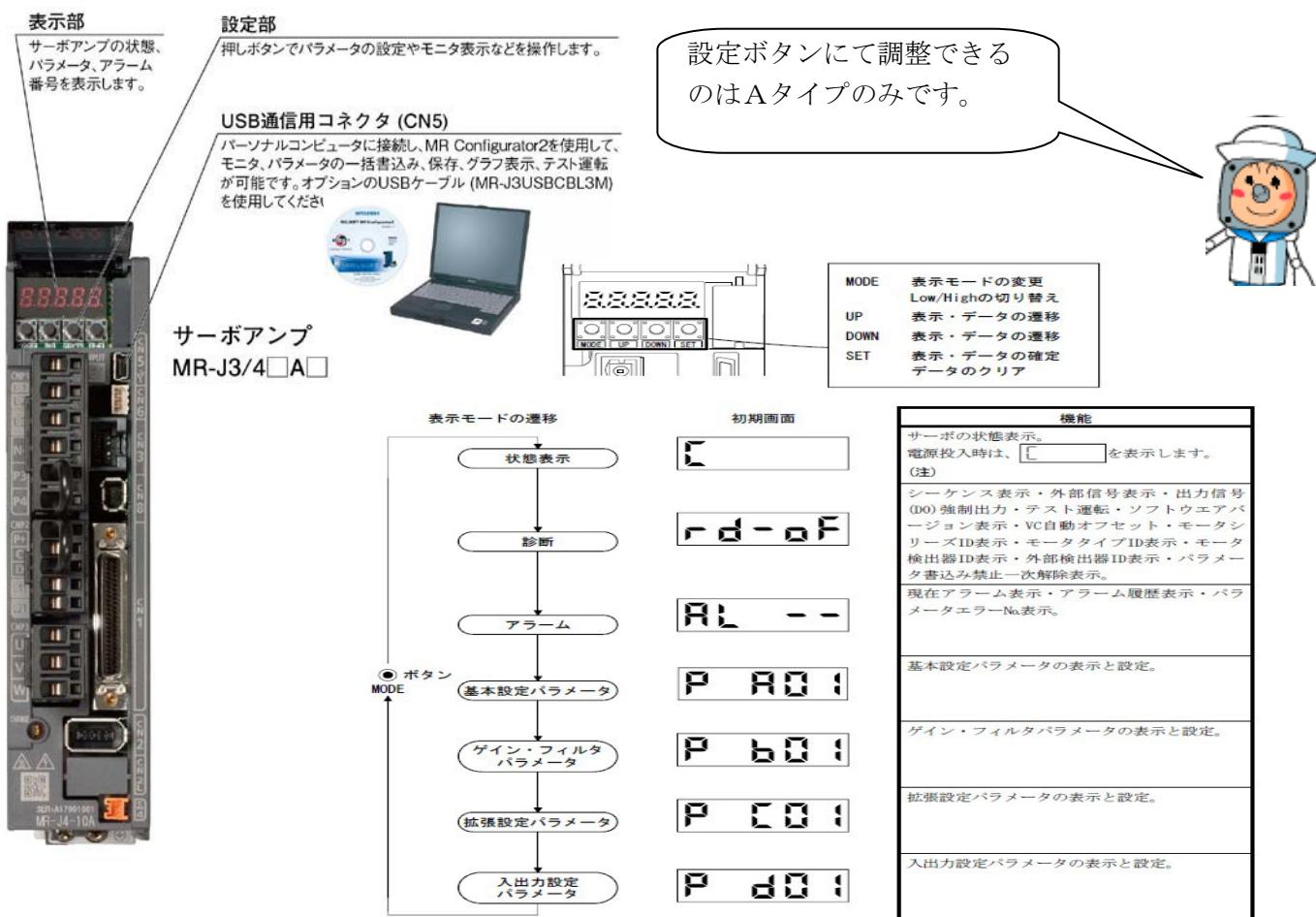
[フィードバック機構の応答を調整する]

溜りパルスは、指令パルスとフィードバックパルスから発生するノイズの除去フィルタ的な役割があります。この量を調整する値を「位置ループゲイン」と呼び、値が最適であれば、フィードバックの応答が良くなり、位置決め速度・精度が上がります。ただし、位置ループゲインを上げすぎても下げすぎても問題が発生します。

位置ループゲイン



具体的に、位置ループゲインの調整は、サーボアンプのパラメータの変更を行います。次回4章の実習の中で、フロントカバーを開いて設定用ボタンによる変更と、パソコンを使った方法の2種類行っていただきます。



パソコンを使ったゲイン調整

パソコン(MR-Configurator2)をサーボアンプに接続して、パラメータ内容(各種ゲインも含む)、モニタ関係(電流、速度、溜りパルスなどアンプLEDに表示できる内容)、I/Oの入出力信号、アラーム表示などが可能です。



USBで接続できます。



↓ テキスト 5 章の実習機の操作にて、各種設定を行っていきます。

実習機の操作

(a) MR Configurator2の特長

MR Configurator2は、より使いやすくなったエンジニアリング環境を提供し、サーボアンプの設定・立上げ調整・保守の効率がさらに向上します。以下に新機能の1部を、ご紹介します。

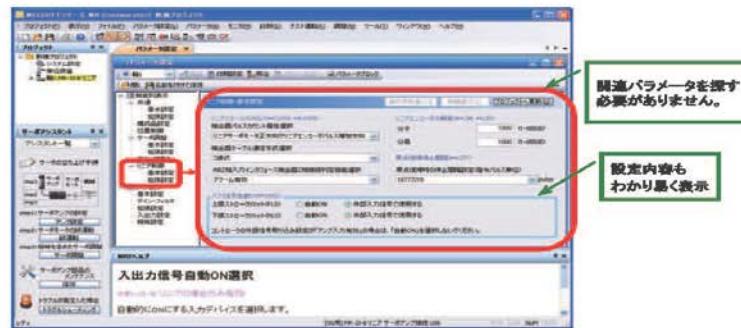
(a) サーボアシスタント

ガイダンス表示に従って作業を進めていくだけで、サーボアンプのセットアップが完了します。



(b) 機能別パラメータ設定

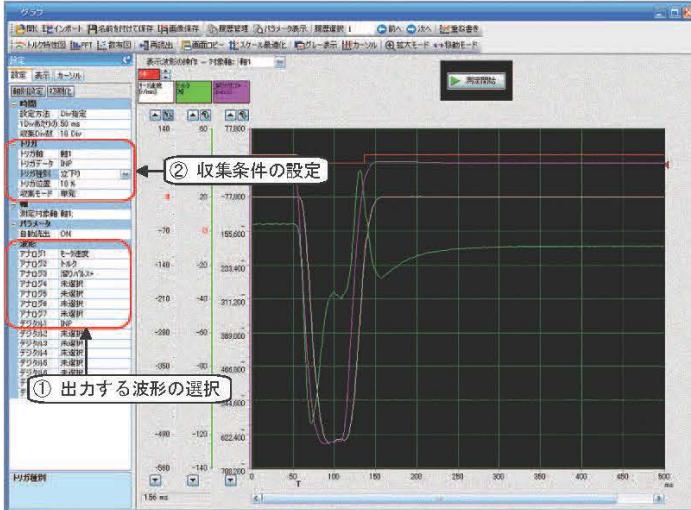
機能別にグルーピングされたパラメータ設定画面で、簡単に設定できます。



実習機の操作

グラフ [[モニタ]-[グラフ]メニュー]

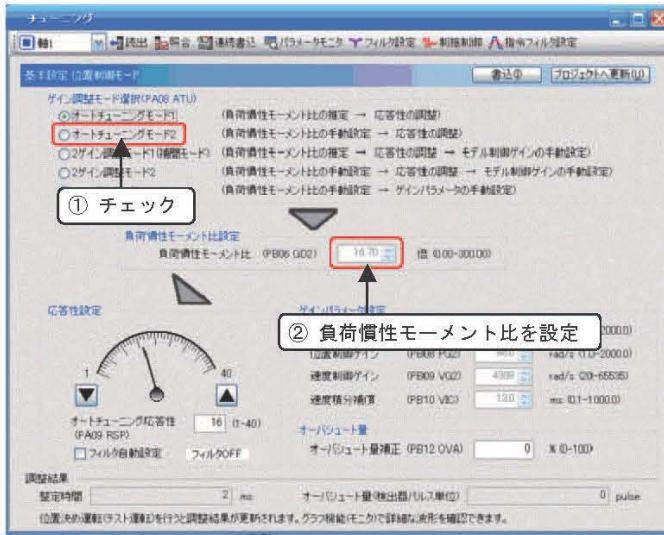
グラフウィンドウでは、任意選択したモニタグラフデータをグラフ表示します。



- 操作手順**
- ①出力する波形の選択
アナログCH1にモータ速度
↓
アナログCH2にトルク
アナログCH3に溜りパルス+
デジタルにINP
を選択
 - ②収集条件の設定
↓ トリガにINP立下りを設定
 - ③波形データの収集
横軸カーブリンクを50ms/Div
↓ **測定開始**ボタンクリック
実習機自動運転スタート
(操作ハンドルの起動ボタンをON)
 - ④収集した波形の観測
↓ 横軸スケールの調整
 - ⑤波形データの保存
↓ **名前を付けて保存**メニュークリック
 - ⑥グラフの終了
- ※詳細はヘルプで確認できます。

チューニング [[調整]-[チューニング]メニュー]

チューニングウィンドウで、ゲインパラメータを調整し、目的に合わせた動きをするように設定します。



- 操作手順**
- ①オートチューニングモード選択
↓ オートチューニングモード2を選択
 - ②負荷慣性モーメント比設定
↓ 9.8倍に設定 ※1
- ※1：負荷慣性モーメント比は、5.2.2節
(4)の(d)で算出した値です。

※詳細はヘルプで確認できます。

三菱電機 FATEC 全国所在地

東京 FATEC

〒141-0032 東京都品川区大崎1-6-3 日精ビル4F
TEL. (03)3491-9380 FAX. (03)3491-9360
〒060-8693 札幌FATEC/札幌市中央 区北2条西4-1 北海道ビル5F
TEL. (011)212-3794 (北海道支社) FAX. (011)241-0695
〒980-0011 仙台FATEC/仙台市青葉区上杉1-17-7 仙台上杉ビル
TEL. (022)216-4553 (東北支社) FAX. (022)262-4276

名古屋 FATEC

〒461-8670 三菱電機名古屋製作所FAコミュニケーション
センター内 名古屋市東区矢田南5-1-14
TEL. (052)721-2403 FAX. (052)712-3264
〒920-0031 金沢FATEC/金沢市広岡1丁目2番14号 コーワビル3F
TEL. (076)233-5501 (北陸支社) FAX. (076)233-5510

大阪 FATEC

〒530-0003 大阪市北区堂島2-2-2 近鉄堂島ビル4F
TEL. (06)6347-2970 FAX. (06)6347-2948
〒730-8657 広島FATEC/広島市中区中町7-3
ニッセイ広島ビル 8F
TEL. (082)248-5348 (中国支社) FAX. (082)248-5360
〒760-8654 高松FATEC/高松市寿町1-1-8
日本生命高松駅前ビル6F
TEL. (087)825-0055 (四国支社) FAX. (087)825-0056
〒812-0007 福岡FATEC/福岡市博多区東比恵3-12-16
東比恵スクエアビル 三菱電機システム
サービス九州支社内
TEL. (092)721-2224 (九州支社) FAX. (092)721-2344

福山会場

〒720-8647 福山会場/福山市緑町1-8
三菱電機福山製作所150AVルーム
TEL. (084)926-8005 FAX. (084)926-8004

※会場ごとに案内書を用意しておりますので、ご要望の際はお申し出ください。

三菱電機FA機器TEL・FAX技術相談

電話技術相談 [月～金曜日 9:00～19:00、土・日・祝日 9:00～17:00] 春季・夏季・年末年始の休日を除く

シーケンサ

Q/L/QnA/A 一般 (052) 711-5111	MELSOFT 通信支援ソフト ウェアツール・パソコンボード (052) 712-2370
ネットワーク (052) 712-2578	計装・Q二重化※1 (052) 712-2830
プログラミングツール (052) 711-0037	MELSEC Safety ※1 (052) 712-3079
FX全般※1、 (052) 725-2271	安全シーケンサ・安全コントローラ 安全シーケンサ・安全コントローラ

低圧開閉器

(052) 719-4170

低圧遮断器

(052) 719-4559

表示器

GOT2000/1000 (052) 712-2417
GOT-F-900※1、 (052) 725-2271

サーボ・位置決め モーションコントローラ

(052) 712-6607

インバータ

(052) 722-2182

ロボット

省エネ支援機器 ※1※2 (052) 719-4557

計器

(052) 719-4556

FAX 技術相談 [月～金曜日 9:00～16:00] 受付は常時 (春季・夏季・年末年始の休日を除く)

低圧開閉器

FAX (0574) 61-1955

低圧遮断器

FAX (084) 926-8280

計器・省エネ支援機器

FAX (084) 926-8340

アフターサービス電話技術相談 [月～金曜日 9:00～19:00、土・日・祝日 9:00～17:30] 年始を除く

三菱電機システムサービス(株)

(052) 719-4333

ロボットを除く【ロボットに関しては、以下のアフターサービス窓口で対応しております】機器製品全般の故障診断、修理、メンテナンスに関する相談窓口です。修理 / メンテナンスの受付に関しては、以下のアフターサービス窓口で対応しております

●アフターサービス窓口 [月～金曜日 9:00～19:00]

北海道支店	011) 890-7515	中部支社	052) 722-7601	中四国支社	082) 285-2111
北日本支社	022) 353-7814	北陸支店	076) 252-9519	四国支店	087) 831-3186
東京機電支社	ロボット以外 (03) 3454-5521 ロボット専用 (03) 3454-2561	関西機電支社	ロボット以外 (06) 6458-9728 ロボット専用 (06) 6454-0191	九州支社	092) 483-8208

●夜間・休日の時間外修理受付専用窓口 [月～金曜日 19:00～翌9:00、土・日・祝日 24 時間]

ロボット以外

(052) 719-4337

ロボット専用

(03) 5460-3582

『ご利用規定と個人情報保護方針』

- ① 本国内に居住されていないお客様が、受講をお申込みされた場合には、受講をお断りさせていただく場合があります。
- ② スクールは当社製品をご検討されているお客様を対象としております。従いまして、この対象とならない法人・個人のお申し込みはお断りさせていただくことがあります。
- ③ 客様の個人情報は、三菱製品に関する情報およびサービス提供を目的として、当社および関連企業に限定して開示・利用いたします。

- ④ 受講をお申込みされたお客様には、製品やイベントのご案内、製品サービスに関するアンケート等のお願いをする場合があります。
- ⑤ 客様の個人情報は、当社および関連企業によって厳重に管理いたします。
- ⑥ 外的な措置として、法律・条令による要求、当社および関連企業の権利または資産を保護するために、個人情報を開示させていただく場合があります。