

6. 一般的なゲイン調整

第6章 一般的なゲイン調整.....	2
6.1 調整方法の種類.....	2
6.1.1 ドライバ単体での調整.....	2
6.1.2 セットアップソフトウェア (MR Configurator2™) による調整.....	3
6.2 オートチューニング.....	4
6.2.1 オートチューニングモード.....	4
6.2.2 オートチューニングモードの基本.....	5
6.2.3 オートチューニングによる調整手順.....	6
6.2.4 オートチューニングモードでの応答性設定.....	7
6.3 マニュアルモード.....	8
6.4 補間モード.....	12

6. 一般的なゲイン調整

第6章 一般的なゲイン調整

ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ● 機械の個体差を考慮して余裕のあるゲイン調整を行ってください。運転中のサーボモータの発生トルクをサーボモータ最大トルクの90%以下にすることを推奨します。 ● トルク制御モードの場合、ゲイン調整の必要はありません。

6.1 調整方法の種類

6.1.1 ドライバ単体での調整

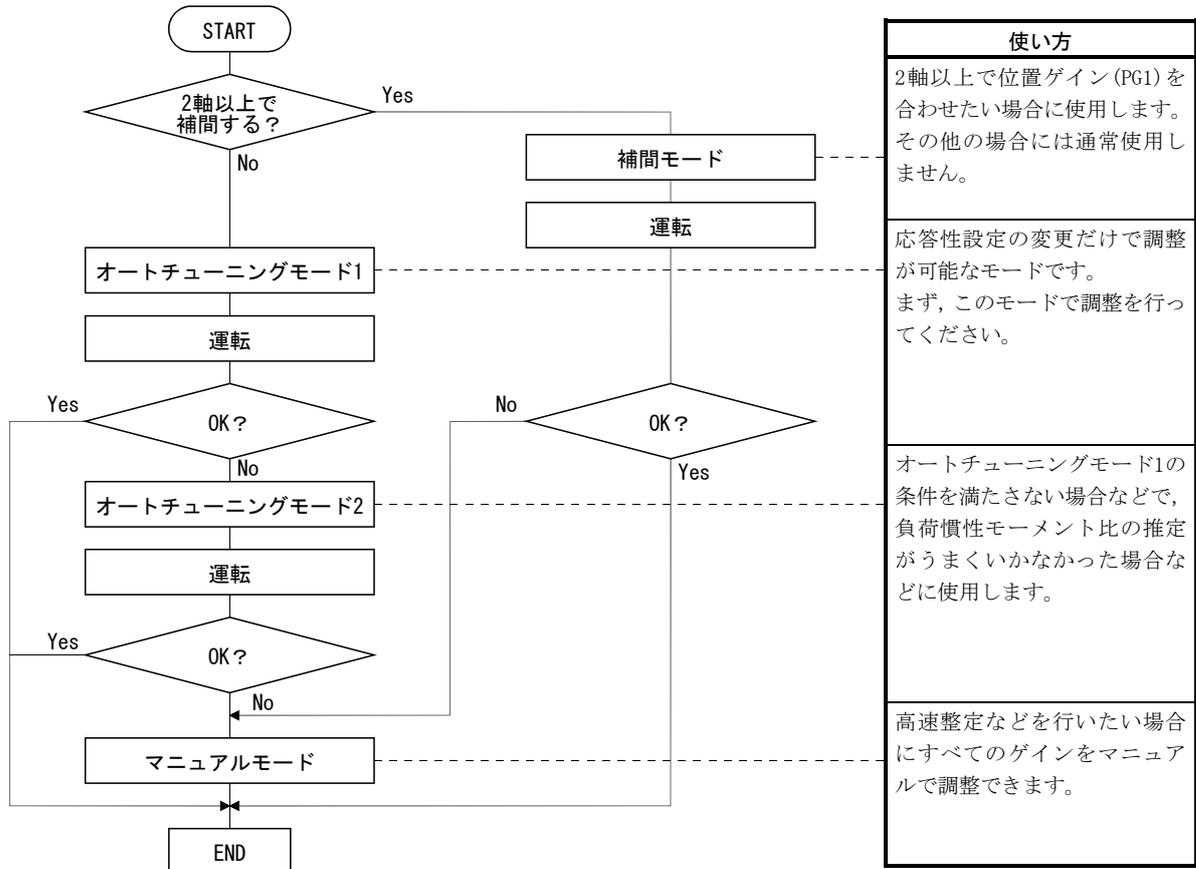
ドライバ単体で行えるゲイン調整を次の表に示します。ゲイン調整は、はじめにオートチューニングモード1を実施してください。満足のいく調整が得られない場合は、オートチューニングモード2，マニュアルモードの順に実施してください。

(1) ゲイン調整モード説明

ゲイン調整モード	パラメータNo.PA08の設定	負荷慣性モーメント比の推定	自動的に設定されるパラメータ	マニュアルで設定するパラメータ
オートチューニングモード1 (初期値)	0001	常時推定	GD2 (パラメータNo.PB06) PG1 (パラメータNo.PB07) PG2 (パラメータNo.PB08) VG2 (パラメータNo.PB09) VIC (パラメータNo.PB10)	RSP (パラメータNo.PA09)
オートチューニングモード2	0002	パラメータNo.PB06の値に固定	PG1 (パラメータNo.PB07) PG2 (パラメータNo.PB08) VG2 (パラメータNo.PB09) VIC (パラメータNo.PB10)	GD2 (パラメータNo.PB06) RSP (パラメータNo.PA09)
マニュアルモード	0003		/	GD2 (パラメータNo.PB06) PG1 (パラメータNo.PB07) PG2 (パラメータNo.PB08) VG2 (パラメータNo.PB09) VIC (パラメータNo.PB10)
補間モード	0000	常時推定	GD2 (パラメータNo.PB06) PG2 (パラメータNo.PB08) VG2 (パラメータNo.PB09) VIC (パラメータNo.PB10)	PG1 (パラメータNo.PB07) RSP (パラメータNo.PA09)

6. 一般的なゲイン調整

(2) 調整の順序とモードの使い分け



6.1.2 セットアップソフトウェア (MR Configurator2™) による調整

パーソナルコンピュータ上で使用するセットアップソフトウェア (MR Configurator) とドライバを組み合わせで行える機能と調整を示します。

機能	内容	調整内容
マシンアナライザ	機械とサーボモータを結合した状態で、パーソナルコンピュータ側からサーボにランダム加振指令を与え、機械の応答性を測定することにより、機械系の特性を測定することができます。	<ul style="list-style-type: none"> 機械共振の周波数を把握し、機械共振抑制フィルタのノッチ周波数を決定できます。 機械特性に応じた最適ゲインを自動設定できます。この調整は機械共振が大きい機械で、整定時間をそれほど要求しないような場合の簡便な調整に適しています。
ゲインサーチ	往復位置決め指令を与えながらゲインサーチを実行すると、ゲインを自動的に変化させながら整定特性を測定します。そのあと、整定時間が最短になるゲインを自動探索します。	<ul style="list-style-type: none"> 位置決め整定時間を最短にするゲインが自動的に設定できます。
マシンシミュレーション	マシンアナライザの結果からその機械の位置決め整定時の応答性をパーソナルコンピュータ上でシミュレートできます。	<ul style="list-style-type: none"> パーソナルコンピュータ上でゲイン調整や指令パターンの最適化を行うことができます。

6. 一般的なゲイン調整

6.2 オートチューニング

6.2.1 オートチューニングモード

ドライバには機械の特性(負荷慣性モーメント比)をリアルタイムに推定し、その値に応じた最適なゲインを自動的に設定するリアルタイムオートチューニング機能を内蔵しています。この機能によりドライバのゲイン調整を容易に行うことができます。

(1) オートチューニングモード1

ドライバは出荷状態でオートチューニングモード1の設定になっています。

このモードでは機械の負荷慣性モーメント比を常時推定し、最適ゲインを自動的に設定します。

オートチューニングモード1により自動的に調整されるパラメータは次の表のとおりです。

パラメータNo.	略称	名称
PB06	GD2	サーボモータに対する負荷慣性モーメント比
PB07	PG1	モデル制御ゲイン
PB08	PG2	位置制御ゲイン
PB09	VG2	速度制御ゲイン
PB10	VIC	速度積分補償

ポイント

- オートチューニングモード1は次の条件を満たさないと、正常に作動しない場合があります。
 - ・2000r/minに達するまでの時間が5s以下の加減速時定数である。
 - ・回転速度が150r/min以上である。
 - ・サーボモータに対する負荷慣性モーメント比が100倍以下である。
 - ・加減速トルクが定格トルクの10%以上である。
- 加減速中に急激な外乱トルクが加わるような運転条件や極端にガタの大きな機械の場合にもオートチューニングが正常に機能しないことがあります。このような場合、オートチューニングモード2またはマニュアルモードでゲイン調整を行ってください。

(2) オートチューニングモード2

オートチューニングモード2はオートチューニングモード1では正常なゲイン調整が行えない場合に使用します。このモードでは負荷慣性モーメント比の推定は行いませんので、正しい負荷慣性モーメント比(パラメータNo.PB06)の値を設定してください。

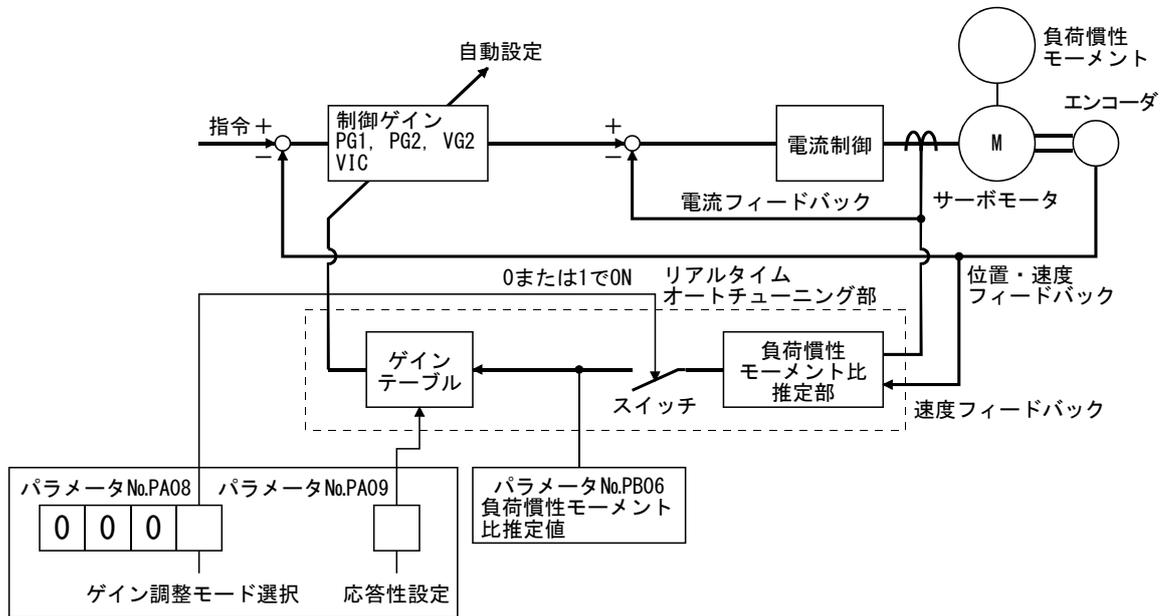
オートチューニングモード2により自動的に調整されるパラメータは次の表のとおりです。

パラメータNo.	略称	名称
PB07	PG1	モデル制御ゲイン
PB08	PG2	位置制御ゲイン
PB09	VG2	速度制御ゲイン
PB10	VIC	速度積分補償

6. 一般的なゲイン調整

6.2.2 オートチューニングモードの基本

リアルタイムオートチューニングのブロック図を示します。



サーボモータを加減速運転させると、慣性モーメント比推定部はサーボモータの電流とサーボモータ速度から常に負荷慣性モーメント比を推定します。推定された結果は、パラメータNo.PB06(サーボモータに対する負荷慣性モーメント比)に書き込まれます。この結果はセットアップソフトウェア (MR Configurator2™) の状態表示画面で確認できます。

負荷慣性モーメント比の値があらかじめわかっている場合や、推定がうまく行かない場合は、“オートチューニングモード2” (パラメータNo.PA08 : 0002) に設定し、負荷慣性モーメント比の推定を停止(上の図中のスイッチをOFF)させ、マニュアルで負荷慣性モーメント比(パラメータNo.PB06)を設定してください。

設定された負荷慣性モーメント比(パラメータNo.PB06)の値と応答性(パラメータNo.PA09)から、内部に持っているゲインテーブルに基づいて、最適な制御ゲインを自動設定します。

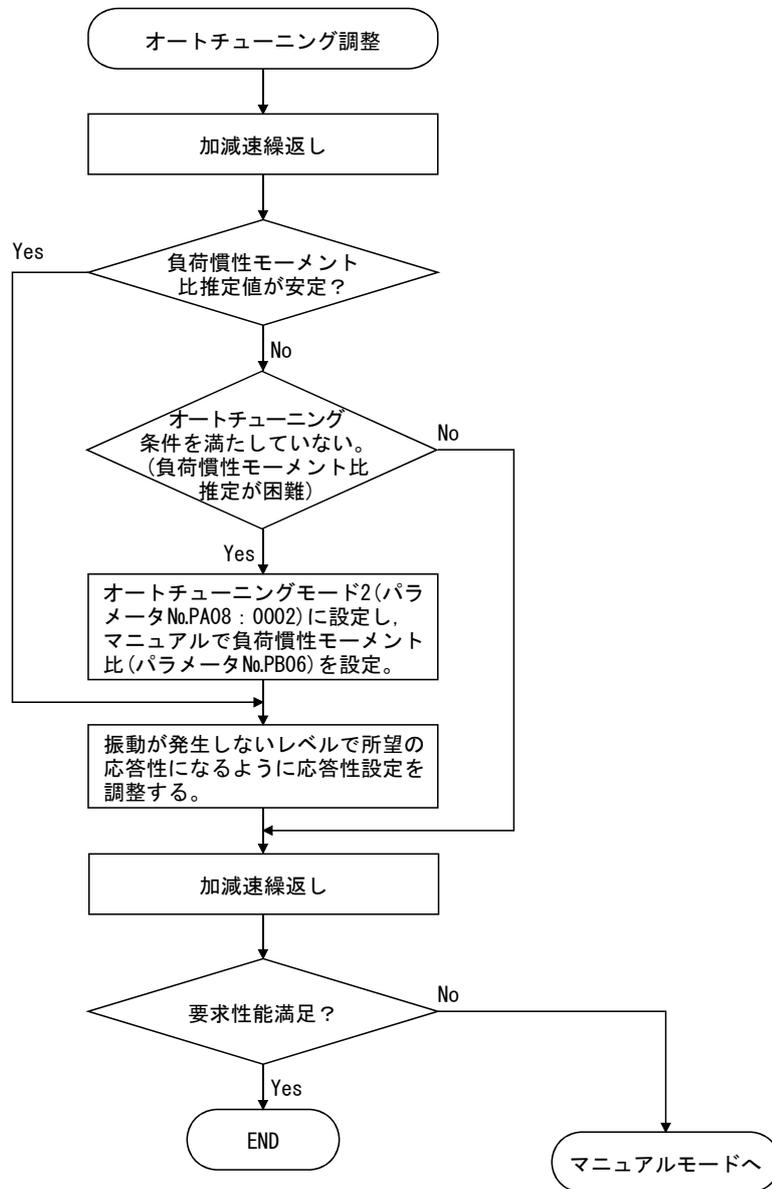
オートチューニングの結果は電源投入から60分ごとにドライバのEEP-ROMに保存されます。電源投入時にはEEP-ROMに保存した各制御ゲインの値を初期値としてオートチューニングを行います。

ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ● 運転中に急激な外乱トルクが加わる場合、慣性モーメント比の推定が一時的に誤作動する場合があります。このような場合、オートチューニングモード2(パラメータNo.PA08 : 0002)に設定し、正しい負荷慣性モーメント比(パラメータNo.PB06)を設定してください。 ● オートチューニングモード1・オートチューニングモード2のいずれかの設定からマニュアルモードの設定に変更すると現在の制御ゲインおよび負荷慣性モーメント比推定値をEEP-ROMに保存します。

6. 一般的なゲイン調整

6.2.3 オートチューニングによる調整手順

出荷時はオートチューニングが有効になっていますので、サーボモータを運転するだけで機械に合った最適ゲインを自動設定します。必要に応じて、応答性設定の値を変更するだけで調整は完了します。調整手順を示します。



6. 一般的なゲイン調整

6.2.4 オートチューニングモードでの応答性設定

サーボ系全体の応答性(パラメータNo.PA09)を設定します。応答性設定を大きくするほど指令に対する追従性や整定時間は短くなりますが、大きくしすぎると振動が発生します。このため、振動が発生しない範囲で所望の応答性が得られるように設定してください。

100Hzをこえるような機械共振があるために所望の応答性まで応答性設定が大きできない場合には、アダプティブチューニングモード(アダプティブフィルタⅡ)(パラメータNo.PB01)や機械共振抑制フィルタ(パラメータNo.PB13～PB16)で、機械共振を抑えることができます。機械共振を抑えることで、応答性設定を大きくすることができる場合もあります。アダプティブチューニングモード、機械共振抑制フィルタの設定については7.2節、7.3節を参照してください。

パラメータNo.PA09

応答性設定	機械の特性		
	機械剛性	機械共振周波数の目安 [Hz]	対応する機械の目安
1	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;">低い</div> <div style="margin-right: 10px;">↑</div> <div style="margin-right: 10px;">↓</div> <div style="margin-right: 10px;">中</div> <div style="margin-right: 10px;">↑</div> <div style="margin-right: 10px;">↓</div> <div style="margin-right: 10px;">高い</div> </div>	10.0	
2		11.3	
3		12.7	
4		14.3	
5		16.1	
6		18.1	
7		20.4	
8		23.0	
9		25.9	
10		29.2	
11		32.9	
12		37.0	
13		41.7	
14		47.0	
15		52.9	
16		59.6	
17		67.1	
18		75.6	
19		85.2	
20		95.9	
21		108.0	
22		121.7	
23		137.1	
24		154.4	
25		173.9	
26		195.9	
27		220.6	
28		248.5	
29		279.9	
30		315.3	
31		355.1	
32		400.0	

6. 一般的なゲイン調整

6.3 マニュアルモード

オートチューニングでは満足する調整ができなかった場合、全てのゲインによるマニュアル調整が行えます。

ポイント
<ul style="list-style-type: none"> ● 機械共振が発生する場合、アダプティブチューニングモード(アダプティブフィルタ II)(パラメータNo.PB01)や機械共振抑制フィルタ(パラメータNo.PB13～PB16)で、機械共振を抑えることができます。(7.2節, 7.3節参照)

(1) 速度制御の場合

(a) パラメータ

ゲイン調整に使用するパラメータは次のとおりです。

パラメータNo.	略称	名称
PB06	GD2	サーボモータに対する負荷慣性モーメント比
PB07	PG1	モデル制御ゲイン
PB09	VG2	速度制御ゲイン
PB10	VIC	速度積分補償

(b) 調整手順

手順	操作	内容
1	オートチューニングにより大まかな調整を行います。6.2.3項を参照してください。	
2	オートチューニングをマニュアルモード(パラメータNo.PA08 : 0003)に設定を変更します。	
3	サーボモータに対する負荷慣性モーメント比に推定値を設定してください。(オートチューニングによる推定値が正しい場合は設定を変更する必要はありません。)	
4	モデル制御ゲインを小さめに設定します。 速度積分補償を大きめに設定します。	
5	速度制御ゲインを振動や異音がない範囲で大きくしていき、振動が発生したら少し戻します。	速度制御ゲインを大きくします。
6	速度積分補償を振動が出ない範囲で小さくしていき、振動が発生したら少し戻します。	速度積分補償の時定数を小さくします。
7	モデル制御ゲインを大きくしていき、オーバシュートが発生したら少し戻します。	モデル制御ゲインを大きくします。
8	機械系の共振などによりゲインを大きくできず、所望の応答性が得られない場合、アダプティブチューニングモードや機械共振抑制フィルタにより共振を抑制したのち、手順3～7を実施すると応答性を上げられる場合があります。	機械共振の抑制。 7.2・7.3節参照
9	回転の状態を見ながら各ゲインを微調整します。	微調整

6. 一般的なゲイン調整

(c) 調整内容

① 速度制御ゲイン(パラメータNo.PB09)

速度制御ループの応答性を決めるパラメータです。この値を大きく設定すると応答は高くなりますが、大きくしすぎると機械系が振動しやすくなります。実際の速度ループの応答周波数は次の式のようにになります。

$$\text{速度ループ応答周波数 (Hz)} = \frac{\text{速度制御ゲイン設定値}}{(1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比}) \times 2\pi}$$

② 速度積分補償 (VIC : パラメータNo.PB10)

指令に対する定常偏差をなくすために速度制御ループは比例積分制御になっています。速度積分補償はこの積分制御の時定数を設定します。設定値を大きくすると応答性は悪くなります。しかし、負荷慣性モーメント比が大きい場合や、機械系に振動要素がある場合には、ある程度大きくしないと機械系が振動しやすくなります。目安としては次の式のようにになります。

速度積分補償設定値 (ms)

$$\geq \frac{2000 \sim 3000}{\text{速度制御ゲイン設定値} / (1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比設定値})}$$

③ モデル制御ゲイン (PG1 : パラメータNo.PB07)

位置指令に対する応答性を決めるパラメータです。モデル制御ゲインを大きくすると位置指令に対する追従性は良くなりますが、大きくしすぎると整定時にオーバーシュートを生じやすくなります。

$$\text{モデル制御ゲインの目安} \leq \frac{\text{速度制御ゲイン設定値}}{(1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比})} \times \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{8} \right)$$

(2) 位置制御の場合

(a) パラメータ

ゲイン調整に使用するパラメータは次のとおりです。

パラメータNo.	略称	名称
PB06	GD2	サーボモータに対する負荷慣性モーメント比
PB07	PG1	モデル制御ゲイン
PB08	PG2	位置制御ゲイン
PB09	VG2	速度制御ゲイン
PB10	VIC	速度積分補償

6. 一般的なゲイン調整

(b) 調整手順

手順	操作	内容
1	オートチューニングにより大まかな調整を行います。6.2.3項を参照してください。	
2	オートチューニングをマニュアルモード(パラメータNo.PA08 : 0003)に設定を変更します。	
3	サーボモータに対する負荷慣性モーメント比に推定値を設定してください。(オートチューニングによる推定値が正しい場合は設定を変更する必要はありません。)	
4	モデル制御ゲイン、位置制御ゲインを小さめに設定します。 速度積分補償を大きめに設定します。	
5	速度制御ゲインを振動や異音がない範囲で大きくしていき、振動が発生したら少し戻します。	速度制御ゲインを大きくします。
6	速度積分補償を振動が出ない範囲で小さくしていき、振動が発生したら少し戻します。	速度積分補償の時定数を小さくします。
7	位置制御ゲインを大きくしていき、振動が発生したら少し戻します。	位置制御ゲインを大きくします。
8	モデル制御ゲインを大きくしていき、オーバシュートが発生したら少し戻します。	モデル制御ゲインを大きくします。
9	機械系の共振などによりゲインを大きくできず、所望の応答性が得られない場合、アダプティブチューニングモードや機械共振抑制フィルタにより共振を抑制したのち、手順3~8を実施すると応答性を上げられる場合があります。	機械共振の抑制。 7.2・7.3節参照
10	整定特性や回転の状態を見ながら各ゲインを微調整します。	微調整

(c) 調整内容

① 速度制御ゲイン(VG2 : パラメータNo.PB09)

速度制御ループの応答性を決めるパラメータです。この値を大きく設定すると応答性は高くなりますが、大きくしすぎると機械系が振動しやすくなります。実際の速度ループの応答周波数は次の式のようになります。

$$\text{速度制御ゲイン設定値} \\ \text{速度ループ応答周波数 (Hz)} = \frac{\text{速度制御ゲイン設定値}}{(1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比}) \times 2\pi}$$

② 速度積分補償(VIC : パラメータNo.PB10)

指令に対する定常偏差をなくすために速度制御ループは比例積分制御になっています。速度積分補償はこの積分制御の時定数を設定します。設定値を大きくすると応答性は悪くなります。しかし、負荷慣性モーメント比が大きい場合や、機械系に振動要素がある場合には、ある程度大きくしないと機械系が振動しやすくなります。目安としては次の式のようになります。

速度積分補償設定値 (ms)

$$\geq \frac{2000 \sim 3000}{\text{速度制御ゲイン} \square \text{定値} / (1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比設定値})}$$

6. 一般的なゲイン調整

③ 位置制御ゲイン (PG2 : パラメータNo.PB08)

位置制御ループの外乱に対する応答性を決めるパラメータです。位置制御ゲインを大きくすると外乱に対する応答性は高くなりますが、大きくしすぎると機械系が振動しやすくなります。

$$\text{位置制御ゲインの目安} \leq \frac{\text{速度制御ゲイン設定値}}{(1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比})} \times \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{8} \right)$$

④ モデル制御ゲイン (PG1 : パラメータNo.PB07)

位置指令に対する応答性を決めるパラメータです。モデル制御ゲインを大きくすると位置指令に対する追従性は良くなりますが、大きくしすぎると整定時にオーバーシュートを生じやすくなります。

$$\text{モデル制御ゲインの目安} \leq \frac{\text{速度制御ゲイン設定値}}{(1 + \text{サーボモータに対する負荷慣性モーメント比})} \times \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{8} \right)$$

6. 一般的なゲイン調整

6.4 補間モード

補間モードは、X-Yテーブルなどで2軸以上のサーボモータの補間運転を行う際に、各軸の位置制御ゲインを合わせたい場合に使用します。このモードでは、指令に対する追従性を決めるモデル制御ゲインをマニュアルで設定し、その他のゲイン調整用パラメータを自動的に設定します。

(1) パラメータ

(a) 自動調整パラメータ

次のパラメータはオートチューニングにより自動調整されます。

パラメータNo.	略称	名称
PB06	GD2	サーボモータに対する負荷慣性モーメント比
PB08	PG2	位置制御ゲイン
PB09	VG2	速度制御ゲイン
PB10	VIC	速度積分補償

(b) マニュアル調整パラメータ

次のパラメータはマニュアルにより調整可能です。

パラメータNo.	略称	名称
PA09	RSP	オートチューニング応答性
PB07	PG1	モデル制御ゲイン

(2) 調整手順

手順	操作	内容
1	オートチューニングモードに設定する。	オートチューニングモード1にします。
2	運転しながら、応答性設定(パラメータNo.PA09)を大きくしていき、振動が発生したら戻します。	オートチューニングモード1による調整。
3	モデル制御ゲインの値を確認しておきます。	設定上限の確認。
4	補間モード(パラメータNo.PA08:0000)に設定する。	補間モードにします。
5	補間する全ての軸のモデル制御ゲインを同一の値に設定してください。そのとき、モデル制御ゲインが最も小さい軸の設定値に合わせてください。	モデル制御ゲインの設定。
6	補間特性や回転の状態を見ながら各ゲイン、および応答性設定を微調整します。	微調整

(3) 調整内容

モデル制御ゲイン(パラメータNo.PB07)

位置制御のループの応答性を決めるパラメータです。モデル制御ゲインを大きくすると位置指令に対する追従性は良くなりますが、大きくしすぎると整定時にオーバーシュートを生じやすくなります。溜りパルス量は、次の式で決まります。

$$\text{溜りパルス量 (pulse)} = \frac{\text{回転速度 (r/min)}}{60} \times 262144 \text{ (pulse)} \\ \text{モデル制御ゲイン設定値}$$