



サーボモータデータとドライブパラ メータ間の比較と適切な変換方法

開発中のマシンに求められる性能を満たす為には、ドライブメーカーの仕様に基づいたサーボパラメータの利用が必須ですが、使用するモータデータとの比較において用語や単位、名称などの定義やそれぞれの定義に基づいたパラメータの変換方法などについて正しい理解がないと、マシンの性能を満たすどころか、その品質に多くの問題を抱える可能性があります。

この技術的資料では、標準的なドライブとモータの組み合わせを使用し、名称やモータデータとドライブパラメータ間の変換方法、その内容について詳しく説明しています。この記事を読まれたマシンの設計者がマシンの性能を満たすモータのデータからドライブが必要とするパラメータへの変換方法を正しく理解できることを目的としています。

設計者がサーボドライブに入力しようとしているモータパラメータの単位と、モータデータシートに記載されている単位との間にはしばしば定義の違いがあります。この定義違いは、モータやドライブ業界において、データやパラメータに関する単位や名称、用語などについて統一した業界標準がなく、公開されているデータやパラメータシートにメーカー毎の違いがあるために発生します。しかも違いは、設計者を混同させる可能性があるばかりで無く、マシンの性能や製品の品質に多大な影響を与える可能性があります。

モータデータとパラメータ間の変換方法を正しく理解することは、ドライブパラメータの設定、比較、軸動作の調整やトラブルシューティングに不可欠です。この理解が無いと、マシンの動作にトラブルが発生したとき、この問題の根本的な原因がドライブに入力されたパラメータの単位に起因することに気付かないこともあります。マシンをサーボ制御により望まれた動作にするためには、ドライブが要求する適切な単位でパラメータが入力されなければなりません。ドライブに入力されてパラメータに間違いがあると、サーボドライブの制御アルゴリズムは、コマンド、負荷、およびフィードバック信号などの常に変化するメカニズムを適切に制御することができません。

幸いにも、ブラシレスDC、AC PM(永久磁石)、3相同期などの各モータに使用されている電子式転流方法には、正弦波転流と6段階転流(台形転流)の2通りしかありません。これら2つの電子式転流方法については、(6ページのモータパラメータ変換テーブルを参照してください)

サーボモータを表す一般的な名称には、ブラシレスDCサーボモータ、ブラシレスDC/AC同期型サーボモータ、PM(永久磁石)サーボモータなどがあり、ほとんどは1980年代にいくつかの大手のメーカーによってその名称が確立されました。その目的は、従来型のDC ブラシ付きモータから電子式転流方法を採用したPM(永久磁石)モータへの切り替え利用を促進することにあります。

さまざまな名称のサーボモータがありますが、多くが3相交流を利用した同期型PM(永久磁石)モータですので基本的に同じ作りになっています。モータの転流方法に関連する異なる名称(正弦波転流、6段階転流)が業界内に存在する理由については長年にわたる多くの経緯がありますが、違いについては、市場における技術的課題と誤った認識を克服する目的に関係があるようです。

一般的な転流(整流)制御方法には、(1). 正弦波または正弦波転流、(2). 6段階転流またはブロック転流(台形転流)があり、それぞれ各相(磁極)の電氣的サイクルの切り変わりタイミングの捉え方による定義の違いがあります。

転流方式の定義における測定単位は、条約や法律などによって定義された同じ物理量の単位を基準にしています。すなわち、測定方法やその値の捉え方に違いはありますが、物理量を示す明確な単位は1つしかありません。先に述べたように、サーボモータなどの転流方法は、それぞれのメーカーにおける慣習的な名称でしかないのです。



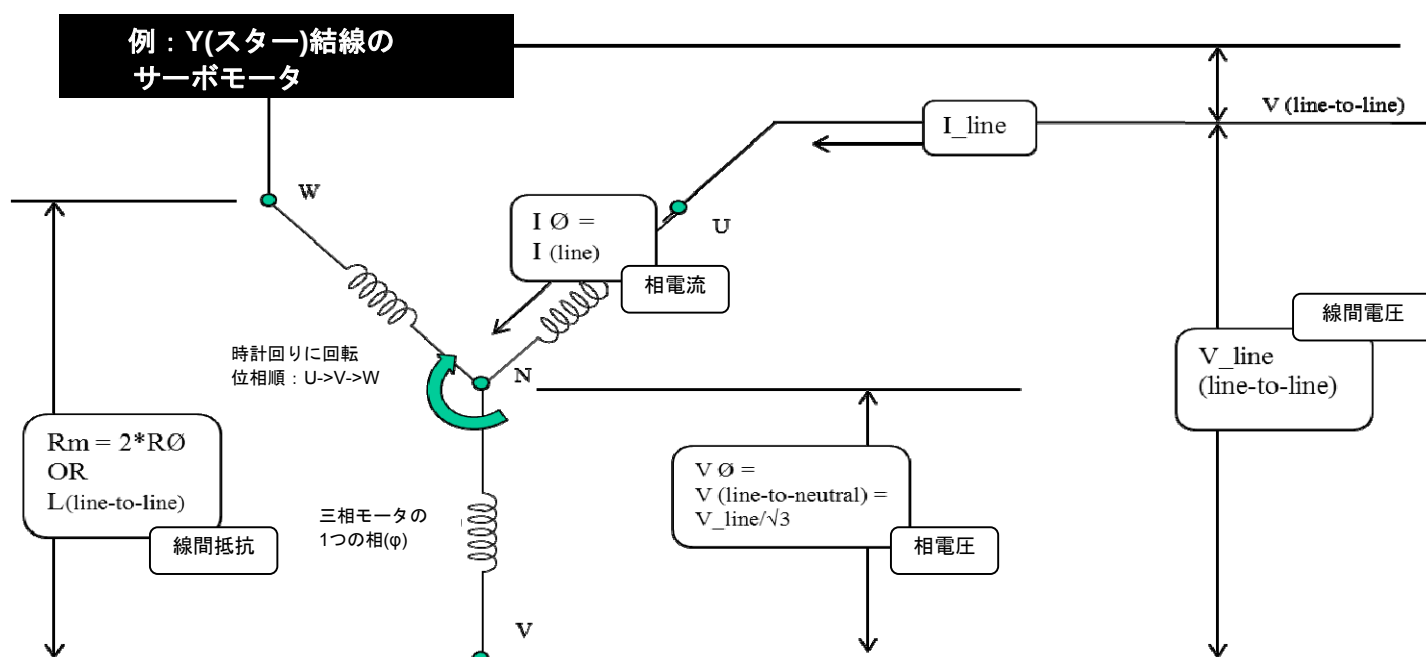
KollmorgenのKBM™ダイレクトドライブフレームレスモータシリーズは、装置側のベアリングを使用して装置に直接取り付けロータを支持するように設計されたサーボモータです。

課題：問題は、モータのデータシートに記載されているデータとドライブに必要とする入力パラメータ間で異なる単位が使用されていること、転流方法の名称がモータとドライブメーカーによって違いがあり、理解しにくい点にあります。

このような問題を効果的に克服して目標を達成するには、サーボドライブへ入力するパラメータの正しい変換方法、サーボモータの比較方法、単位、名称の理解を深める必要があります。

市場におけるモーションコントロール分野の知識と技術が成熟するにつれて、ほとんどの3相ACのPMサーボモータが正弦波転流にY(スター)巻線のアーマチュアを採用するようになりました。この記事においてもY(スター)巻線の例を示し、モータデータとドライブパラメータ間における単位の違いと、その変換方法、名称について説明します。

以下の図の想定：図は、三相のEMF(起電力)波形を説明するために、電氣的にバランスの取れたΔ(デルタ)結線の巻線アーマチュアを持つモータのスタータとして駆動する3相Y(スター)巻線のモータを表しています。注：トルクアングルの進角、界磁の変化および高調波の問題についてはこの記事では取り上げていません。



1. ここで取り扱う「測定単位」は、International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM) (3rd ed.), Joint Committee for Guides in Metrology, 2008, pp. 6–7.”に基づきます。

重要！：ドライブパラメータシートにおける名称がこの記事の内容と全く同一であったとしても、名称の単位がドライブ製造元の発行するパラメータシートなどと一致しているわけではありません。同様に、ドライブに必要なパラメータの単位がこの記事の内容と全く同一であったとしてもそれらの定義が同じであるとは限りません。例えば、電力産業では、主題単位のいくつかは一般的にRMS(実効値)で標準化されていますが、単位にRMS(実効値)を示す添え字を用いた表記はありません。

モーションコントロールなど特定分野においては、単位の表記に添え字が示されていない場合、その単位の意味に誤解を招くことになります。

この記事では、業界内にて一般的に使用される定義、記号、単位、名称を使用しています。記事内で使用されている定義などについては、以下で説明します。

1. 起電力(emf)定数：Ke (別名： K_{emf} , K_E , K_b) 速度単位ごとに発生する最大線間電圧として定義

注：電圧定数の速度単位がrad/secである場合、 K_t の単位がNm/Aであれば定数は等しく扱うことができます。

$$K_e(V/(rad/sec)) = K_t(Nm/A)$$

これは、PMDCブラシサーボモータにも当てはまり、 $K_e(V_{DC}/rad/sec) = K_t(Nm/AMPS_{DC})$ となりますが、温度による差は考慮されていません。

2つの K_e の単位(V/rad/secおよびV/kRPM)の関係は次のとおりです。 $V/kRPM = 1000\{K_e(V/rad/sec)\} / \{(60_sec/min)/(2\pi_rad/revolution)\} = 1000\{K_e(V/rad/sec)\}/9.55$

説明

(a) **V(相電圧)=VDCバス** ほとんどのドライブシステムではVDCバスと呼ばれ、ドライブで利用可能な最大(crest)電圧に等しくなります。V(相電圧)は、実効値ではありません。

(b) **起電力(emf)定数 K_e** ：単位は、V/rad/secまたはV/kRPMです。V/kRPMは、6段階転流を使用する場合の単位です。

(c) **Y(スター)巻線アーマチュアの場合**、モータのデータシートで電圧(emf)定数が速度単位ごとに発生する相電圧として定義されている場合、 $\sqrt{3}$ を乗じることで、1で定義された起電力定数 K_e となります。

2. 逆起電力(Bemf)定数： K_b (別名： K_{Bemf} , K_B , K_e) 速度単位ごとに発生する線間電圧(実効値)として定義

$$K_b(V_{rms}/kRPM) = K_e(V/kRPM)/\sqrt{2} \text{ または } K_b(V_{rms}/rad/sec) = K_e(V/rad/sec)/\sqrt{2},$$

ここで、 $K_b(V_{rms}/kRPM) = 1000\{K_e(V/rad/sec)/9.55\}/\sqrt{2}$ となります。

説明

(a) **逆起電力(Bemf)定数 K_b** ：単位は、Vrms/rad/secまたはVrms/kRPM(またはその他の等価)です。Vrms/kRPMは、6段階転流を使用する場合の単位です。

(b) モータのデータシートで**電圧(Bemf)定数が速度単位ごとに発生する相電圧の実効値**として定義されている場合、 $\sqrt{3}$ を乗じることで、2で定義された逆起電力定数 K_b となります。

3. トルク定数： K_t (K_T)は、(a)ではモータの最大(crest)相電流あたりのトルク(T)比として定義。(b)では一つの相電流のRMS(実効値)として定義

説明

トルク定数 K_t は、6段階転流と正弦波転流の2つの異なる仕様があります。2つの制御方法における K_t 電流単位(当該記事におけるAおよびA-rms)の間に関連性はありません。一般的にトルク定数 K_t は、Y(スター)巻線アーマチュアの1つの相の相電流あたりに発生するトルクですが、この値が必ずしもモータデータシートに記載されている訳ではありません。Y(スター)巻線アーマチュアの場合、相電流と線間電流の値は等しくなります。

(a) **トルク定数： K_T (k_t)**は、最大相電流(crest)あたりのトルク(T)として定義されています。
 K_T ：単位：Torque/Aは、6段階転流方法におけるトルクを表します。**注**）三相Y(スター)巻線のサーボモータでは、この6段階転流方法により、電流は常に3個のモータコイルのうちの2個のコイル(2-ON、1-OFF)に流れます。

(b) **トルク定数 : K_t (K_T)**は、相電流の実効値あたりのトルク(T)として定義されています。

K_t : 単位 : T/A-rmsは、正弦波転流方法におけるトルクを表します。注) 三相 Y (スター)巻線のサーボモータでは、この正弦波転流方法により、3個のコイル同時に電流が流れることがあります。

注 : メーカーが正弦波転流のトルク定数を単位 : T/Amp(crest)で表した場合は、 $T/A-rms = \sqrt{2} \times T/Amp(crest)$ となります。

それぞれの転流方法間におけるトルク定数の変換は、次のように計算できます。

(a) $K_t(T/A) = K_t(T/A-rms) / \sqrt{1.5}$

(b) $K_t(T/A-rms) = K_t(T/A) \times \sqrt{1.5}$

同じモータの場合、モータ容量を決める上で必要となる連続電流 I_c (実効値)は、 I_c (正弦波またはDCスタイルの最大波高値(crest))電流として示される値より低い値になります。

6段階転流方法と正弦波転流方法の双方間におけるトルク定数(K_t)の変換を変換係数 $\sqrt{1.5}$ を用いて計算する方法については、この記事では扱いません。これは、6段階転流および正弦波転流の電力(損失)計算の等価性によって正しいことが証明されているからです(6ページの「モータパラメータ変換表」を参照)。最も一般的な変換ミスは、変換係数 $\sqrt{1.5}$ を用いずに $\sqrt{2}$ のRMS(二乗平均平方根)変換係数を使用することにあります。この $\sqrt{2}$ のRMS変換係数は、2つの異なる転流方法における電流値から求められるトルク正弦波転流モータの K_t (Torque/A)と6段階転流モータの K_t (Torque/A-rms)を変換する計算には有効です。

ドライブの選択 : この記事では説明のために、お客様の選ばれたドライブが次の単位でモータパラメータを必要とする正弦波転流制御のドライブであると仮想しています :

1. **モータの連続電流 : I_c** 単位 : A-rms [モータの相あたりに連続して通電可能な電流を示す単位で実効値]
2. **モータのピーク電流制限 : I_p** 単位 : A-rms [モータ相あたりの電流制限の上限を示す単位で実効値]
3. **モータのトルク定数 : K_t** 単位 : T/A-rms [Torque/A-rms(正弦波制御の相電流(実効値))]
4. **モータの電圧定数 : K_b** 単位 : Vrms/kRPM [モータの1000rpmあたりの線間電圧(実効値)]
5. **モータの線間抵抗(室温20または25°C) : R_m** 単位 : オーム(Ω)
[単相モータの場合 : $R_{m_0} = R_m(L-L)/2$]
6. **モータの線間インダクタンス : L または L_m** 単位 : milli-Henry(mH)
[単相モータの場合 : $L_{-0} = L_m(L-L)/2$]
7. **モータロータのイナーシャ : J_m** 単位 : Kg.cm²

次ページ(6ページ)のモータパラメータ変換テーブルは、モータのデータをY(スター)巻線アーマチュアを持つ正弦波制御のドライブに必要なパラメータの単位に合わせ変換するものです。

テーブル上の添字の注釈や用語などの重要な情報は、7ページで説明しています。

ページ6および7を平行してよくお読み頂き、モータパラメータ変換テーブルを良く理解することを強くお勧めします。

モータパラメータ変換テーブル

以下のモータパラメータ変換テーブルでは、仮想のモータ：Xのデータを基に3つのパラメータ変換式を使用して、正弦波制御のドライブ(G列：目的とするドライブ)が必要とするパラメータ(正弦波入力単位)に変換する方法を説明しています。

- 仮想のモータ：Xのデータは：C列の換算係数を使用して計算された結果をD列に示しています。また、E列の換算係数を使用して計算され、結果をF列に示しています。G列はその数値の単位を示しています。
- D列にて示される任意のモータデータは：E列の換算係数を使用して計算された結果をF列に示しています。このF列の結果は、G列にて示される単位に合わせ計算された結果です。

A	B	C	D	E	F	G
モータ：X (Y(スター)巻線アーマチュア)	単位：X 6段階転流	B列からD列への 変換式：	互換単位： 6段階 転流-正弦波転流	D列からF列への 変換式：	単位：Y 正弦波転流	目的のドライブがY(スター)巻線に必要とするパラメータ値の単位
Tc	12.7_Nm	=	12.7_Nm	=	12.7_Nm	Tc(Nm)
Tp	41.2_Nm	=	41.2_Nm	=	41.2_Nm	Tp(Nm)
Ic(current/φ ₁)	13_A/φ ₁	=	13_A ₁	÷√1.5 =	10.614_A-rms ₁	Ic(A-rms)/phase(φ) _{1&7}
Ip(current/φ ₁)	53.3_A/φ ₁	=	53.3_A ₁	÷√1.5 =	43.52_A-rms	Ip(A-rms)/phase(φ) _{1&7}
Kt	1.00 Nm/A	=	1.00 Nm/A	x√1.5 =	1.224745 Nm/A-rms	Kt(Nm/A-rms)
Ke or Kb	0.57735 V(φ)/rad/sec	x√3 =	1.00 V(L-L)/rad/sec	x(1000/9.55)÷√2 =	74.05 Vrms(L-L)/kRPM	Kb(Vrms/kRPM)
OR	0.57735 V(φ)/rad/sec	√3x1000÷9.55 =	104.72 V(L-L)/kRPM	÷√2 =	74.05 Vrms(L-L)/kRPM	
Rm(Ohms) ₃ (line-to-line);25°C	0.540_Ω/φ ₃	x2 =	1.08_Ω (line-to-line)	=	1.08_Ω (line-to-line)	Rm(Ω: line-to-line) at 25°C
Lm ₂ (mH)	4.25_mH/φ ₂	x2 =	8.5_mH(L-L)	=	8.5_mH(L-L)	L or Lm (mH: line-to-line)
Jm(inertia)	0.00152 Kg.m ²	x100 ² =	15.2 Kg.cm ²	=	15.2 Kg.cm ²	Jm (Kg.cm ²)
Motor Poles	10_Poles	=	10_Poles	÷2 =	5_Pole-Pair	Pole-Pair (PP)
Thermal resistance	0.460°C/Watt	=	0.460°C/Watt	=	0.460°C/Watt	
共通：上記テーブルから計算される電力損失						
電力損失(周囲温度 25°C)：熱抵抗を使用して計算	NA	NA	{(155-25) ÷0.467} = 278W	=	{(130°C _{rise}) ÷0.467} = 278W	上記のテーブルと変換データに基づく
定格出力(6段階転流) _{5&6} = V _l cos θ ₅ = 2xI _φ ² xRmφ(hot) ₄ = I _{line} ² x2xRm(L-L; hot) ₄	2x13 ² x (0.54x1.525) = 278W	=	13 ² x(1.08x 1.525) = 278W	NA	NA	上記の与えられたもしくは変換後のデータを引用
定格出力(正弦波転流) _{5&6} 注：V = Vrms and I = Irms = 3xV _φ xI _φ xcosθ ₅ = 3xI _φ ² x2xRmφ(hot) ₄ = 3xI _φ ² x2xRm(L-L; hot) ₄ ÷2	NA	NA	NA	NA	3x10.614 ² x (1.08x1.525)÷2= 278W	上記の与えられたもしくは変換後のデータを引用

注：上記の表を使用する場合、アプリケーションのパラメータと単位の決定はユーザーの責任で行ってください。

重要な留意事項：テーブルの添字の注釈と用語は7ページで説明しています。

モータパラメータ変換テーブルを確認する際には、ページ6と7を交互に確認することをお勧めします。

テーブルの注釈と用語の説明

1. **相(phase(Ø))電流として定義されたモータ電流は、製造元が発行するカタログなどの何処かに記載されていますが、一部のデータシートなどでは既知の情報として記載が無い場合があります。**
2. **Y(スター)巻線モータにおいて $L_m = L_Ø$ (line-to-neutral)と表示されている場合、モータの線間インダクタンス L_m (line-to-line)は、 $L_Ø$ を二乗した値となります。Δ(デルタ)巻線モータの場合、線間インダクタンスは、 $L_m/Ø = L_m$ となります。Y(スター)巻線モータの相インダクタンスのデータをドライブが必要とするパラメータ値として入力する場合、並びに、モータのインダクタンス(L_m)の単位が $L_m/Ø$ (Δ(デルタ)巻線)として示されている場合、 $L_Ø$ (Y(スター)巻線) = $(L_m/Ø \cdot \Delta(\text{デルタ})巻線/\sqrt{3})$ となります。**
3. **Y(スター)巻線モータの場合、 $R_m = R_Ø$ (line-to-neutral)と表示されている場合、モータの線間抵抗 R_m (line-to-line)は、 $R_Ø$ を二乗した値となります。Δ(デルタ)巻線モータの場合、線間抵抗 R_m は、 $R_m/Ø = R_m$ となります。Y(スター)巻線モータの相抵抗のデータをドライブが必要とするパラメータ値として入力する場合、並びに、モータの抵抗(R_m)の単位が $R_m/Ø$ (Δ(デルタ)巻線)として示されている場合、 $R_Ø$ (Y(スター)巻線) = $(R_m/Ø \cdot \Delta(\text{デルタ})巻線/\sqrt{3})$ となります。**
4. **銅の抵抗値の上昇率は、1.525(周辺温度25°C~155)**
5. **定格出力(6段階転流)が定格出力(正弦波転流)と等しく設定されている場合(式: $2 \times V_Ø \times I_Ø \times \cos\theta = 3 \times V_{rms} \times I_{rms} \times \cos\theta$)、 $\cos\theta$ を計算式から外します。**
6. **従来の3相台形(6段階)転流制御による駆動では、2つのモータコイル(例: U, VがON, WがOFF)を常に制御します。これと比較して、正弦波転流制御による駆動では、3つのコイルすべてに電力が供給されます。**
7. **正弦波転流の場合において、列Fの特定のドライブのパラメータの単位 I_c (連続電流)、 I_p (ピーク電流)が(正弦波の最大値)/phase(Ø)として示されている場合、列Fの対応する値に $\sqrt{2}$ を掛けなければならず、特定のパラメータが単位として I_c (ピークツーピーク)/phase(Ø)、 I_p (ピークツーピーク)/phase(Ø)として示されている場合は、列Fの対応する値に $2 \times \sqrt{2}$ を掛けなければなりません。**

注意：混乱を最小限に抑えるために、モータとドライブのピーク能力を示す単位の添え字付きの名称に正弦波の最大値を表す(crest)と正弦波のピークツーピーク値(正弦波の頂点から頂点)を示す(crest-to-crest)という呼び方を特定の範囲内で使用しています。

用語：

1. emf = 起電力(モータの取り扱いに関してはBemf(逆起電力)を参照)
2. Bemf = 逆起電力：負荷を駆動するためにモータが回転する方向とは逆方向に生じる誘導電圧
3. rad = ラジアン
4. sec = 秒(s)
5. θ (シータ) = 交流回路における電流波形と電圧波形とのずれを位相と言い、その位相を単位(角度)で表します
6. ϕ (ファイ) = フェーズ(相)を意味します。Y(スター)巻線コイルの1つの分岐線を通る相電流または相電圧をあらわします(線間電圧を示す用語ではありません)
7. Y = Y(スター)巻線アーマチュア
8. Δ = Δ(デルタ)巻線アーマチュア
9. crest = 正弦波の頂点を意味し、正弦波の波高から電圧・電流の最大電圧または最大電流を表しています。ドライブのパラメータ" I_{peak} "が最大電流の単位を表す用語なのか実効値の単位のいずれかであるかにかかわらず、単語の"peak"は正弦波における最大値と実効値(rms)間の混乱を避けるために使用していません
10. RMS and rms = 実効値を表します
11. line-to-neutral = 相 (例：相電圧) ラインから中性点の合間を表します
12. line-to-line = 線間 (例：線間電流) ラインからライン間を表します

結論

6ページの「モータパラメータ変換テーブル」は、パラメータの単位と名称の正しい理解と変換方法についての参考資料としてご利用頂ければ幸いです。一般的な正弦波転流において、 K_t (モータのトルク定数)と $K_b(K_e)$ (モータの電圧定数)が両方ともRMS(実効値)単位であることを確認するためには、 $K_b(V_{rms}/kRPM)$ と考えられる値を $K_t(Nm/A-rms)$ で除算することです。対応する値がRMS(実効値)単位である場合、計算結果は60から65の範囲(理想的には60.46)に収まります。この結果が60未満または65以上を示す例外はほとんどありません。これは、PMモータであることや高温・低温時の値として示される K_t 、 $K_b(K_e)$ に関連性はなく真となります。対照的に、得られる計算結果が103から113の範囲(理想的なものは104.72)に収まる場合、 $K_e(V/kRPM)$ と $K_t(Nm/A)$ が実際には6段階転流の単位であることを示しています。

ドライブに入力するサーボモータのパラメータとその変換についての適切な理解を得ることは大変重要であり、過小評価することはできません。それらは、機械設計開発時におけるモータの選定やパラメータ設定、製造プロセスにおける軸動作の調整に欠かせず、また、トラブルシューティングには特に重要となります。

モータ製造業界においては、モータデータに関する測定単位や単位の名称について統一した業界標準がなく、公開されているモータデータシートなどでの表現のしかたはメーカー毎に違いがあります。この技術的資料では、モータデータに関する測定単位や単位の名称に関連する問題を克服するために、正確な計算方法とその概念を説明すると共に詳細な情報とサーボモータのパラメータデータの変換ツールを提供しています。

この記事を読み、知識を身につけたマシン設計者やエンジニアが、具体的な目標を達成する能力が格段に向上し、以下の行動に取り組み自信が身につく事を期待します：

- コスト効率の向上、タイムリーなマシン設計プロセス全体にわたるアプローチと早い意思決定
- マシン性能の向上、製品品質の向上、スループット向上のためのモーションコントロールコンポーネントのチューニング

コルモーゲンについて

Kollmorgenは、世界中のお客様にオートメーション機器やドライブシステムを供給するメーカーです。100年以上の歴史を数え、モーションコントロールの設計やアプリケーションの構築などにその経験を活かしたソリューションの提供と性能、品質、信頼性、使いやすさを追求した各種製品の販売を行っています。

Kollmorgenの製品の詳しい情報に付きましては、ia-info@kollmorgen-japan.jpにお問い合わせいただくか、Kollmorgenのウェブサイトwww.kollmorgen-japan.jpをご覧ください。