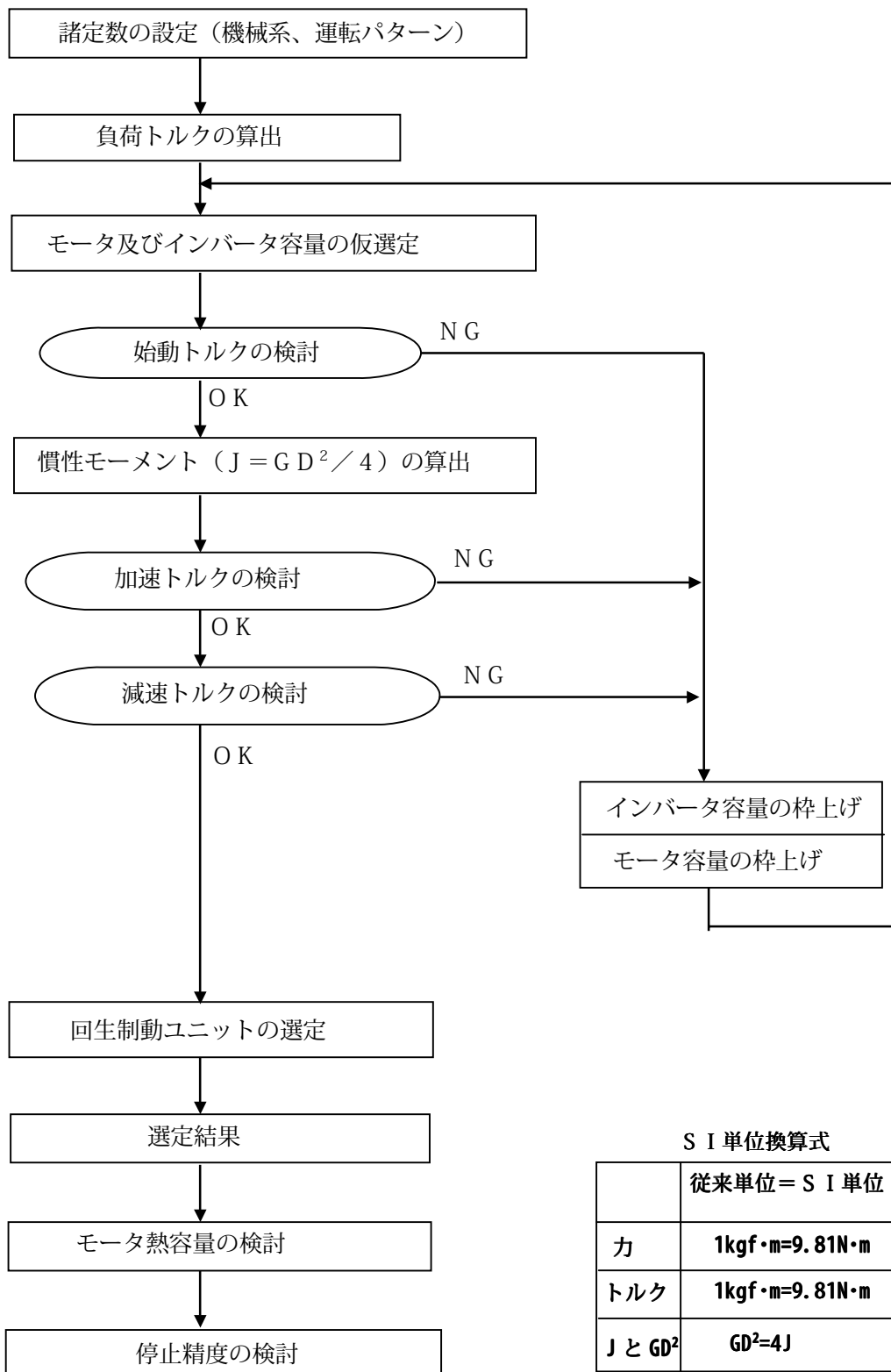


4.1 走行・台車装置編

走行・台車装置に使用するモータ、インバータの選定フロー



S I 単位換算式

	従来単位 = S I 単位
力	1kgf・m=9.81N・m
トルク	1kgf・m=9.81N・m
J と GD ²	GD ² =4J

計算に必要な諸定数の設定

電源関係についてチェックします。

1. 電源関係 電源電圧、周波数 E : (V) f_0 : (Hz)
 電源電圧変動率 ε_p : (%)
 インバータ側電圧降下 ε_i : (%)

・下記機械系の諸定数を決めます。

重量関係

走行物の最大総重量 W_1 : (kg)
 (= $W_2 + W_3$)

台車重量 W_2 : (kg)

最大荷物重量 W_3 : (kg)

2. 機械効率関係 ギヤ効率 γ_G : (1.0 以下)
 その他機械効率 γ_m : (1.0 以下)

3. 慣性モーメント関係 J (モータ軸換算) (注) はずみ車効果 (GD^2) = 慣性モーメント $J \times 4$

- ギヤ J J_G : ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
 その他機械系 J J_m : ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
 モータ J J_M : ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)
 ブレーキ J J_B : ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

4. 走行抵抗 走行抵抗 μ_1 : ($\text{kg}/1000\text{kg}$) (= $\mu_1 \times 10^{-3}$)
 静止摩擦抵抗 μ_2 : ($\text{kg}/1000\text{kg}$) (= $\mu_2 \times 10^{-3}$)

・運転パターンを決めます。

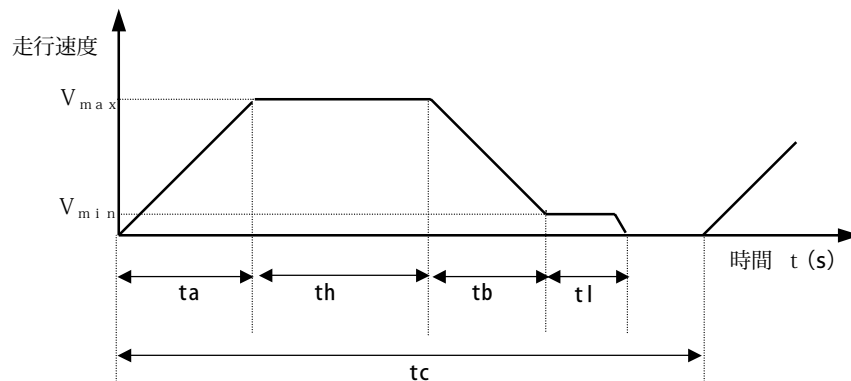


図4-1 運転パターン

5. 速度関係	走行最高速度	Vmax	:	<input type="text"/>	(m/min)
	モータ最高回転数	Nmax	:	<input type="text"/>	(r/min)
	走行最低速度 (クリープ速度)	Vmin	:	<input type="text"/>	(m/min)
	モータ最低回転数	Nmin	:	<input type="text"/>	(r/min)
	運転周波数範囲	f	:	<input type="text"/>	(Hz)

6. 時間関係	加速時間	(t a)	:	<input type="text"/>	(s)
	最高速度運転時間	(t h)	:	<input type="text"/>	(s)
	減速時間	(t b)	:	<input type="text"/>	(s)
	最低速度運転時間	(t l)	:	<input type="text"/>	(s)
	サイクル時間	(t c)	:	<input type="text"/>	(s)

負荷トルクの算出

1. 総合機械効率 $\gamma = \prod \gamma_i$ (各機械効率を掛け合わせることを意味します。)

$$\begin{aligned} & \gamma \\ & = \gamma_G \times \gamma_m (\leq 1.0) \end{aligned} \quad \text{[] (1.0 以下)}$$

(今回の例：ギヤとその他機械の各効率を掛けます)

2. 走行負荷トルク (T_L) モータ軸換算

$$\text{必要動力 } P_L = \frac{\mu_1 \times W_1 \times V_{\max}}{6120 \times \gamma} \quad \text{[] (kW)}$$

負荷トルク

$$\text{SI単位系} \quad T_L = \frac{9544 \times P_L}{N_{\max}} \quad \text{[] (N} \cdot \text{m)}$$

$$\text{従来単位系} \quad T_L' = \frac{974 \times P_L}{N_{\max}} \quad \text{[] (kgf} \cdot \text{m)}$$

モータ及びインバータ容量の仮選定

1. モータ容量 (P_M) の仮選定

$$P_M > P_L \text{ (kW)} \quad \text{[] (kW) [] (P)}$$

2. インバータ容量 (機種選定) の仮選定

P_M (kW) 用インバータ

※仮選定したモータの定格電流値 (I_m) がインバータの定格電流値 (I_{INV})

より小さくなるように選定します。

$$I_m \leq I_{INV}$$

〈注意事項〉

1. この計算結果は、あくまで仮選定のためであり、フローにより、すべての項目に関して検討が必要です。
2. 始動周波数及びクリープ速度は、安定した動きをさせるため 5Hz 又は 6Hz 以上に設定することをおすすめします。
3. 直流ブレーキは使用しないでください。
(ブレーキ動作時に直流制動が働くとインバータがトリップすることもあります)
4. リトライ機能は使用しないでください。

始動トルクの検討

1. モータとインバータを組み合わせた時の始動トルク

T_{MAX} = モータの定格トルク (T_M) (全負荷トルク) × 適用インバータの最大トルク係数 (α)

S I 単位系	$a \times T_M$	=	<input type="text"/>	(N・m)
---------	----------------	---	----------------------	-------

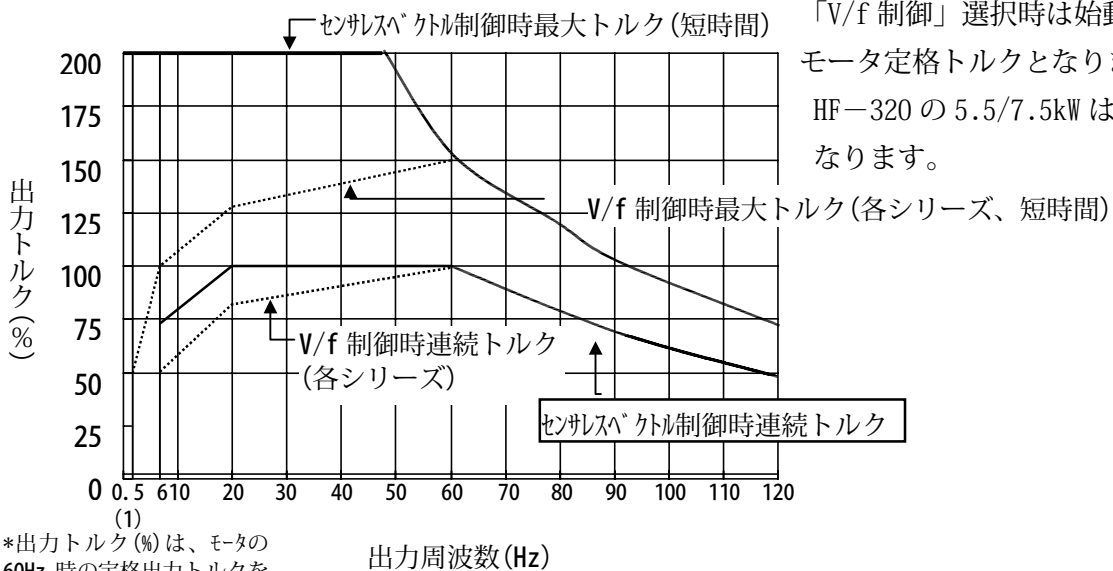
従来単位系	$a \times T_M'$	=	<input type="text"/>	(kgf・m)
-------	-----------------	---	----------------------	---------

(例) HF-320、HF-430 シリーズで「センサレスベクトル制御」選択時 = 200%

したがって モータ定格トルク × 2 倍 ($\alpha = 2.0$) となります。

「V/f 制御」選択時は始動トルク = モータ定格トルクとなります。

HF-320 の 5.5/7.5kW は、 $\alpha = 1.8$ となります。



(1)
*出力トルク (%) は、モータの 60Hz 時の定格出力トルクを 100% とします。

HF-320、HF-430 シリーズのトルク特性例

2. 判定

$$T_L (\text{負荷トルク}) < \frac{\alpha \times T_M}{K}$$

α 、 K ：トルク補正係数（ K は下記参照）
 α …HF-320、HF-430 センサレスベクトル制御時 2.0
 HF-320 5.5/7.5kW センサレスベクトル制御時 1.8
 V/f 制御時、多機種は 1.0

OK又は NG

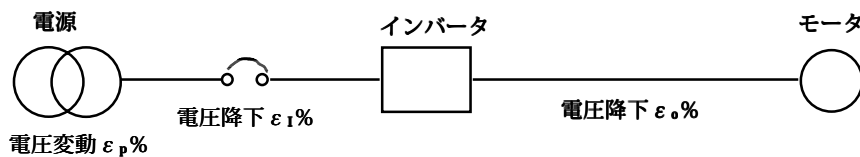
[NG の場合は、モータ及びインバータの容量を 1 枠以上上げ
 モータ、インバータ容量の仮選定 から再検討します。]

(注) 静止摩擦抵抗が走行抵抗より大きいとき ($\mu_2 > \mu_1$) のときは、

$$T_L \times \frac{\mu_2}{\mu_1} > \frac{\alpha \times T_M}{K} \text{ で判定してください。}$$

※トルク補正用係数 (K) …電圧変動に伴うトルクの低下を考慮する係数です。

なお、SF-320、HF-320、HF-430 シリーズは電源電圧を補正する「AVR 機能」が搭載されていますので、始動時下記 ε_p 、 ε_i を考慮する必要がありません。



電源電圧変動率	ε_p (%) (<10%)	<input type="text"/> (%)
インバータ入力側の最大電圧降下	ε_i (%) (<3%)	<input type="text"/> (%)
モータ入力側の最大電圧降下	ε_o (%) (<3%)	<input type="text"/> (%)
加速余裕入力側の最大電圧降下	ε_a (%)	<input type="text"/> (%)

トルク補正用係数 (K) (>1.0)

$$K = \frac{1}{(1 - \varepsilon_p / 100)^2 \times (1 - \varepsilon_i / 100)^2 \times (1 - \varepsilon_o / 100)^2 \times (1 - \varepsilon_a / 100)^2}$$

(例) 変動率、電圧降下を許容最大値でみた場合

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_p (\text{最大電圧変動率}) = 10\% \\ \varepsilon_i = \varepsilon_o = 3\% \\ \varepsilon_a = 5\% \end{array} \right\} \rightarrow K = 1.5 (\text{通常 } 1.1 \sim 1.3)$$

慣性モーメント($J = GD^2/4$)の算出 (モータ軸換算)

走行物慣性モーメント J_L (はずみ車効果 GD_L^2)

S I 単位系 $J_L = \frac{W_1 \times V_{max}^2}{4 \times \pi^2 \times N_{max}^2}$ $kg \cdot m^2$

従来単位系 $GD_L^2 = \frac{W_1 \times V_{max}^2}{\pi^2 \times N_{max}^2}$ $kgf \cdot m^2$

(注) 慣性モーメント(J) = はずみ車効果(GD^2) / 4

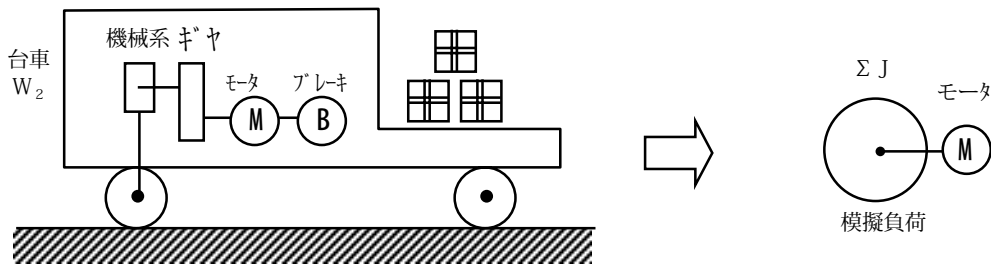
総合慣性モーメント ΣJ (はずみ車効果 ΣGD^2)

S I 単位系 $\Sigma J = J_L + J_M + J_B + J_G + J_m$ $kg \cdot m^2$

従来単位系 $\Sigma GD^2 = GD_L^2 + GD_M^2 + GD_B^2 + GD_G^2 + GD_m^2$ $kgf \cdot m^2$

(注1) モータ、ブレーキ、ギヤなどの慣性モーメントは、各々確認してください

(注2) 慣性モーメントの計算例は (4-4章) を参照ください。



加速トルクの検討

1. 加速トルク (T_a)

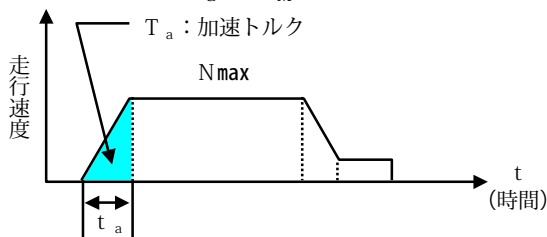
S I 単位系 $T_a = \frac{\Sigma J \times N_{max}}{9.55 \times t_a} + T_L$ $N \cdot m$

従来単位系 $T_a' =$ $kgf \cdot m$

2. 判定

$$\frac{\Sigma GD^2 \times N_{max}}{375 \times t_a}$$

$$T_a < T_M / K$$



OK 又は NG

(NG の場合はモータ及びインバータの容量を 1 枠以上上げ再検討します。)

減速トルクの検討

1. 減速トルク(T_b)

$$\boxed{\text{SI単位系}} \quad T_b = \frac{\Sigma J \times N_{\max}}{9.55 \times t_b} - T_L \quad \boxed{} \text{N} \cdot \text{m}$$

$$\boxed{\text{従来単位系}} \quad T_b' = \frac{\Sigma G D^2 \times N_{\max}}{375 \times t_b} - T_L' \quad \boxed{} \text{kgf} \cdot \text{m}$$

2. 判定

$$T_b < \beta \times T_M \quad \boxed{\text{OK}} \text{又は} \boxed{\text{NG}}$$

ただし、モータ 5.5kW 以下の場合 $\beta = 1.35$

7.5kW 以上の場合 $\beta = 1.0$

$\boxed{\text{NG}}$ の場合はモータ及びインバータの容量を
1 枠以上上げ再検討します。

<補足>

走行、台車等にインバータを使用するとき、荷物、台車等の重量が大きく、慣性モーメントが大きい場合、ほとんどの場合に制動ユニット又は制動抵抗器を必要とします。

なお制動ユニット、制動抵抗器の要否の判断は下記にて既略判定します。

$$T_b < X \times T_M$$

X：コンデンサ帰還時の回生制動トルク係数

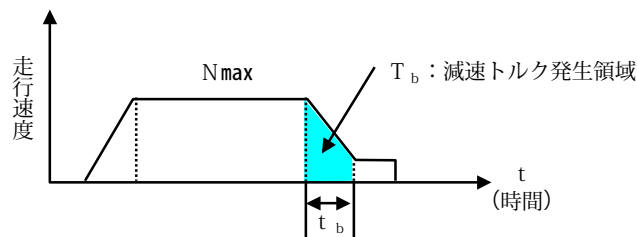
～3.7kW 　：約 15～30% (0.15～0.3)

～11kW 　　：約 10～15% (0.1～0.15)

15～55kW 　：約 10% (0.1)

この係数は、使用するモータの効率によって異なります。(例、モータ効率 80% の時：X=0.2) モータのデータをご確認ください。

また、コンデンサ帰還時の制動トルクは、短時間ですので減速時間が長い場合は、制動ユニット、制動抵抗器を必要とします。



制動ユニットの選定

1. 制動抵抗値 (R)

SI 単位系 $R < \frac{(E_{DC})^2}{0.105 \times T_b \times N_{max}} \times \frac{1}{[1.2]}$ Ω 以下

従来単位系 $R < \frac{(E_{DC})^2}{1.027 \times T_b' \times N_{max}} \times \frac{1}{[1.2]}$ Ω 以下

動作余裕係数

E_{DC} : 制動ユニット動作電圧
 インバータ 200V 級 のとき : 350V
 インバータ 400V 級 のとき : 700V

制動電流値の検討… 制動抵抗を流れる電流値がインバータ定格電流より小さいことを検討する必要があります。

$I_p = \frac{E_{DC}}{R} < \text{インバータ定格出力電流} (I_p : \text{瞬時最大電流})$
 OK 又は NG (NG の場合は、インバータ容量を大きくする)

2. 平均放電容量

SI 単位系 $P_L < \frac{0.105 \times N_{max} \times (T_b - [0.1] \times T_M) \times t_b}{2 \times t_c}$ (W) 以上

従来単位系 $P_L < \frac{1.027 \times N_{max} \times (T_b' - [0.1] \times T_M') \times t_b}{2 \times t_c}$ (W) 以上

モータ損失分

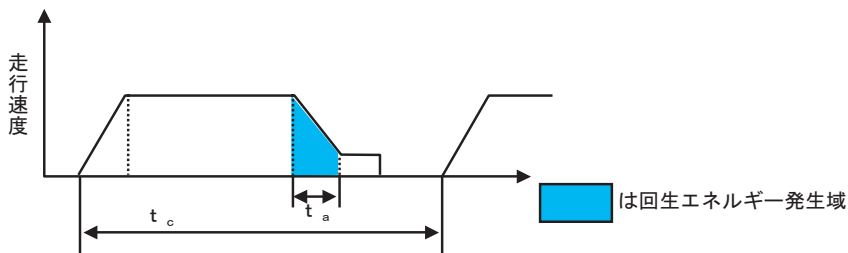
ただし、 $\frac{t_b}{t_c} < 0.1$ の場合は結果の数値を $\frac{0.1 \times t_c}{t_b}$ 倍してください。

また $(T_b - 0.1 \times T_M) < 0$ の場合は、0 としてください。…制動抵抗器 不要

3. 制動抵抗容量 (P_R)

$P_R > 3 \times P_L$ (W) 以上

↑ 抵抗容量余裕係数



4. 制動ユニットの選定

前頁で求めた制動抵抗値 R (Ω) 及び制動抵抗容量 P_R (W) から、次頁の制動ユニット及び抵抗器を選出してください。

ただし、下記の項目についてご注意ください。

- ① 制動ユニットと制動抵抗との配線距離には制限があります。各制動ユニットの取扱説明書にて確認ください。
- ② 制動ユニットは並列接続できる機種があります。
- ③ 制動抵抗器は運転パターンや放電容量により決まります。

■ 容量選定における注意点

- (1) 一般に、インバータを利用すると、低速になるとトルクが低減しますので、始動時及び低速域での負荷トルクに注意して選定をする必要があります。
- (2) 走行装置では、減速時などにおいてモータが負荷によって回されるため、機械系の回転エネルギーが回生エネルギーとなってインバータ側へ逆流します。この回生エネルギーを処理する（制動トルクを上げる）ために、制動ユニットや制動抵抗器が必要となります。

モータ熱容量の検討

運転／停止、加速／減速を頻繁に繰り返す場合、モータの熱容量に問題ないか検討する必要があります。

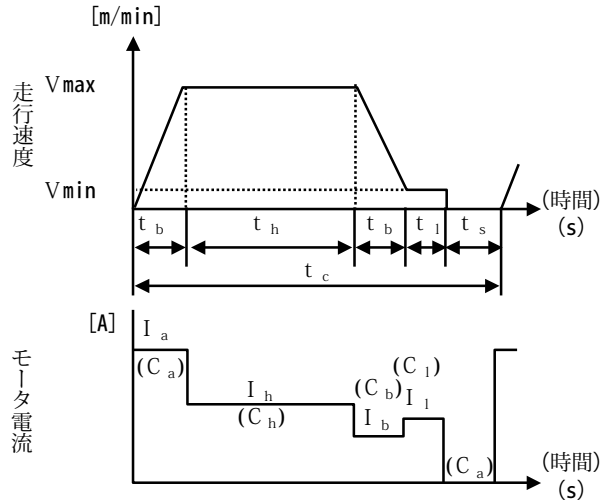


図4-2 運転パターン及びモータ電流

$$I_M = I_a^2 \times t_a + I_h^2 \times t_h + I_b^2 \times t_b + I_l^2 \times t_l$$

$$C_M = C_a \times t_a + C_h \times t_h + C_b \times t_b + C_l \times t_l + C_s \times t_s$$

$$I_{MC} = \sqrt{\frac{I_M}{C_M}} \quad \boxed{} \text{ (A)}$$

I_{MC} : 冷却係数を考慮したモータ電流実効値(A)

I : 各区間におけるモータ電流実効値(A)

C : 各区間のモータ回転数に対応するモータの冷却係数(0.0~1.0)

$I_{MC} < I_f$ I_f : モータ定格電流

OK 又は NG

NGの場合はモータ及びインバータ容量の枠上げをして再検討します。

(注1)モータ電流値は各区間の負荷トルクにより算出します。(負荷率よりモータ電流を推定)

(注2)モータの冷却係数は各モータにより異なります。(概略次頁参照)

(注3)連続運転時間が10分を超える場合は連続定格でご使用ください。

モータの冷却係数

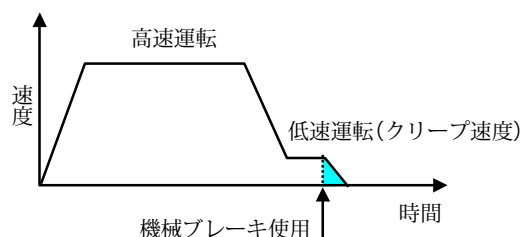
冷却方式	加速時(最大値)	減速、停止時(最小値)
開放形	0.6	0.3
閉鎖通風形	0.7	0.4
他力通風形	1.0	1.0

停止精度の検討

停止精度を出すためには、停止寸前で低速運転(クリーブ速度)を行い停止位置にきた時、機械ブレーキで止める方法を取ります。

すなわち、右図のような運転をさせるわけです。このような運転を行うのはインバータで簡単にできます。

すなわち、インバータの回生制動を使うと高速から低速へスムーズにしかも応答よく制御しますので、精度の良い停止ができます。



1. 停止精度の考え方と計算方法

停止精度を要求される場合、停止寸前で低速(クリーブ速度)運転を行い、電磁ブレーキなどの機械ブレーキで停止させる方法について説明します。

(1) クリーブ速度

クリーブ速度は、停止精度を決めるために重要な速度です。

停止精度は、クリーブ速度は低いほどよくなります。

また、図(停止パターン)のように、クリーブ速度のバラツキはそのまま停止精度に大きく影響します。

クリーブ速度自身のバラツキは使用電動機によって異なりますが、主なバラツキ要素として次のものがあります。

バラツキの要素

- a 負荷トルクの変動 これはモータの速度変動率で考えます。
- b 電源電圧変動 電圧の2乗に比例してトルクも変動します。
- c 周囲温度とモータトルクの温度変化
- d インバータ出力周波数の精度(インバータの機種で異なる)

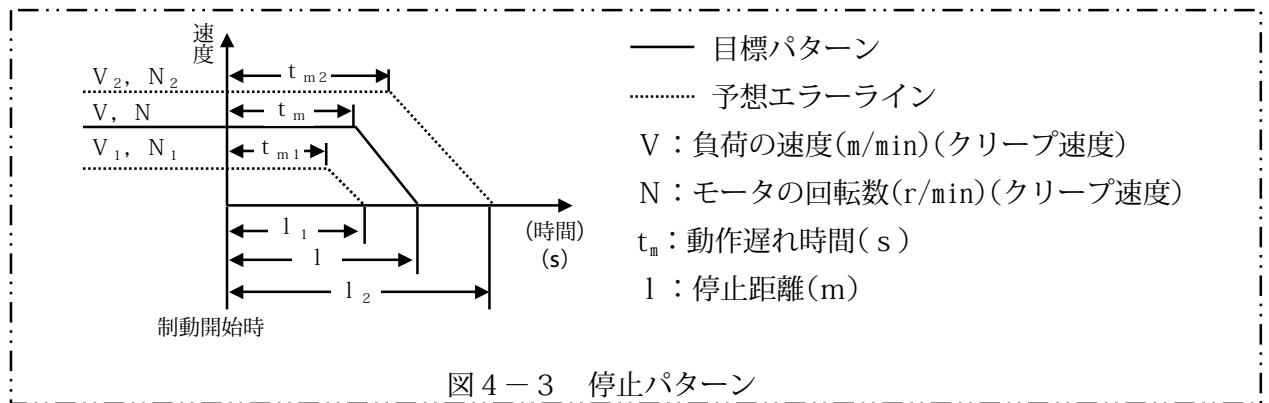


図4-3 停止パターン

(2)停止精度

クリープ速度から安全停止させるまでの移動量の誤差が停止精度となります。移動量は、パターンの面積として求められます。

すなわち、目標パターンを例にとって移動量を求めるとつぎのようになります。

まず、電磁ブレーキが働いてから停止するまでの時間 t は、①式となります。

S I 単位系 $t = \frac{\Sigma J \times N}{9.55(T_L + T_B)} \text{ (s)} \dots\dots\dots \text{①式}$

従来単位系 $t = \frac{\Sigma G D^2 \times N}{375(T_L' + T_B')} \text{ (s)} \dots\dots\dots \text{①式}$

- ここに、 t : 停止時間(s)
 N : モータ回転数(r/min)
 ΣJ : モータ軸換算総合慣性モーメント [kgf・m²] (モータも含む)
 $\left[\begin{array}{l} \Sigma G D^2 : \text{モータ軸換算総合はずみ車効果 [kgf・m}^2\text{]} \\ \text{(注)慣性モーメント (J) = はずみ車効果 (GD}^2\text{) / 4} \end{array} \right]$
 T_L : 負荷トルク (N・m) ($T_L' < \text{kgf} \cdot \text{m}^2 >$)
 T_B : 電磁ブレーキ (N・m) ($T_B' < \text{kgf} \cdot \text{m}^2 >$)

これより停止指令からの停止距離は、②式となります。

$$l = t_m \times \frac{V}{60} + \frac{1}{2} \times t \times \frac{V}{60} \text{ (m)} \dots\dots\dots \text{②式}$$

- l : 停止距離(m)
 t_m : 動作遅れ時間(s)
 V : クリープ速度(m/min)

クリープ速度が上図のようにバラツキますから、停止距離について求めますと精度としては、③式となります。

$$\text{(停止精度)} l' = \frac{l_1 - l_2}{2} \text{ (m)} \dots\dots\dots \text{③式}$$

なお、クリープ速度のバラツキは、負荷トルクの変動、電源変動、周囲温度の変化を考慮して総合で、 $\pm 1\%$ (インバータの最高周波数に対して)程度で計算してください。

(クリープ速度の周波数が $\frac{f_{\max}}{10}$ とするとバラツキは $\pm 10\%$ となります。)

また、動作遅れ時間 t_m にはコンタクタの動作遅れ、ブレーキの動作遅れがありますが、遅れ時間 $t_m = 0.01 \sim 0.04 \text{ (s)}$ として計算してください。

(遅れ時間を詳細に検討する場合は、コンタクタ、ブレーキ等の動作時間を各々ご確認ください。)

2. クリープ速度の決め方

- (1) 走行時の最大周波数をモータ許容最大回転に応じた周波数としてください。
- (2) インバータの始動周波数は、0.1Hz から出力可能ですが、クリープ運転には使用できません。
できるだけ 5Hz 又は 6Hz 以上を選定してください。
- (3) クリープ運転時の負荷トルクは各シリーズの連続使用トルク以下におさえてください。最大トルクは短時間使用となり。この範囲で連続使用はできません。
- (4) モータの定格速度を超えて運転する場合は、カップリング負荷側なども同様のトラブルが予想されるため注意が必要です。
 - ・ 許容最高回転数
 - ・ モータの機械的強度
 - ・ 振動、軸受寿命など