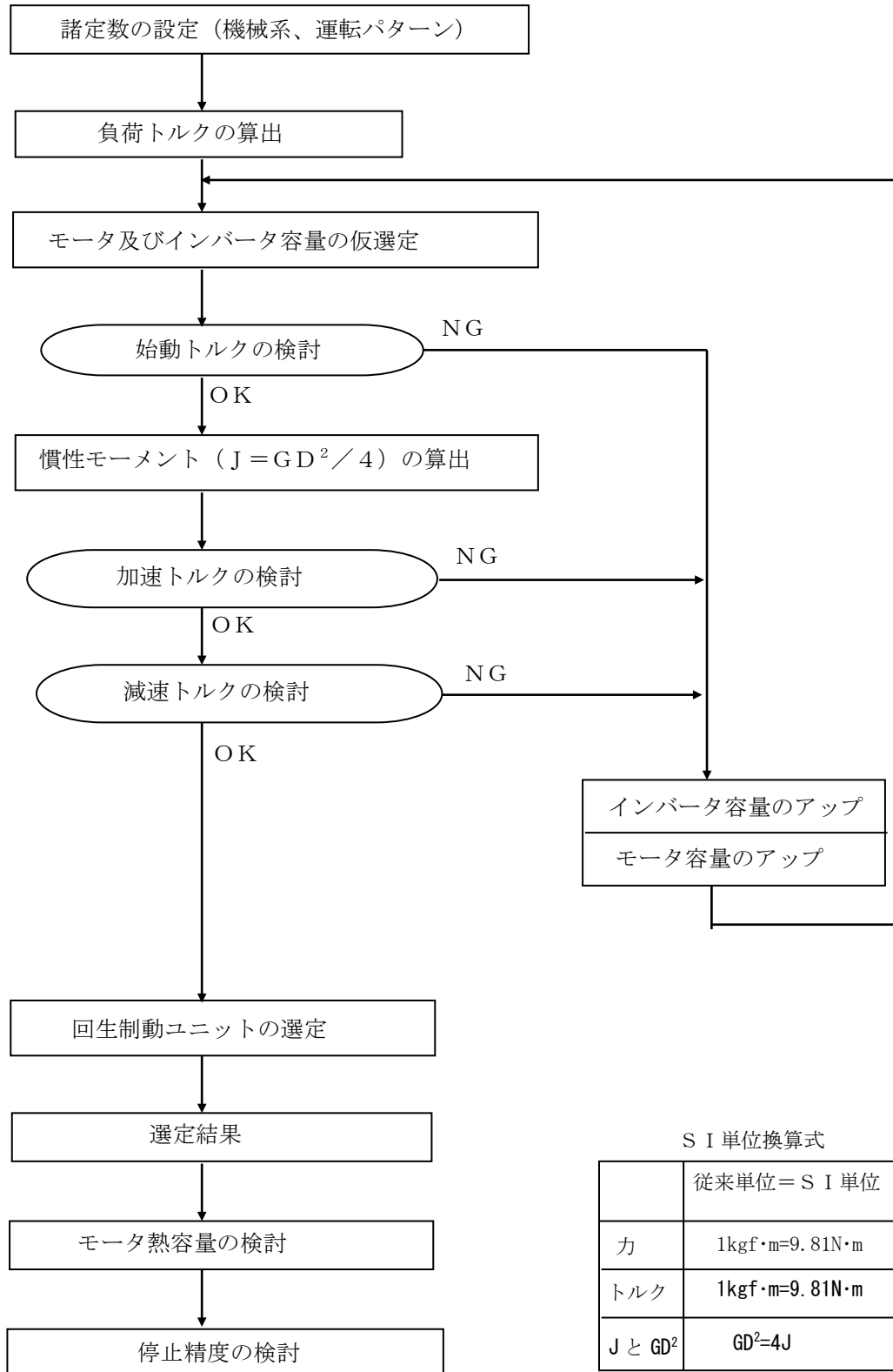


4.1 走行・台車装置編

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

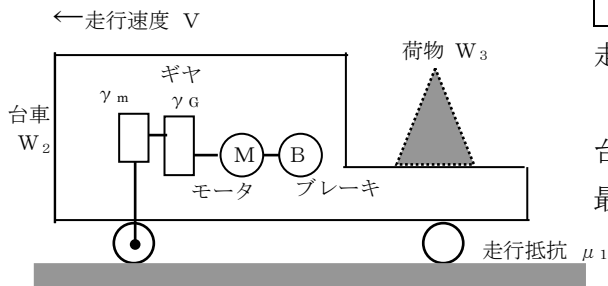
	従来単位 = S I 単位
力	1kgf・m=9.81N・m
トルク	1kgf・m=9.81N・m
J と GD ²	GD ² =4J

計算に必要な諸定数の設定

電源仕様について検討します。

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

1. 機械系の諸定数を求めます。



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。

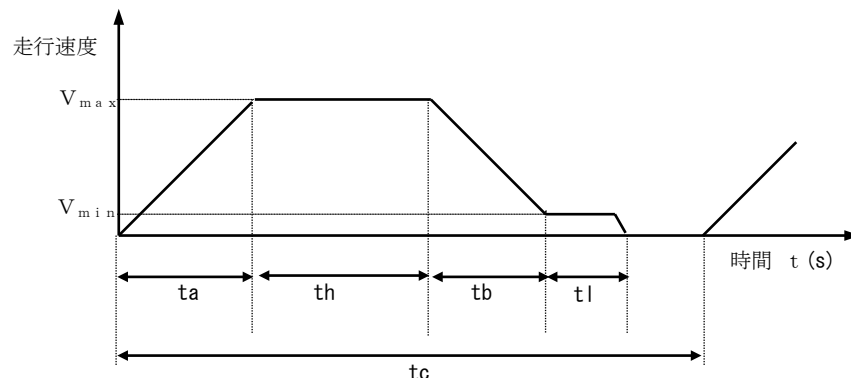


図 4-1 運転パターン

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	(ta)	:	<input type="text"/>	(s)
	最高速度運転時間	(th)	:	<input type="text"/>	(s)
	減速時間	(tb)	:	<input type="text"/>	(s)
	最低速度運転時間	(tl)	:	<input type="text"/>	(s)
	サイクル時間	(tc)	:	<input type="text"/>	(s)

負荷トルクの算出

1. 総合機械効率 $\gamma = \prod \gamma_i$ (各機械効率を掛算することを意味します。)
 $= \gamma_G \times \gamma_m (\leq 1.0)$ (1.0 以下)
(今回の例：ギヤとその他機械の各効率を掛算します)

2. 走行負荷トルク (T_L) モータ軸換算

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

負荷トルク

SI 単位系 $T_L = \frac{9544 \times P_L}{N_{max}}$ (N・m)

従来単位系 $T_L' = \frac{974 \times P_L}{N_{max}}$ (kgf・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
 $P_M > P_L$ (kW) (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、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. クリープ速度は、安定した動きとするため 5Hz または、6Hz 以上に設定することを推奨いたします。
3. インバータの直流制動機能は、使用しないでください。
ブレーキ動作時に直流制動が動作すると、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

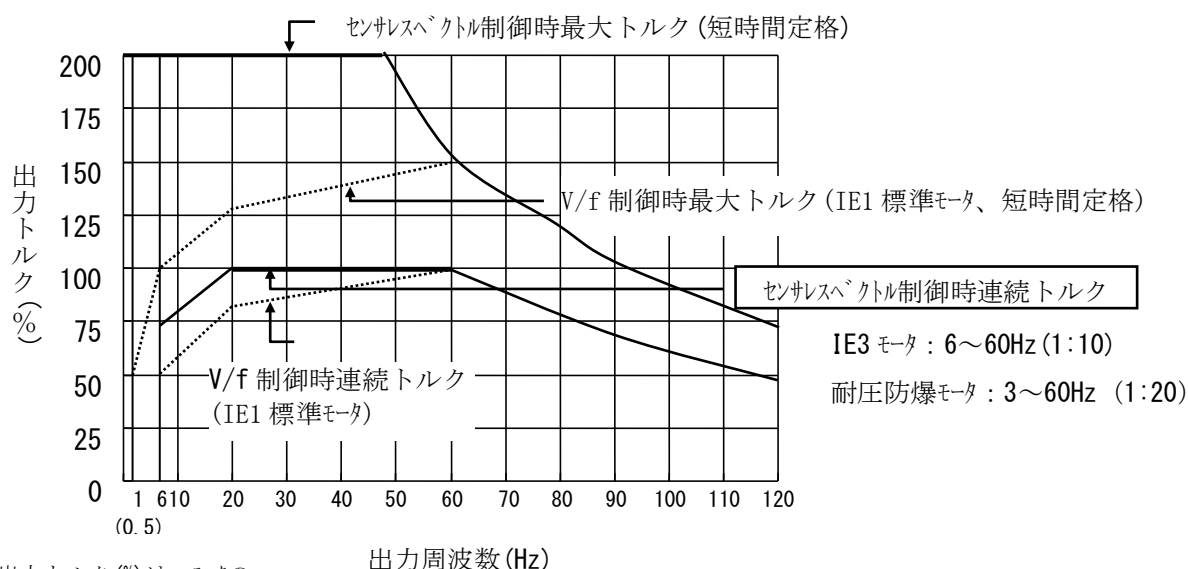
T_{MAX} = モータの定格トルク (T_M) (全負荷トルク) × 適用インバータの最大トルク係数 (α)

SI 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-430、430 α 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、始動トルクは、モータ定格トルク × (1~1.5) となります。



*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-430、430 α シリーズのトルク特性例>

2. 判定

$$T_L \text{ (負荷トルク)} < \frac{\alpha \times T_M}{K} \quad \left(\begin{array}{l} \alpha, K: \text{トルク補正係数 (Kは下記参照)} \\ \alpha \cdots \text{HF-430, 430}\alpha \text{ センサレスベクトル制御時 2.0} \\ \text{V/f 制御時、他機種は 1.0} \end{array} \right)$$

OK または NG

NG の場合は、モータ及びインバータの容量を 1 枠以上アップし、

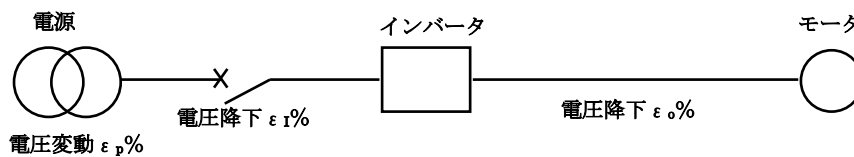
モータ、インバータ容量の仮選定 から再検討します。

(注) 静止摩擦抵抗が走行抵抗より大きい場合で、 $(\mu_2 > \mu_1)$ 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、HF-430、430 α 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%) (%)

インバータ入力側の最大電圧降下 ε_i (%) (<3%) (%)

モータ入力側の最大電圧降下 ε_o (%) (<3%) (%)

加速余裕入力側の最大電圧降下 ε_a (%) (%)

トルク補正用係数 (K) (>1.0)

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

(例) 変動率、電圧降下を許容最大値とした場合

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

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

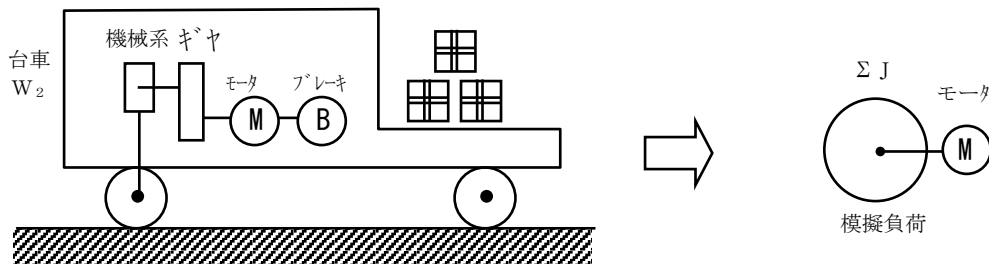
総合慣性モーメント ΣJ (はずみ車効果 ΣGD^2)

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 (4-3章)を参照ください。



加速トルクの検討

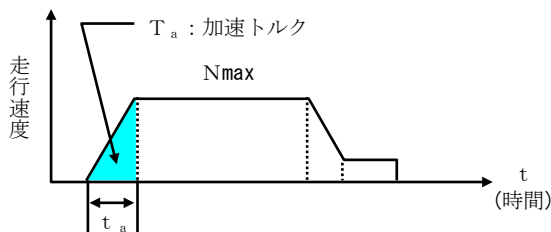
1. 加速トルク (T_a)

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 $T_a' = \frac{\Sigma GD^2 \times N_{max}}{375 \times t_a} + T_L'$ $kgf \cdot m$

2. 判定

$T_a < T_M / K$ OK または NG



NG の場合はモータ及びインバータの容量を 1 枠以上アップして再検討します。

減速トルクの検討

1. 減速トルク (T_b)

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

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

2. 判定

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

ただし、モータ容量 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枠以上アップして再検討します。)

補 足

走行、台車等にインバータを使用するときで、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には制動抵抗器が必要となります。

なお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

0.2~3.7kW : 約 15~30% (0.15~0.3)

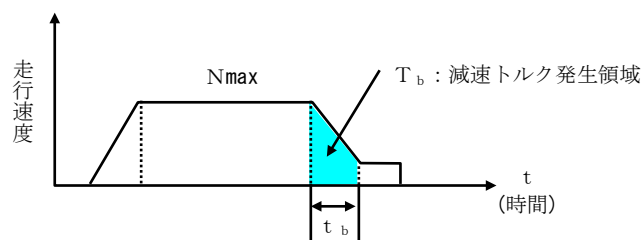
5.5~7.5kW : 約 10~15% (0.1~0.15)

11~55kW : 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抵抗器を必要とします。



制動抵抗器の選定

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

動作電圧	
インバータ	200V級 のとき : 360V
インバータ	400V級 のとき : 720V

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 または NG (NGの場合は、インバータ容量をアップします。)

2. 平均放電容量

SI単位系 $P_L < \frac{0.15 \times N_{max} \times (T_b - [0.1] \times T_M) \times t}{b}$ □(W)以上

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

モータ損失分

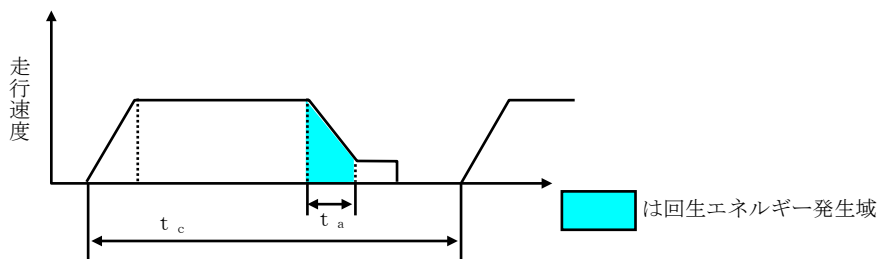
ただし、 $\frac{t_b}{t_c} < 0.1$ の場合は結果の数値を $\frac{0.1 \times t_c}{t_b}$ 倍してください。

また $(T_b - 0.1 \times T_M) < 0$ の場合は、0としてください。(制動抵抗器は不要となります。)

3. 制動抵抗容量 (P_R)

$$P_R > 3 \times P_L$$
□(W)以上

抵抗容量の余裕係数



4. 制動抵抗器の選定

前頁で求めた制動抵抗値 R (Ω)及び制動抵抗容量 P_R (W)から抵抗器を選出してください。

ただし、制動抵抗器は、運転パターンや放電容量によっても選定が異なりますのでご注意ください。

■ 容量選定における注意点

- (1) インバータを利用すると、一般的に低速でトルクが低減するので、始動時及び低速域での負荷トルクに注意して、選定を行う必要があります。
- (2) 走行装置では減速時などにおいてモータが負荷により回されるため、機械系の回転エネルギーが回生エネルギーとなり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ために(制動トルクの増加) 制動抵抗器が必要となります。

モータ熱容量の検討

運転/停止や加速/減速を頻繁に繰り返す場合、モータ熱容量を検討する必要があります。

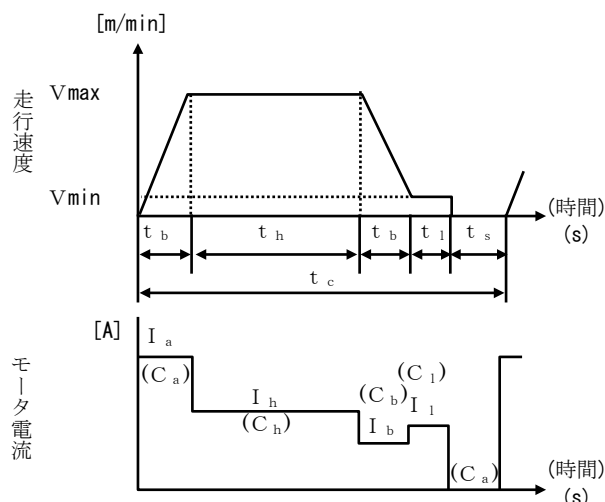


図4-2 運転パターン及びモータ電流

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

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

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

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 または 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。(下表を参照)

(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。

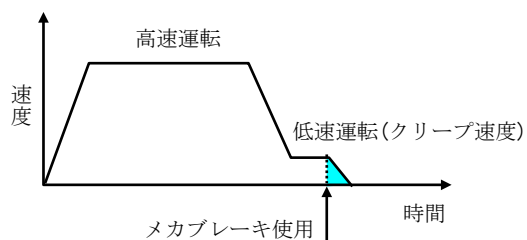
モータの冷却係数

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

停止精度を上げるためには、停止寸前で低速運転（クリープ速度）を行い、停止位置にてメカブレーキで停止させる方法とします。

すなわち、右図のような運転パターンとなりますが、インバータを用いることにより簡単に実現できます。インバータの回生制動運転により、高速から低速まで滑らかに減速されるので、精度の良い停止動作となります。



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に、停止寸前で低速（クリープ速度）運転を行い、メカブレーキで停止させる方法について説明します。

(1) クリープ速度

クリープ速度は停止精度を決めるために重要な速度です。

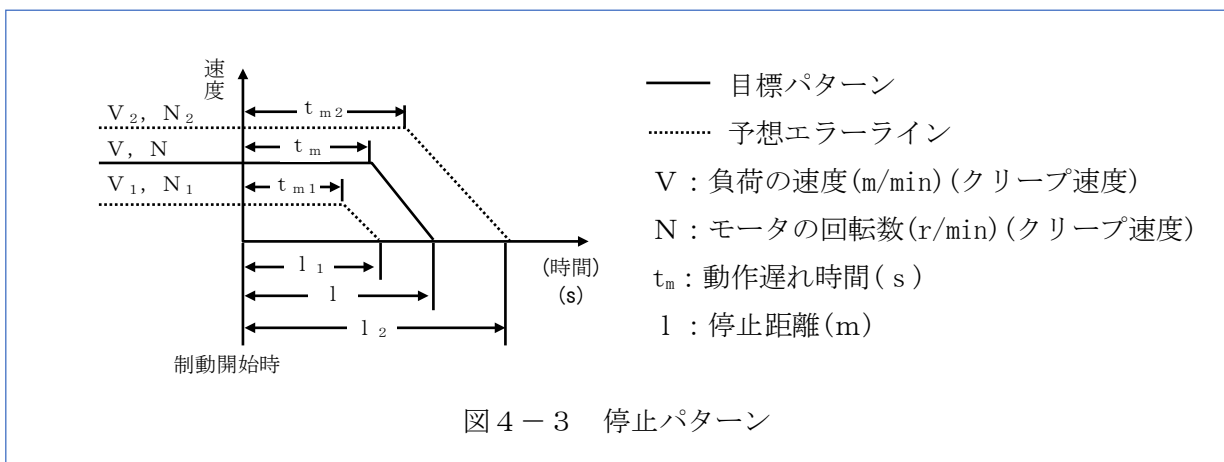
停止精度はクリープ速度が低いほど良くなります。

また、図4-3（停止パターン）のように、クリープ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。

クリープ速度自身のバラツキは使用モータによって異なりますが、主なバラツキ要素としては以下があります。

バラツキの要素

- ① 負荷トルクの変動……………モータの速度変動率が影響します。
- ② 電源電圧変動……………電圧の2乗に比例してトルクが変動します。
- ③ 周囲温度とモータトルクによる温度変化
- ④ インバータ出力周波数の精度



(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。

目標パターンを例にとりて移動量を求めると、次のようになります。

まず、メカブレーキが動作し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' <kgf・m²>)
 T_B : 電磁ブレーキ(N・m) (T_B' <kgf・m²>)

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)

クリープ速度は上図のようにバラツキますので、停止精度としては、③式となります。

停止精度

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

なお、クリーブ速度のバラツキは、負荷トルクの変動、電源変動、周囲温度の変化を考慮して、
±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。

(クリーブ速度の周波数が $\frac{f_{\max}}{10}$ とするとバラツキは±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、メカ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. クリーブ速度の決め方

- (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、クリーブ運転には使用できません。
5Hz 又は 6Hz 以上の周波数を選定してください。
- (3) クリーブ運転時の負荷トルクは、モータの連続使用トルク以下におさえてください。
- (4) モータの定格速度を超えて運転する場合は、以下の確認が必要です。
 - ・許容最高回転数
 - ・モータの機械的強度
 - ・振動、軸受寿命など