

# 永久磁石同期モータのエンコーダベクトル制御 アルゴリズム編

R01AN3789JJ0102  
Rev.1.02  
2018.10.31

## 要旨

本アプリケーションノートでは、ルネサスエレクトロニクス製マイクロコントローラを使用したエンコーダ付永久磁石同期モータのベクトル制御ソフトウェアにおける位置/速度制御アルゴリズムについて説明します。

## 目次

1. 概説 .....	2
2. ベクトル制御アルゴリズム .....	2
3. 制御系の設計 .....	5
4. 位置/速度制御 .....	11

### 1. 概説

本アプリケーションノートでは、ルネサスエレクトロニクス製マイクロコントローラを使用したエンコーダ付永久磁石同期モータ（PMSM）のベクトル制御ソフトウェアにおける位置/速度制御アルゴリズムについて説明します。

### 2. ベクトル制御アルゴリズム

#### 2.1 永久磁石同期モータの解析モデル

図 2-1 のような正弦波状の磁束分布を持った永久磁石同期モータの電圧方程式は、下記の様に表すことができます。

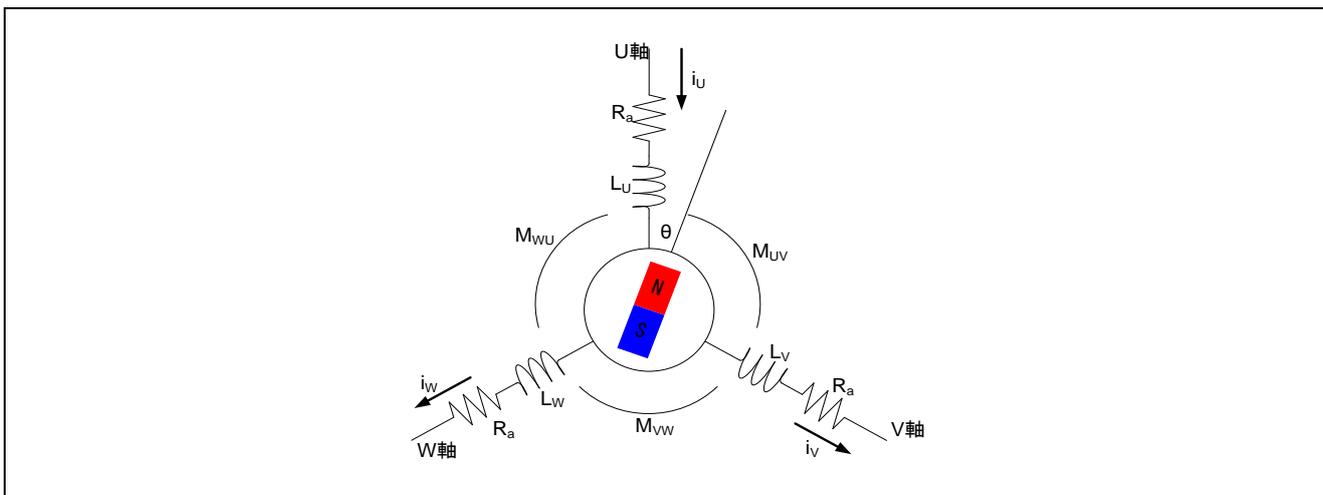


図 2-1 3 相永久磁石同期モータの概念図

$$\begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{bmatrix} = R_a \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} + p \begin{bmatrix} \phi_u \\ \phi_v \\ \phi_w \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \phi_u \\ \phi_v \\ \phi_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_u & M_{uv} & M_{wu} \\ M_{uv} & L_v & M_{vw} \\ M_{wu} & M_{vw} & L_w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} + \psi \begin{bmatrix} \cos\theta \\ \cos(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix}$$

$v_u, v_v, v_w$  : 各相電機子電圧

$i_u, i_v, i_w$  : 各相電機子電流

$\phi_u, \phi_v, \phi_w$  : 各相電機子鎖交磁束

$R_a$  : 各相電機子抵抗

$p$  : 微分演算子

$L_u, L_v, L_w$  : 各相自己インダクタンス

$M_{uv}, M_{vw}, M_{wu}$  : 各相間相互インダクタンス

$\psi$  : 永久磁石による電機子鎖交磁束の最大値

$\theta$  : U相からの永久磁石（回転子）の進み角

2.2 永久磁石同期モータの d q 軸モデル

ベクトル制御では、交流の3相(u, v, w)座標系を直流の2相(d, q)座標系で表します。固定子の3相巻線は、永久磁石のロータに同期して回転する2相巻線に変換されるため、相対的に静止し、電氣的に独立した2つの直流回路として扱うことができます。

2相(d, q)座標系は、回転子の永久磁石の磁束(N極)方向にd軸を定め、d軸から角度θの正方向に90度進んだ方向をq軸とします。dq座標系から見た永久磁石同期モータの電圧方程式を得る為以下の変換行列を用います。

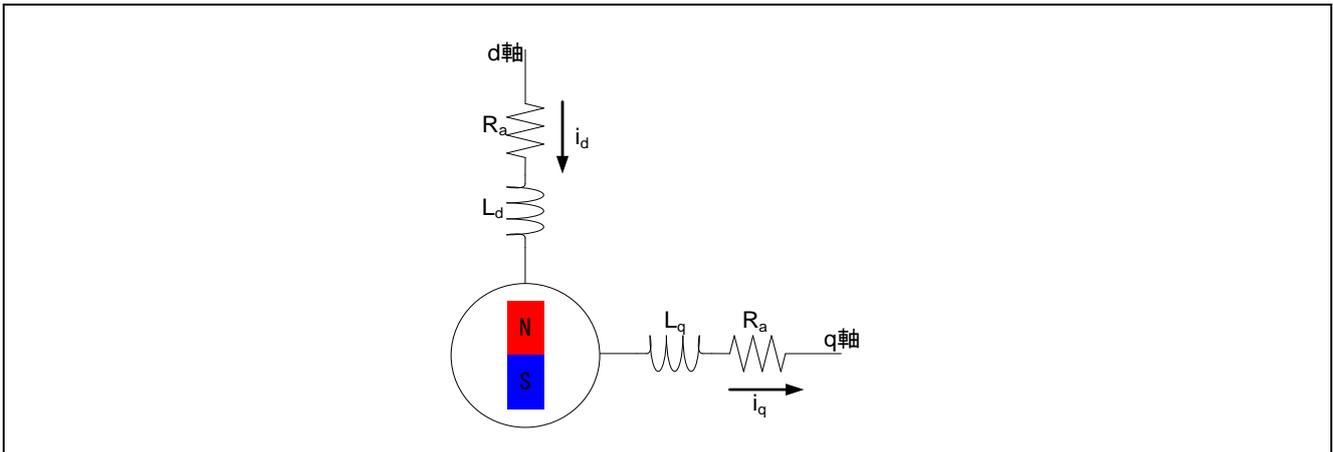


図 2-2 2 相直流モータの概念図

$$C = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ -\sin\theta & -\sin(\theta - 2\pi/3) & -\sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = C \begin{bmatrix} v_u \\ v_v \\ v_w \end{bmatrix}$$

上記の座標変換により dq 座標系での電圧方程式は以下の様に表すことができます。

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_a + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega\psi_a \end{bmatrix}$$

$v_d, v_q$  : dq軸電機子電圧

$i_d, i_q$  : dq軸電機子電流

$R_a$  : 各相電機子抵抗

$\omega$  : 角速度

$L_d, L_q$  : dq軸自己インダクタンス

$$L_d = l_a + \frac{3(L_a - L_{as})}{2}, L_q = l_a + \frac{3(L_a + L_{as})}{2}$$

$\psi_a$  : 永久磁石による電機子鎖交磁束の実効値

$$\psi_a = \sqrt{\frac{3}{2}}\psi$$

以上より、静止している3相固定子に流れていた交流は、回転子である永久磁石と同期して回転している2相の固定子に流れる直流に見なす事が出来ます。

モータに生じるトルクの大きさは電流ベクトルと電機子鎖交磁束の外積より下記のように求めます。この式の右辺第一項をマグネットトルク、右辺第二項をリラクタンストルクと呼びます。

$$T = P_n \{ \psi_a i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \}$$

$T$ : モータトルク       $P_n$ : 極対数

d軸とq軸のインダクタンスの差が無いモータを突極性が無いモータと呼びます。この場合、リラクタンストルクは0になるので、q軸電流に比例してトルクは大きくなります。この為、q軸電流をトルク電流と呼ぶ事があります。一方、d軸電流は、その大きさを変化させる事であたかも永久磁石の磁束の大きさを変化しているかのように見なせる働きをするので励磁電流と呼ぶ事があります。

3. 制御系の設計

3.1 ベクトル制御システムとコントローラ

位置制御システム全体のブロック図を図 3-1 に示します。

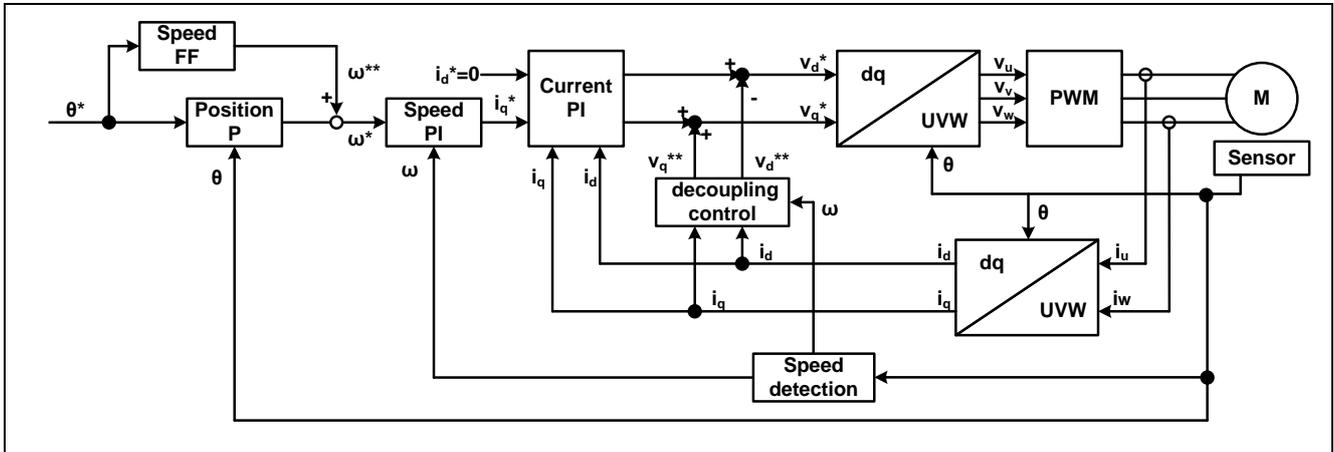


図 3-1 ベクトル制御のシステムブロック(位置制御)

図 3-1 のように位置制御システムは位置制御系、速度制御系と電流制御系によって構成されます。速度制御系と電流制御系は一般的な PI 制御コントローラを、位置制御系は P 制御と速度へのフィードフォワード制御を使用して実現され、それぞれのコントローラのゲインは所望の制御特性を実現するために適切に設計する必要があります。

また、システムブロック図中の非干渉制御(decoupling control)ブロックでは、モータが回転することによって発生する誘起電圧 $v_d^{**}$ 、 $v_q^{**}$ (下記式参照)を、各相の指令電圧にフィードフォワードします。それにより速度制御システムの高い応答性を実現するとともに、d 軸と q 軸を独立に制御することを可能とします。

$$v_d^{**} = -\omega L_q i_q$$

$$v_q^{**} = \omega(L_d i_d + \psi_a)$$

### 3.2 電流制御系

#### 3.2.1 電流制御系の設計

モータの電氣的な特性から電流制御系をモデル化します。固定子コイルは抵抗 $R$ とインダクタンス $L$ で表すことができるため、モータの固定子モデルは、一般的な  $RL$  直列回路の伝達関数  $\frac{1}{R+Ls}$  で表せます。

コントローラは  $PI$  制御を使用して、電流制御系は、図 3-2 のようなフィードバック制御系で表すことができます。

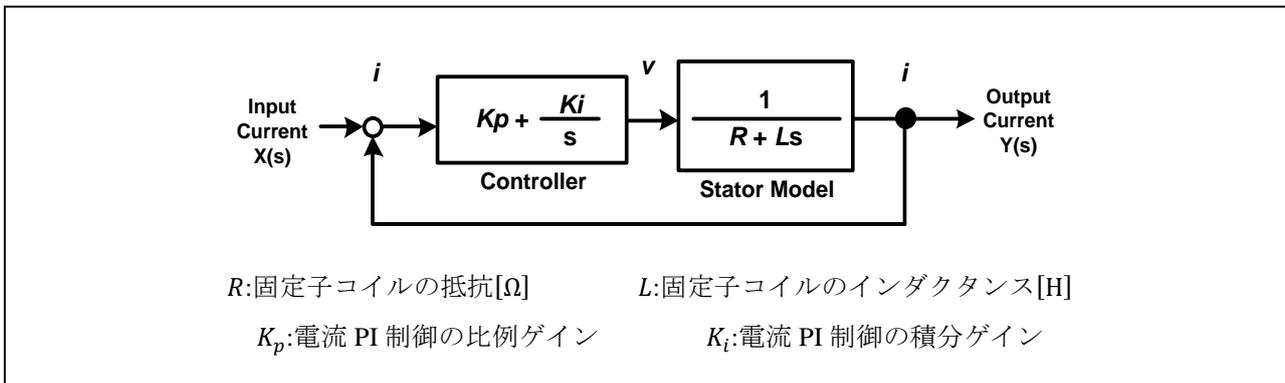


図 3-2 電流制御系のモデル

まず、モータ固定子の $R$ と $L$ を既知として電流制御系の $PI$ 制御ゲインを設計します。

電流制御系の閉ループ伝達関数は以下のように求められます。

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\frac{K_a}{K_b} \left(1 + \frac{s}{a}\right)}{s^2 + \frac{1}{K_b} \left(1 + \frac{K_a}{a}\right)s + \frac{K_a}{K_b}}$$

$$K_i = K_p a, \quad K_a = \frac{K_p a}{R}, \quad K_b = \frac{L}{R}$$

また、零点を持つ2次遅れ系の一般式は下記の通り書き表すことができます。

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \left(1 + \frac{s}{\omega_z}\right)$$

そして電流制御系の伝達関数を、零点を持つ2次遅れ系の一般式と係数比較すると、次式のような関係が得られます。

$$\frac{\omega_n^2 \left(1 + \frac{s}{\omega_z}\right)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \Leftrightarrow \frac{\frac{K_a}{K_b} \left(1 + \frac{s}{a}\right)}{s^2 + \frac{1}{K_b} \left(1 + \frac{K_a}{a}\right)s + \frac{K_a}{K_b}}$$

$$\omega_n^2 = \frac{K_a}{K_b}, \quad 2\zeta\omega_n = \frac{1}{K_b} \left(1 + \frac{K_a}{a}\right), \quad \omega_z = a$$

以上より、固有周波数 $\omega_n$ 、減衰係数 $\zeta$ 、零点周波数 $\omega_z$ は、下記の通り書き表すことが出来ます。

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_a}{K_b}}, \quad \zeta = \frac{1}{2K_b \sqrt{\frac{K_a}{K_b}}} \left(1 + \frac{K_a}{a}\right), \quad \omega_z = a = \frac{\omega_n^2 L}{2\zeta\omega_n L - R}$$

このことから電流 PI 制御ゲイン $K_{p\_current}$ 、 $K_{i\_current}$ は、次式のようになります。

$$K_{p\_current} = 2\zeta_{CG}\omega_{CG}L - R, \quad K_{i\_current} = K_{p\_current}a = \omega_{CG}^2 L$$

$\omega_{CG}$ :電流制御系固有周波数

$\zeta_{CG}$ :電流制御系減衰係数

よって、電流制御系の PI 制御ゲインは、 $\omega_{CG}$ と $\zeta_{CG}$ により設計可能であることが分かります。

### 3.3 速度制御系

#### 3.3.1 速度制御系の設計

モータの機械的な特性から速度制御系をモデル化します。回転系の運動方程式より、機械系のトルク式は次式のように書き表せます。

$$T = J\dot{\omega}_{mech}$$

$J$  :回転子イナーシャ,  $\omega_{mech}$ :機械角速度

これに対して、電気系のトルク式は、マグネットトルクのみを考慮すれば、次式のようになります。

$$T = P_n\psi_a i_q$$

力学系と電気系の2つのトルク式を使えば、機械角速度は次式のように書き表せます。

$$\omega_{mech} = \frac{P_n\psi_a}{sJ} i_q$$

また、制御ソフトウェアにおいて速度は電気角で扱っているため、さらに両辺に極対数 $P_n$ を掛けます。

$$\omega_{elec} = \frac{P_n^2\psi_a}{sJ} i_q$$

$\omega_{elec}$ :電気角速度

よって、これが速度制御系におけるモータモデルとなります。また、コントローラはPI制御を使用し、速度制御系は、図 3-3 のようなフィードバック制御系で表すことができます。

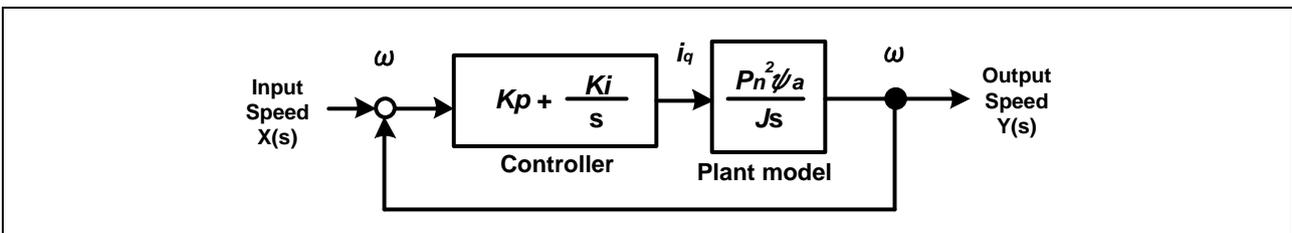


図 3-3 速度制御系のモデル

ここで、モータパラメータ $P_n, \psi, J$ を既知として、速度制御系のPI制御ゲインを設定します。まずは、システムの伝達関数を求めます。

速度制御系の閉ループ伝達関数は以下のように求められます。

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K_b a \left(1 + \frac{s}{a}\right)}{s^2 + K_b s + K_b a}$$

$$K_b = \frac{K_p P_n^2 \psi}{J}, \quad K_i = K_p a$$

また、零点を持つ2次遅れ系の一般式は下記の通り書き表すことができます。

$$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \left(1 + \frac{s}{\omega_z}\right)$$

電流制御系と同様に、速度制御系の伝達関数を、零点を持つ2次遅れ系の一般式と係数比較すると、次式のような関係式が得られます。

$$\frac{\omega_n^2 (1 + s/\omega_z)}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \Leftrightarrow \frac{aK_b \left(1 + \frac{s}{a}\right)}{s^2 + K_b s + aK_b}$$

$$\omega_n^2 = aK_b = \frac{K_p a P_n^2 \psi_a}{J}, \quad 2\zeta\omega_n = K_b = \frac{K_p P_n^2 \psi_a}{J}, \quad \omega_z = a$$

以上より、固有周波数 $\omega_n$ 、減衰係数 $\zeta$ 、零点周波数 $\omega_z$ は、下記の通り書き表すことができます。

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_p a P_n^2 \psi_a}{J}}, \quad \zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_p P_n^2 \psi_a}{aJ}}, \quad \omega_z = a = \frac{\omega_n}{2\zeta}$$

このことからPI制御ゲイン $K_{p\_speed}, K_{i\_speed}$ は、次式のようになります。

$$K_{p\_speed} = \frac{2\zeta_{SG}\omega_{SG}J}{P_n^2\psi_a}, \quad K_{i\_speed} = K_{p\_speed}a = \frac{\omega_{SG}^2 J}{P_n^2\psi_a}$$

$\omega_{SG}$ :速度制御系固有周波数

$\zeta_{SG}$ :速度制御系減衰係数

よって、速度制御系のPI制御ゲインは、 $\omega_{SG}$ と $\zeta_{SG}$ により設計可能であることが分かります。

### 3.4 位置制御系

#### 3.4.1 位置制御系の設計

位置制御系のコントローラは比例項のみを用いています。速度の指令値に比べて過大な入力に対して速く応答させるため、速度へのフィードフォワードを組み合わせて応答性を向上させています。位置制御系のブロックは以下のようになります。

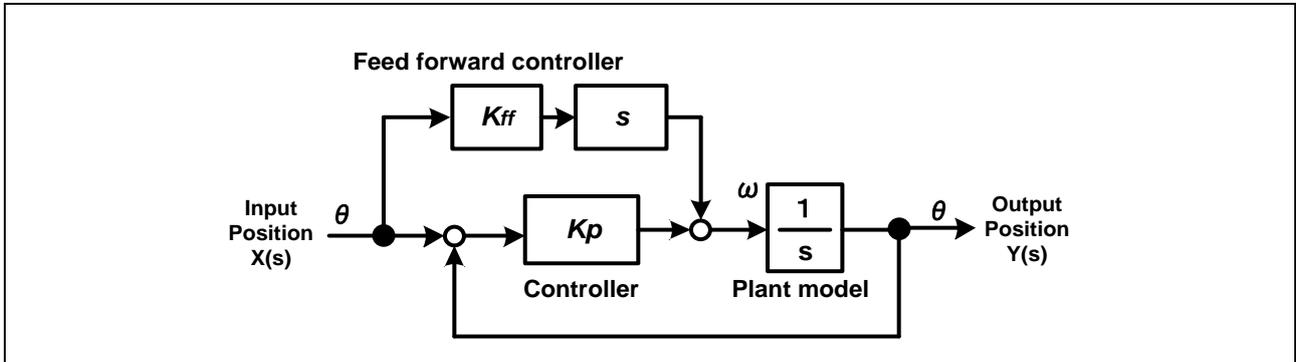


図 3-4 位置制御系のモデル

位置制御系は P 制御のみを用いており、 $K_{p\_position}$  のゲイン設計には、位置制御系固有周波数  $\omega_{PG}$  のみで設計します。

$$\omega = K_{p\_position}(\theta_{ref} - \theta)$$

$$K_{p\_position} = \omega_{PG}$$

また速度応答性を向上させるため、速度へのフィードフォワード制御を実装しています。

$$\omega_{ff} = K_{speed\_ff} \dot{\theta}_{ref}$$

よって、速度フィードフォワードは固定値、位置の P ゲインは固有周波数  $\omega_n$  により設計できます。

## 4. 位置/速度制御

### 4.1 速度オブザーバ

分解能の低いエンコーダ(数千[ppr]程度)を使用しての位置・速度制御では、パルス信号から作る速度情報は低速になるほど量子化誤差の影響により速度リップルが生じます。制御ゲインを上げて応答性を向上させようとすると、リップルも増幅し、振動や音として現れます。またこの振動は、安定性を低下させる要因ともなります。

ソフトウェアにより速度リップルを低減する手法として、速度オブザーバによる速度推定アルゴリズムを実装しています。

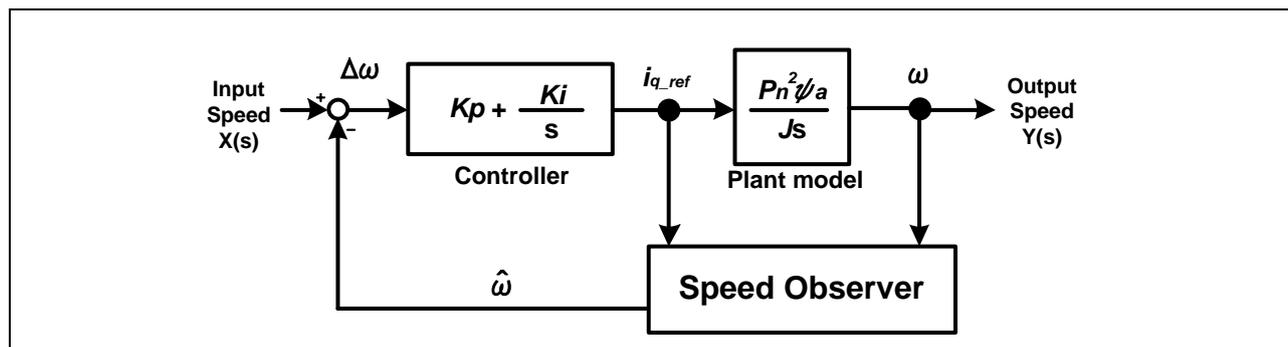


図 4-1 速度制御系のモデル

速度オブザーバは、q 軸電流指令値  $i_{q\_ref}$  と速度  $\omega$  を入力として、推定速度  $\hat{\omega}$  を求めます。速度オブザーバを用いることで、速度リップルを低減させることが可能で、かつ通常のフィルタ処理に比べて制御系に影響を与えにくい特徴があります。

### 4.2 IPD 制御器

位置制御系では、位置や速度の分解能が低い場合、位置決め時に振動が発生し続ける問題を生じます。これは、微小な位置偏差の変化に反応できないためです。位置決め時の振動を抑制するためには微小な変化を蓄積して偏差を零にするように働く積分要素が必要となります。

IPD 制御器は、偏差に対して積分のみが働き、比例と微分は操作量(制御器の出力)のみに働く制御方式となります。これによって、応答性を上げて位置決め時の振動を低減させることができます。

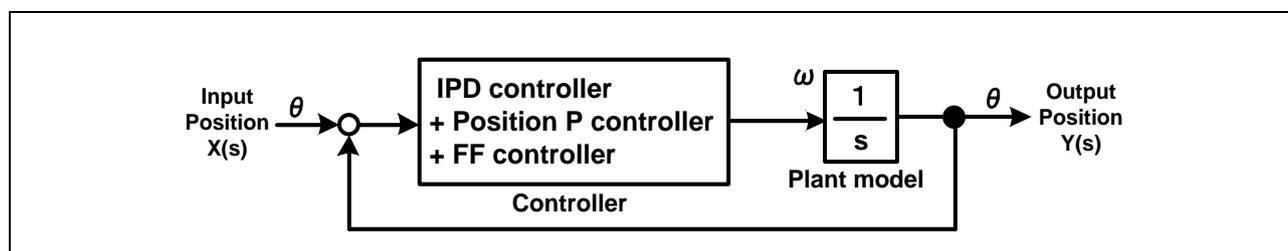


図 4-2 IPD 制御のモデル

実装している IPD 制御では、通常の比例制御、フィードフォワード制御と組み合わせています。

### 4.3 位置指令値の作成 (速度台形波方式)

エンコーダベクトル位置制御ソフトでは、入力された目標値に対して速度を管理して制御周期ごとに指令値を作成する機能が実装されています。

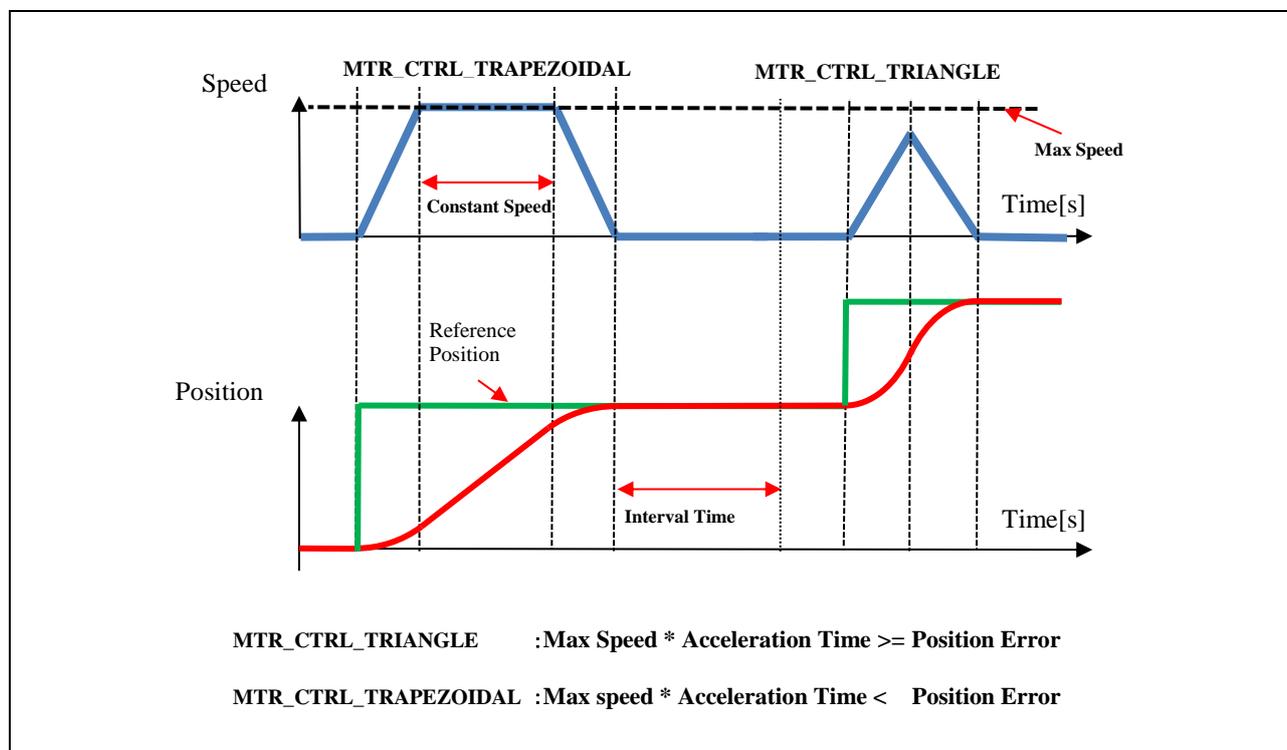


図 4-3 位置指令値の整形と三角形/台形型の速度指令値

位置偏差と加速時間から求めた速度が加速時の最大速度よりも大きい場合に、台形状の速度指令値となります。

### 4.4 位置・速度算出方式の切り換え

エンコーダ信号から位置・速度を算出する方法として、信号のエッジをカウントする方法が一般的です。しかし、分解能の低いエンコーダを使用した場合、エンコーダパルス間隔が制御周期に対して大きいため、低速での速度算出が正確に行えません。そのため、低速での算出にパルス間隔をフリーランタイムで計測する方法を実装しています。エンコーダ信号による割り込みを発生させ、位置と速度を算出します。

一方で、高速回転や、高分解能エンコーダを用いた場合に、エンコーダ信号による割り込みを発生させると制御周期内での割り込み発生回数が多くなり、処理の占有率が大きくなりすぎ、制御の破綻を引き起こしてしまいます。

これを防ぐため、エンコーダ信号割り込みでの算出方法から、一定速度以上ではキャリア割り込みでの速度算出方法に切り換えを行う方法を取っています。

#### 4.4.1 切り換え処理

図 4-4 のように、高速時にエンコーダ割り込みによる速度算出から、キャリア割り込みでの速度算出への切り換えを行っています。

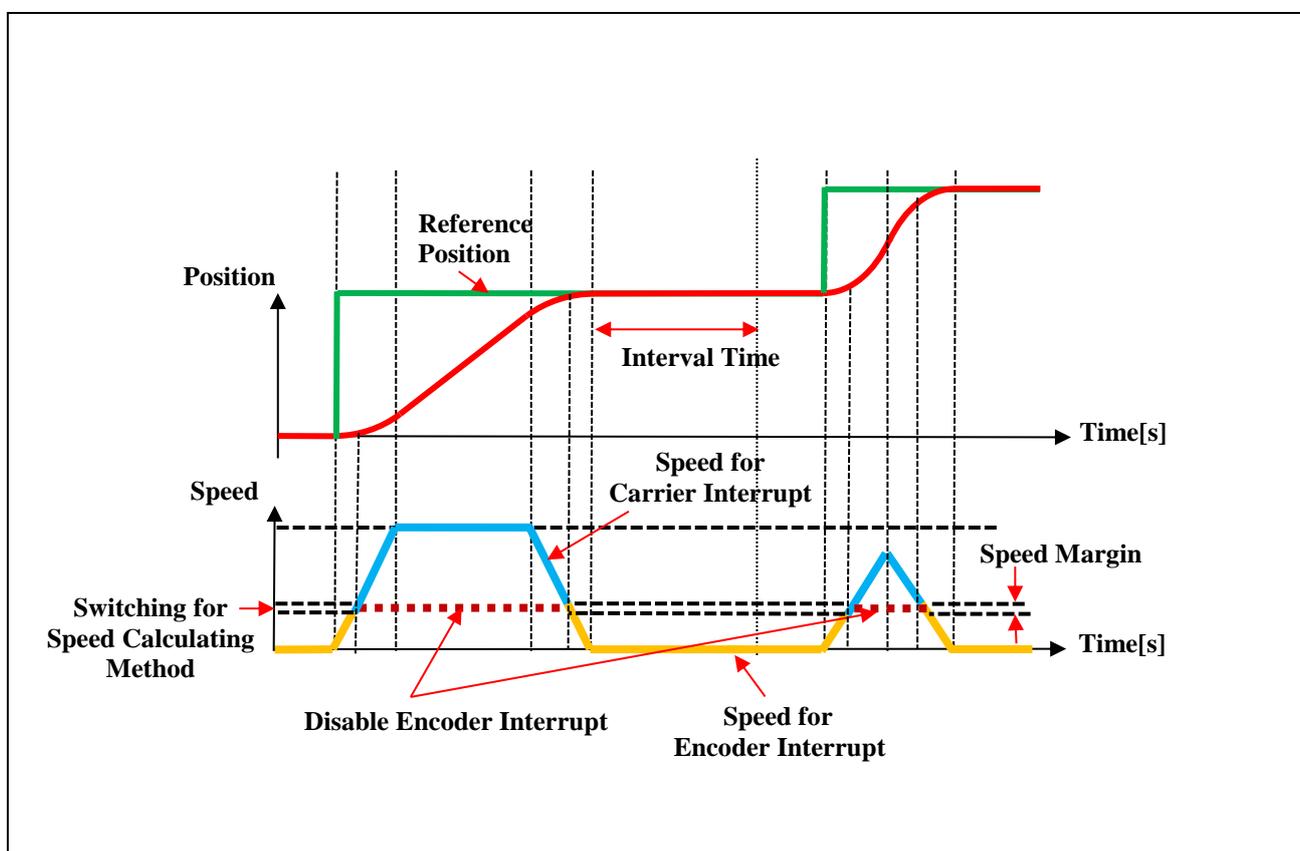


図 4-4 位置・速度の切り換え処理(一例)

4.5 位置センサを用いた位置・速度算出法

ベクトル制御では回転子の位置に応じて電圧を設定するので、エンコーダやホールセンサ、レゾルバ等の位置センサを使用します。

4.5.1 エンコーダのみを用いた磁極位置の決定

位置センサとしてエンコーダを使用する場合、インクリメンタル式エンコーダでは絶対的な磁極位置情報が得られず、相対的な位置しかわかりません。そのため、始動時に初期の磁極位置が分かっている必要があります。そこで、図 4-5 のような手順で電流ベクトルを作ることで磁石を引き込み、d 軸と電流ベクトルの向きを合わせることで、初期の磁極位置を定めます。また、この時の始動シーケンスを図 4-6 に記します。

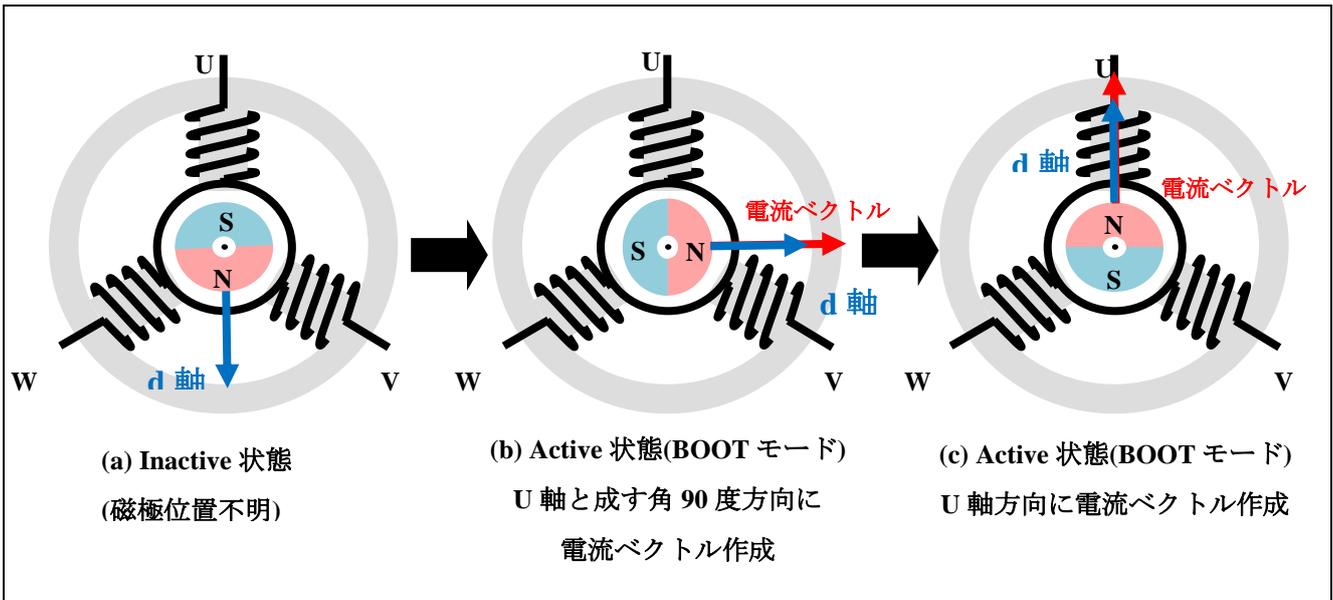


図 4-5 永久磁石位置の決定

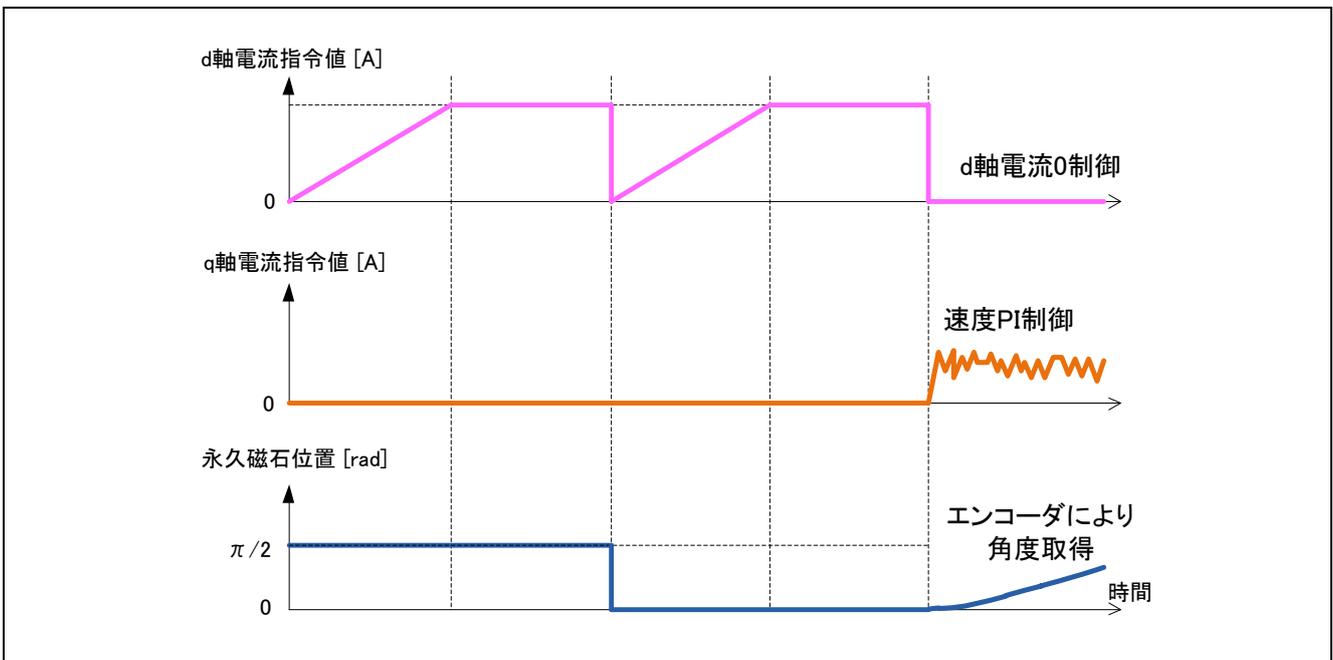


図 4-6 エンコーダ使用ベクトル制御における始動シーケンス (一例)

## 4.5.2 ホールセンサを利用した磁極位置検出

エンコーダと合わせてホールセンサを使用した場合、磁極位置を検出することができます。ホールセンサを使用した場合の磁極位置の決定方法について図 4-7 に示します。

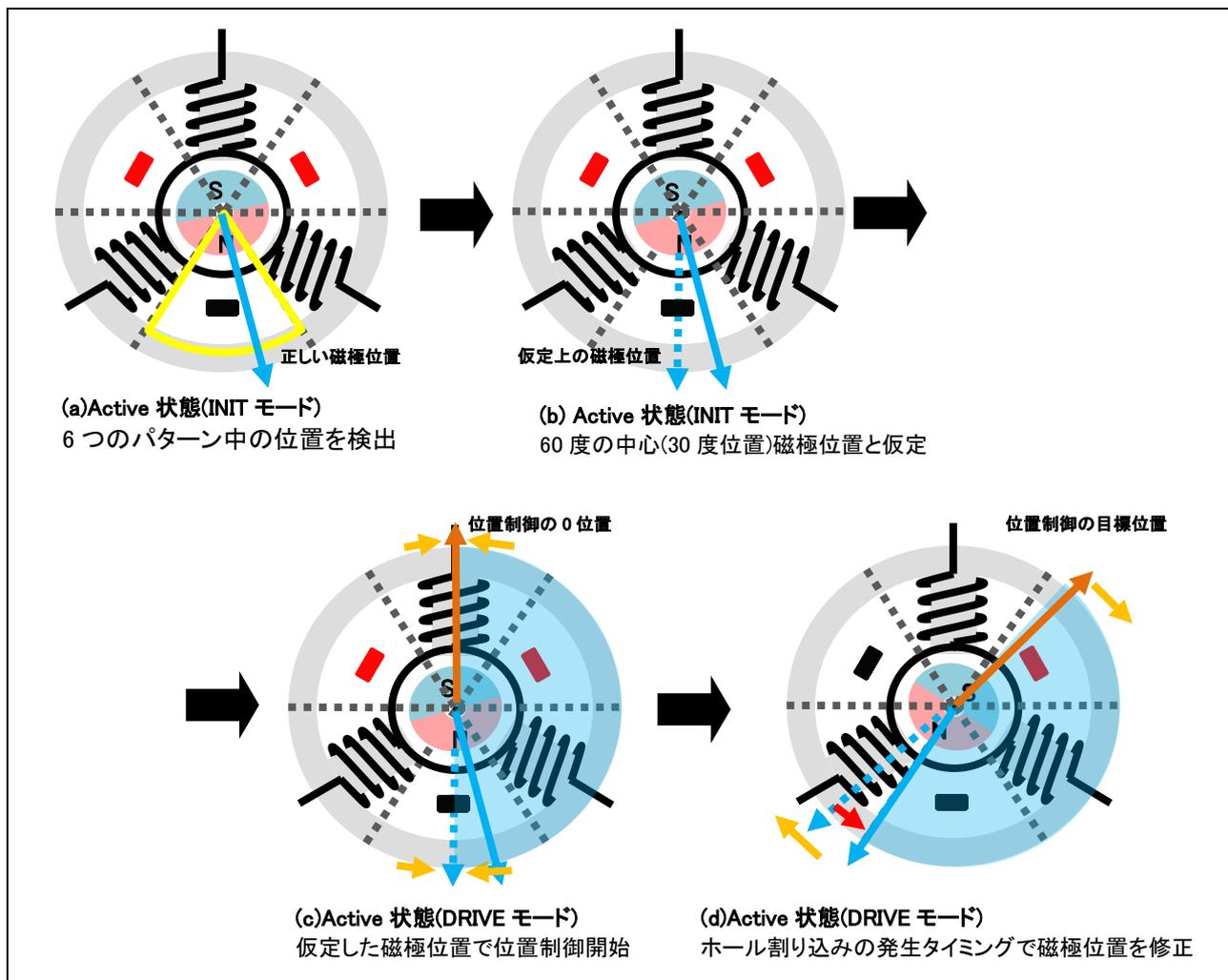


図 4-7 永久磁石の磁極位置の決定手順

- (a) ホールセンサから6つのパターンのどの60度の範囲にあるかを検出します。
- (b) 60度の中心30度位置を初期の磁極位置とします。
- (c) 位置制御を開始し、ホール割り込みが発生するまでは、正しい磁極位置から最大30度ずれた位置で制御を行います。
- (d) ホールエッジを検出した時点で、ベクトル制御での角度を正しい磁極位置に補正します。  
ホールセンサを併用することで、引き込み動作をせずに位置決め制御に移行できます。

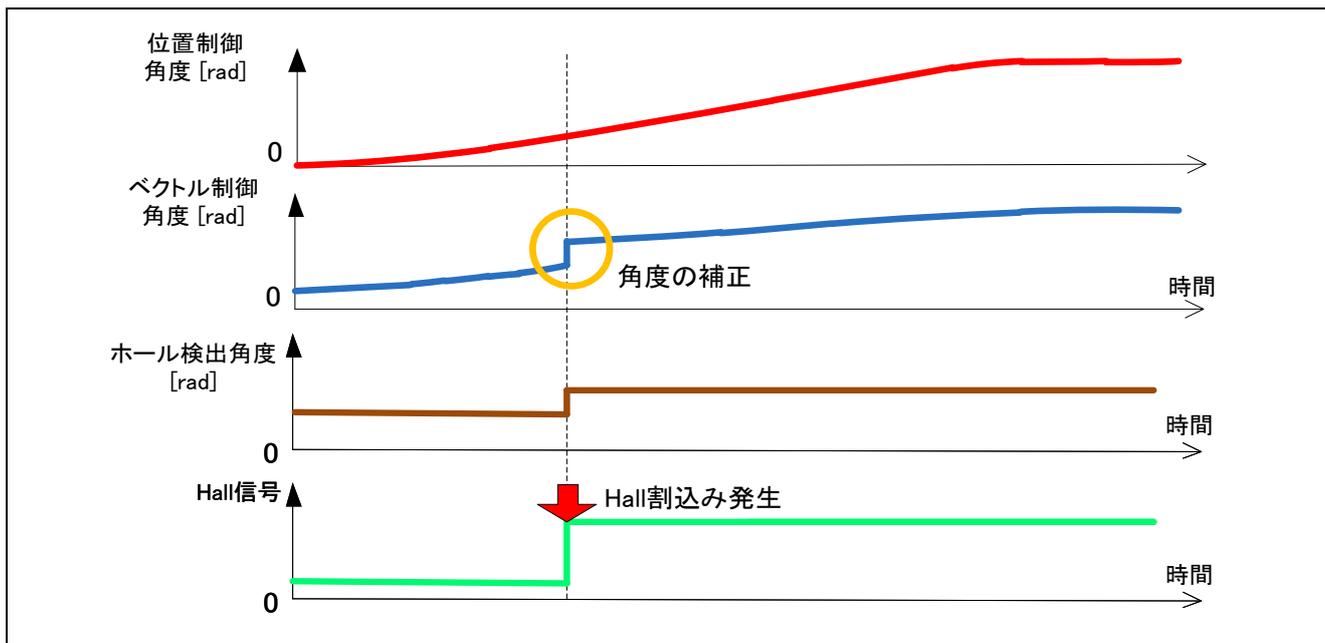


図 4-8 ホール使用初期位置検出における始動シーケンス

4.5.3 エンコーダを用いた速度算出

エンコーダを使用する場合の速度算出は、図 4-9 の様に行います。

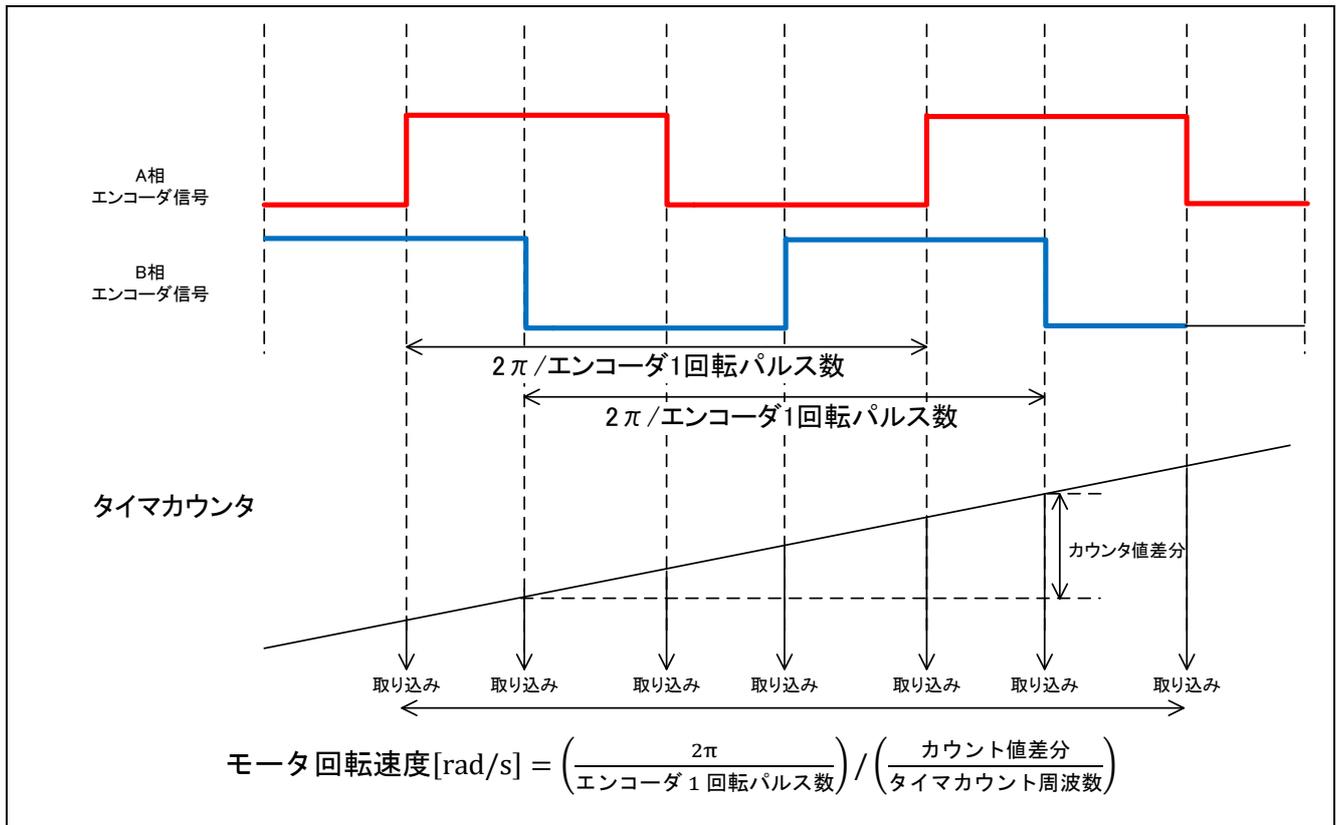


図 4-9 エンコーダによる速度計算

### 4.6 電圧誤差補償

電圧形 PWM 変換器では、上下アームのスイッチング素子間の短絡を防止するために、上下アーム 2 つの素子が同時にオフとなるデッドタイムを設けています。そのため電圧指令値と実際にモータに印加される電圧には誤差が生じ、制御精度が悪化します。そこでその誤差を低減するため、電圧誤差補償を実装します。

電圧誤差の電流依存性は、電流(向きと大きさ)とデッドタイム、使用するパワー素子のスイッチング特性に依存し、下記のような特性を持ちます。電圧誤差補償では、下記電圧誤差と逆の電圧パターンを電流に応じて電圧指令値に補償します。

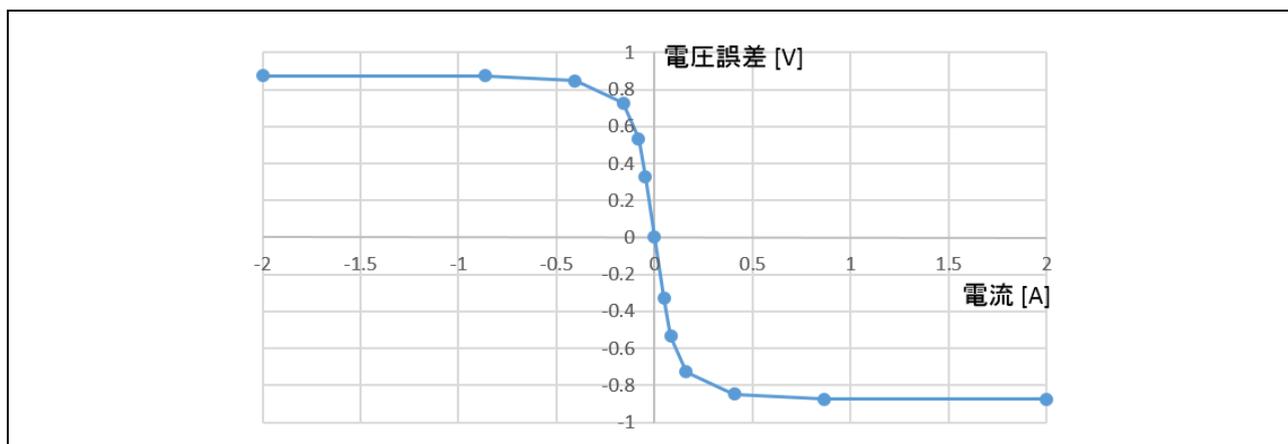


図 4-10 電圧誤差の電流依存性(一例)

### 4.7 Pulse Width Modulation (PWM)

永久磁石同期モータのベクトル制御において、一般的に所望の各相電圧指令値は、正弦波状に生成します。ところが、それをそのまま PWM 生成のための変調波として使用すると、実際にモータに印加される電圧のインバータ母線電圧に対する電圧利用効率は線間電圧換算で最大 86.7[%]となります。そこで、下記式にあるように、各相電圧指令値の最大値と最小値の平均値を算出し、それらを各相電圧指令値から減算したものを変調波として使用します。そうすると、線間電圧はそのままに、変調波の最大振幅は、 $\sqrt{3}/2$ 倍となり、結果として電圧利用効率は 100[%]となります。

$$\begin{pmatrix} V'_u \\ V'_v \\ V'_w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_u \\ V_v \\ V_w \end{pmatrix} + \Delta V \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$\therefore \Delta V = -\frac{V_{max}+V_{min}}{2}$  ,  $V_{max} = \max\{V_u, V_v, V_w\}$  ,  $V_{min} = \min\{V_u, V_v, V_w\}$   
 $V_u, V_v, V_w$  : U,V,W 相電圧指令値  
 $V'_u, V'_v, V'_w$  : PWM 生成用 U,V,W 相電圧指令値(変調波)

4.8 エンコーダベクトル制御の制御ブロック

図 4-11 にエンコーダベクトル制御の制御ブロック図を示します。

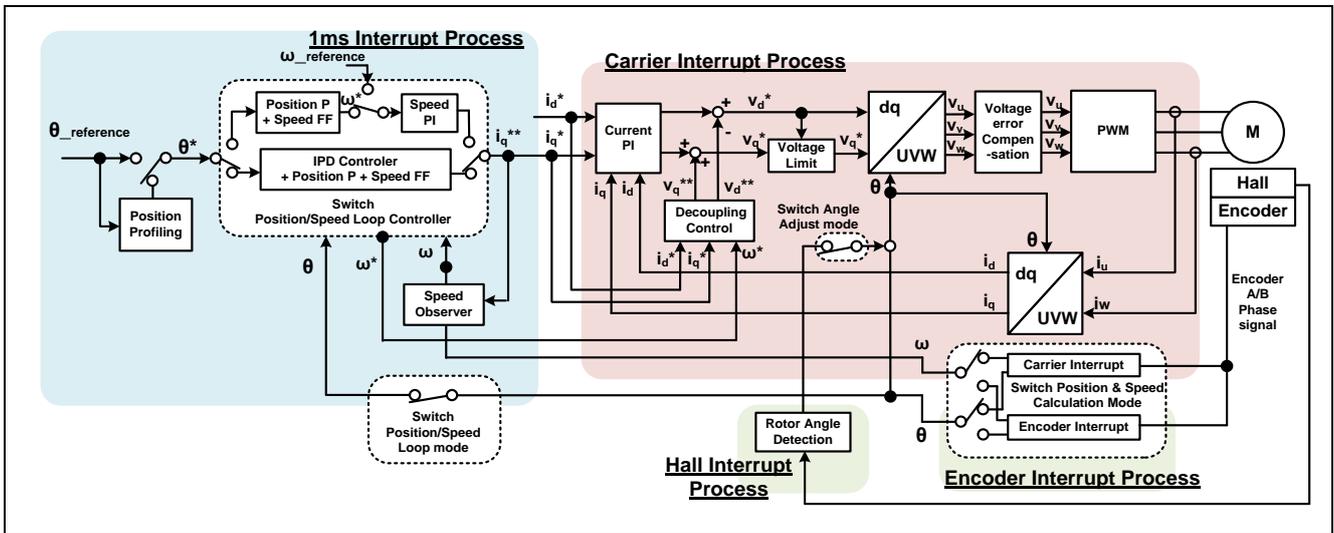


図 4-11 ベクトル制御のシステムブロック

4.9 始動シーケンス

エンコーダベクトル制御ソフトの始動制御内容を図 4-12 に示します。d 軸電流、q 軸電流、速度、位置それぞれの指令値を管理するフラグによってモードをコントロールしています。

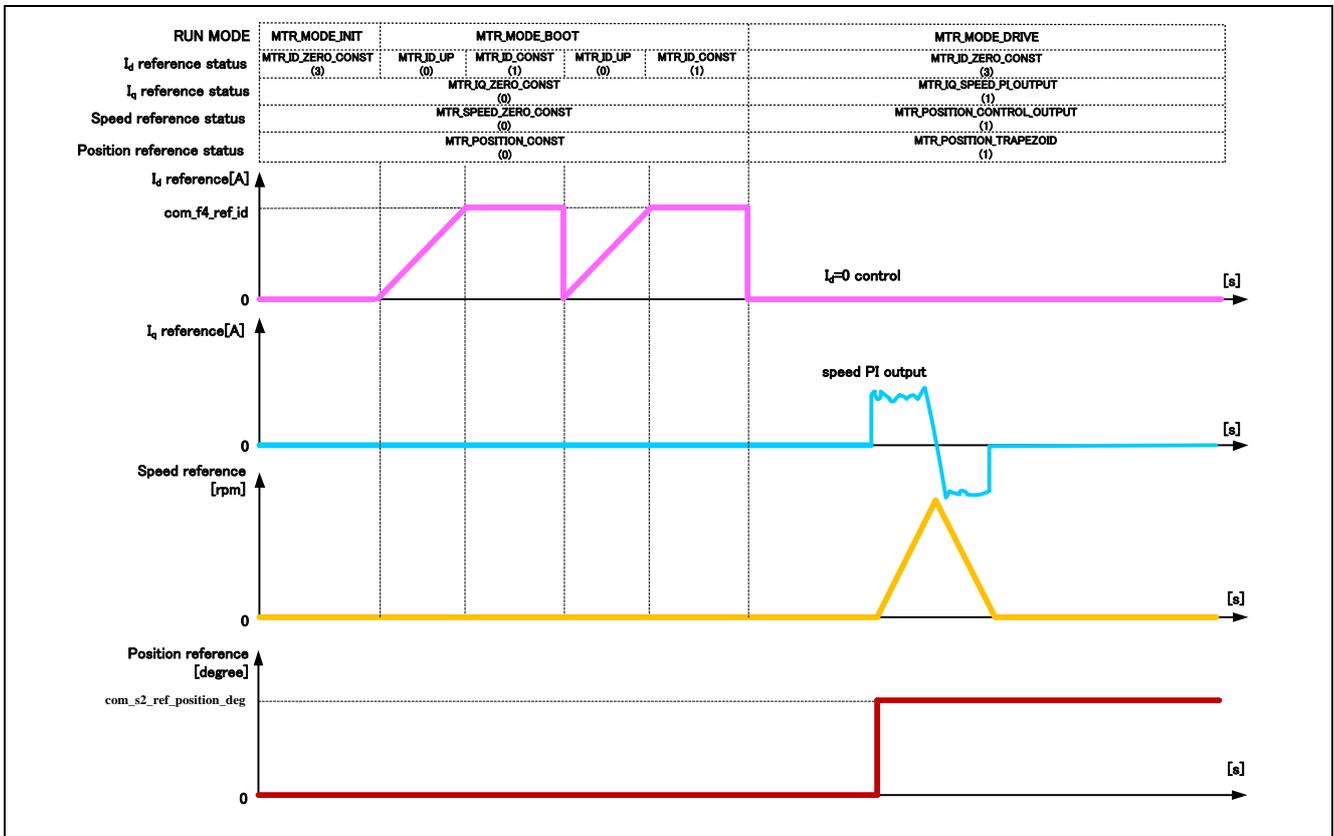


図 4-12 エンコーダ利用ベクトル制御ソフトの始動制御内容(位置制御時)

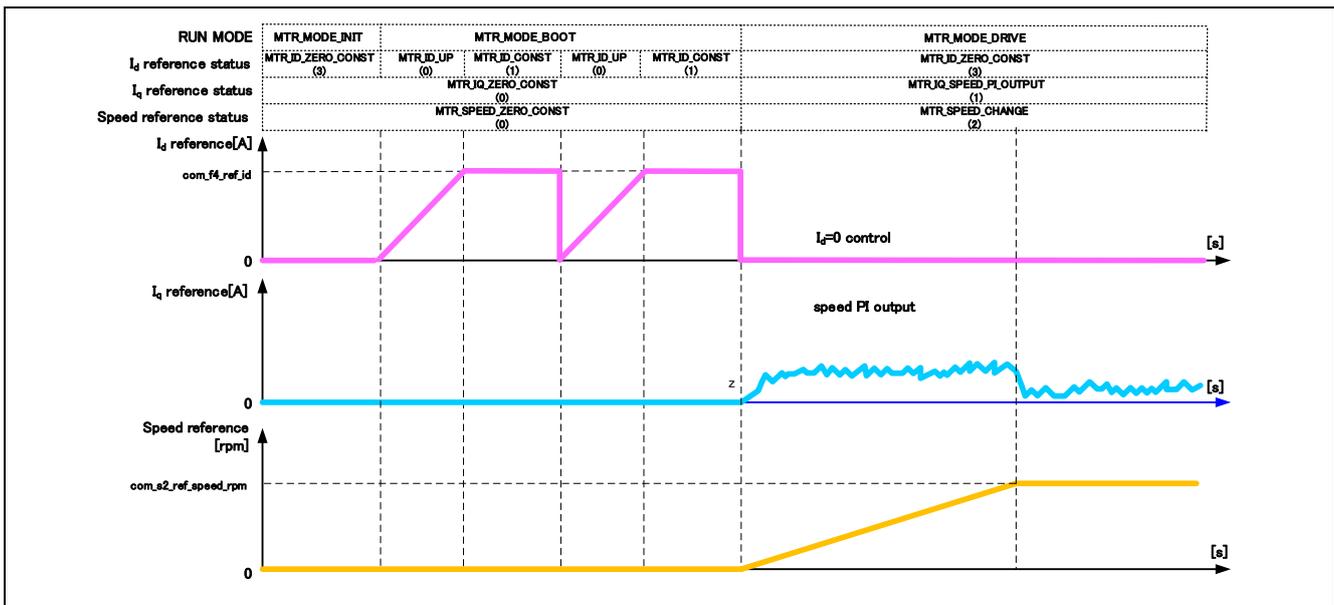


図 4-13 エンコーダ利用ベクトル制御ソフトの始動制御内容(速度制御時)

## ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ

<http://japan.renesas.com/>

お問合せ先

<http://japan.renesas.com/contact/>

すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

## 改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2017.04.05	-	新規発行
1.01	2017.07.07	-	一部の誤記を修正
1.02	2018.10.31	-	一部の誤記を修正

## 製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

### 1. 未使用端子の処理

【注意】未使用端子は、本文の「未使用端子の処理」に従って処理してください。

CMOS製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI周辺のノイズが印加され、LSI内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。未使用端子は、本文「未使用端子の処理」で説明する指示に従い処理してください。

### 2. 電源投入時の処置

【注意】電源投入時は、製品の状態は不定です。

電源投入時には、LSIの内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。

外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。

同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

### 3. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止

【注意】リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。

アドレス領域には、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

### 4. クロックについて

【注意】リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。

プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。

リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子

（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

### 5. 製品間の相違について

【注意】型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。

同じグループのマイコンでも型名が違っていると、内部ROM、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が異なる製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

## ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
  2. 当社製品、本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
  3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
  4. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
  5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。  
標準水準： コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、  
家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等  
高品質水準： 輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、  
金融端末基幹システム、各種安全制御装置等  
当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
  6. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
  7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
  8. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。ご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。かかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
  9. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
  10. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
  11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
  12. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。
- 注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。
- 注2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注1において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.4.0-1 2017.11)



ルネサスエレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

<http://www.renesas.com>

※営業お問合せ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス株式会社 〒135-0061 東京都江東区豊洲3-2-24（豊洲フォレシア）

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。  
総合お問合せ窓口：<https://www.renesas.com/contact/>