

電動スライダ・シリンダのモーメント計算方法

政田 哲也

Method for Calculating Moment Loads on Motorized Linear Actuators

Tetsuya MASADA

A motorized linear actuator is a combination product consisting of a linear mechanism and a motor, and offers easier design, shorter production time, and higher quality.

While the actuator is operating, moment loads occur due to not only gravity, but also because of acceleration and deceleration of the load. Because moment loads can damage actuators, confirming that they are within specifications is very important. However, calculating moment loads on linear actuators can be complicated and time consuming.

This paper describes a method for calculating moment loads in a simple way and makes actuator selection easier.

1. はじめに

電動アクチュエータは、機構部とモーターを組み合わせることでお客様の装置の設計、ならびに設置や調整の時間短縮を図った商品です(図1参照)。

電動アクチュエータの運転時には、ワークに作用する重力だけでなく加速によってもモーメントが作用します。モーメントはアクチュエータの寿命に影響するため、アクチュエータの仕様値内に入っていることの確認が不可欠です。

設置方向や動きを考慮した電動アクチュエータに作用するモーメントの計算は複雑で時間を要する作業です。

本稿では電動スライダ・シリンダのモーメント計算方法の考え方と手順をわかりやすく述べ、選定の一助とします。



図1 電動スライダ・シリンダ

2. 電動スライダの選定

図2に電動スライダの選定フローチャートを示します。まず、電動スライダのサイズ、搬送質量を確認します。次に位置決め時間を確認し、求める位置決め時間を満たす運転条件を決定します。最後にスライダに加わるモーメントが許容値内であることを確認します。

ここでは電動スライダを選定する際に必要となるモーメントの考え方と具体的な計算方法を説明します。

①電動スライダのサイズ、搬送質量を確認

希望の条件を満足する大きさの電動スライダを選定します。(取付寸法・テーブル高さ・搬送質量・推力を確認します。)



②位置決め時間の確認

カタログ内に記載されている「位置決め距離-位置決め時間」のグラフより希望する位置決め時間を満足するかを確認します。



③運転条件を確認

「位置決め距離-運転速度」、「位置決め距離-加速度」グラフより②の条件を満たす運転速度と加速度を確認します。



④モーメント確認

求めた加速度を加味し、電動スライダに作用する動的許容モーメントが仕様値内であることを確認します。



選定完了

図2 電動スライダの選定フローチャート

3. 電動スライダの構造

電動スライダの構造を、EASシリーズを例として図3に示します。また、図4にはその断面構造を示します。テーブルに加わる荷重やモーメント荷重はすべてガイドレールとガイドブロックで構成するリニアガイドにより受けえています。

これらの荷重はリニアガイドの寿命に影響するため、選定する際の重要なポイントになります。

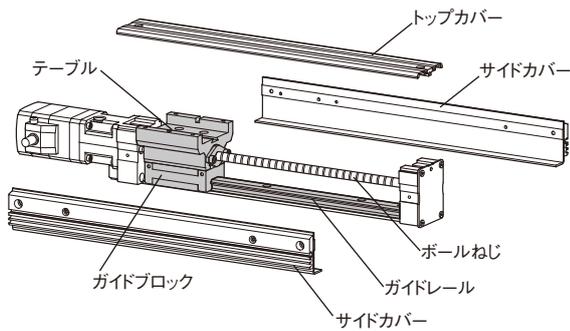


図3 電動スライダの構造 (EASシリーズ)

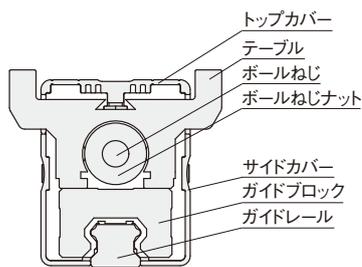


図4 電動スライダの断面構造 (EASシリーズ)

4. スライダに作用するモーメント

次に電動スライダに作用するモーメントを説明します。

4.1. 電動スライダに加わるモーメント

図5に示すように電動スライダのテーブル中心から搬送ワークの重心が張り出している場合、テーブル中心を支点にモーメントが作用します。スライダに作用するモーメントは以下の式で表せます。

$$M = m \cdot g \cdot L \quad \text{..... (1)}$$

- M : 電動スライダに作用するモーメント
- L : 張り出し距離
- m : ワーク質量
- g : 重力加速度

以下、本稿では重力加速度は9.807m/s²とします。

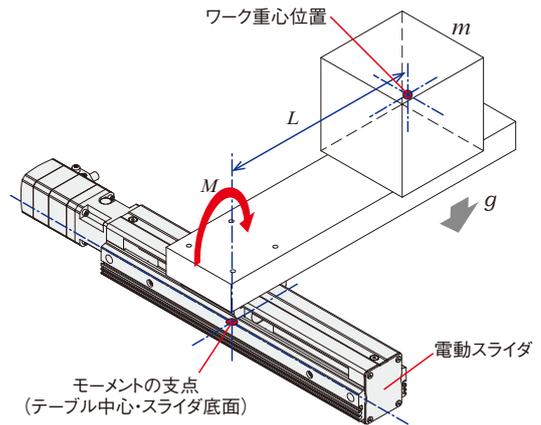


図5 スライダに作用するモーメントの例

4.2. モーメントの方向

電動スライダに作用するモーメントには、ピッチング方向、ヨーイング方向、ローリング方向があります(図6参照)。

モーメントの支点はスライダ底面(取付面)とテーブル中心点となります。

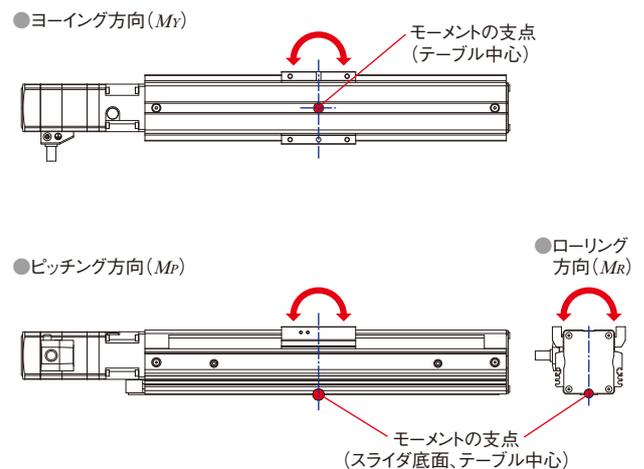


図6 スライダに作用するモーメントの方向

4.3. 設置方向によるモーメントの方向

電動スライダに作用するモーメントの方向は、ワークの取付状態やスライダ本体の設置方向で変化します。

図7は、同じワークの取付状態でスライダの設置方向が変化した場合に、モーメントの方向が変わることを示したものです。

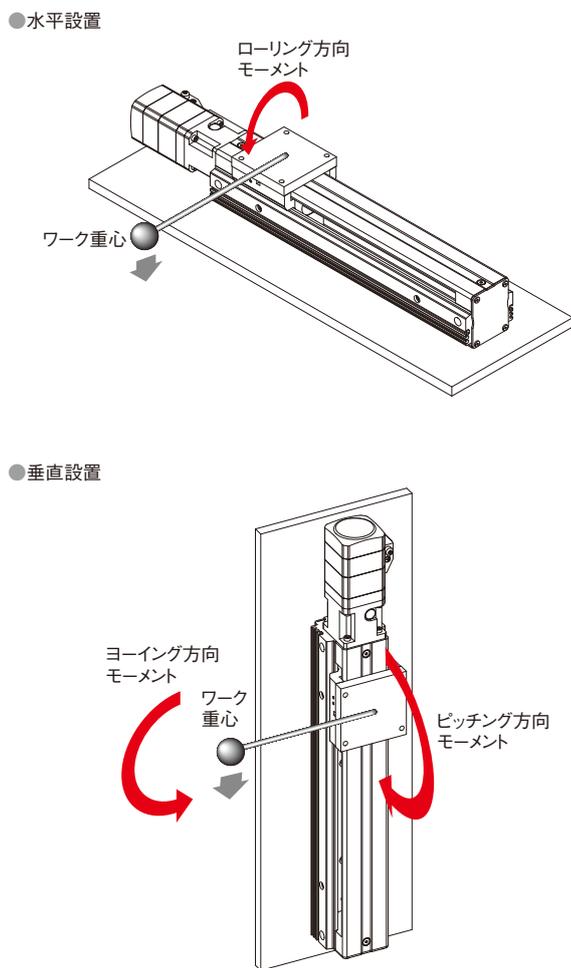


図7 設置方向により作用するモーメントの違い

4.4. 静的許容モーメントと動的許容モーメント

4.4.1. 静的許容モーメント

電動スライダが停止している状態で、電動スライダに作用するモーメントを静的モーメントといいます。

電動スライダの静的モーメントの許容値を静的許容モーメントといい、リニアガイドとテーブルの機械的強度から決定されています。

電動スライダが停止している状態で外力が作用する場合、静的モーメントが各方向で許容値内であることを確認する必要があります。

4.4.2. 動的許容モーメント

電動スライダがワークを搬送している場合に作用するモーメントを動的モーメントといいます。運転時に加速度がワークに加わるため、テーブルからの張り出し距離に応じてモーメントが作用します。

図8のように、電動スライダでワークを搬送する場合の各方向のモーメントを計算する方法を示します。図中で、

- M_P : ピッチング方向モーメント
- M_Y : ヨーイング方向モーメント
- M_R : ローリング方向モーメント
- L : Y方向のワーク重心張り出し距離
- H : Z方向のワーク重心張り出し距離
- m : ワーク質量
- α : 運転加速度

を示します。アームの質量、重心位置は省略します。

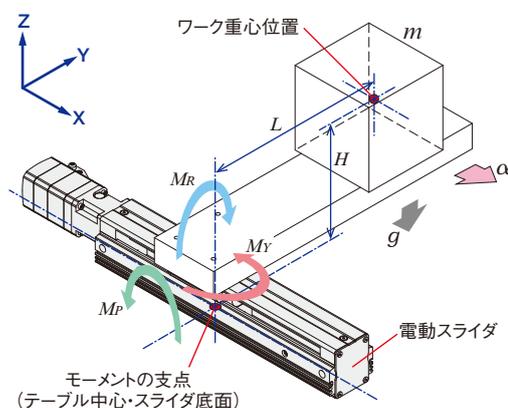


図8 スライダに作用する動的モーメントの例

ピッチング方向のモーメントは式(2)で、ヨーイング方向のモーメントは式(3)で、ローリング方向のモーメントは式(4)で計算できます。

$$M_P = m \cdot \alpha \cdot H \dots\dots\dots (2)$$

$$M_Y = m \cdot \alpha \cdot L \dots\dots\dots (3)$$

$$M_R = m \cdot g \cdot L \dots\dots\dots (4)$$

以上の式(2)、(3)、(4)の計算したモーメント値を、製品仕様である各方向の動的許容モーメントで割り、比率計算を行います。次に、算出した各方向のモーメント比率をすべて合計し、判定式(5)のようにすべての和が1以下であれば使用可能です。

$$\frac{|M_P|}{M_{Pmax}} + \frac{|M_Y|}{M_{Ymax}} + \frac{|M_R|}{M_{Rmax}} \leq 1 \dots\dots\dots (5)$$

- M_{Pmax} : ピッチング方向の動的許容モーメント
- M_{Ymax} : ヨーイング方向の動的許容モーメント
- M_{Rmax} : ローリング方向の動的許容モーメント

5. 単軸スライダのモーメント計算例

ここから、単軸スライダを例に、設置方向別にモーメント計算例を示します。

スライダ幅45mm、テーブル高さ60mmの電動スライダ **EASM4XD020ARAC** を選定した場合のモーメント計算例を示します。

5.1. 水平設置時

図9に電動スライダを水平設置し、ワークをY方向へ張り出した状態を示します。電動スライダの動的許容モーメントは以下のとおりです。

M_{Pmax} : ピッチング方向 16.3[N·m]

M_{Ymax} : ヨーイング方向 4.8[N·m]

M_{Rmax} : ローリング方向 15.0[N·m]

スライダからワーク重心とアーム重心の張り出し距離は以下とします。

L_1 : ワーク重心Y方向張り出し距離 150[mm]

L_2 : アーム重心Y方向張り出し距離 100[mm]

H_1 : ワーク重心Z方向張り出し距離 90[mm]

H_2 : アーム重心Z方向張り出し距離 65[mm]

ワーク、アーム質量と加速度は以下とします。

m_w : ワーク質量 1.5[kg]

m_a : アーム質量 0.5[kg]

α : 運転加速度 3.0[m/s²]

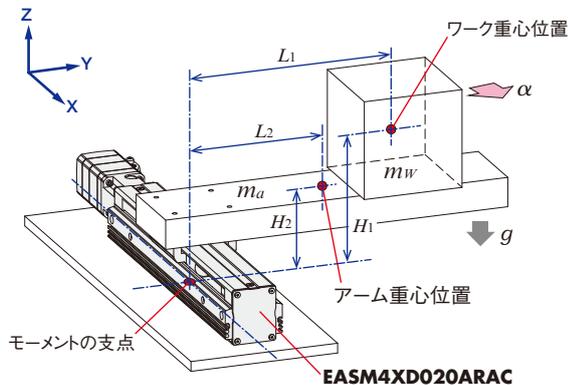


図9 スライダに作用する動的モーメント計算例 (水平設置)

•ピッチング方向モーメント M_P

$$\begin{aligned} M_P &= (m_w \cdot \alpha \cdot H_1) + (m_a \cdot \alpha \cdot H_2) \\ &= (1.5 \times 3.0 \times 0.09) + (0.5 \times 3.0 \times 0.065) \\ &\approx 0.50 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

•ヨーイング方向モーメント M_Y

$$\begin{aligned} M_Y &= (m_w \cdot \alpha \cdot L_1) + (m_a \cdot \alpha \cdot L_2) \\ &= (1.5 \times 3.0 \times 0.15) + (0.5 \times 3.0 \times 0.1) \\ &\approx 0.83 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

•ローリング方向モーメント M_R

$$\begin{aligned} M_R &= (m_w \cdot g \cdot L_1) + (m_a \cdot g \cdot L_2) \\ &= (1.5 \times 9.807 \times 0.15) + (0.5 \times 9.807 \times 0.1) \\ &\approx 2.70 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

許容モーメント判定式 (5) より

$$\begin{aligned} &\frac{|M_P|}{M_{Pmax}} + \frac{|M_Y|}{M_{Ymax}} + \frac{|M_R|}{M_{Rmax}} \\ &= \frac{|0.50|}{16.3} + \frac{|0.83|}{4.8} + \frac{|2.70|}{15.0} \\ &\approx 0.38 \leq 1 \end{aligned}$$

判定結果から、モーメントは動的許容モーメント以内であり使用可能です。

5.2. 垂直設置時

図10のようにスライダを垂直に設置したときの動的モーメントの計算例を示します。

取付寸法、負荷、運転条件はすべて5.1.と同じ値とします。

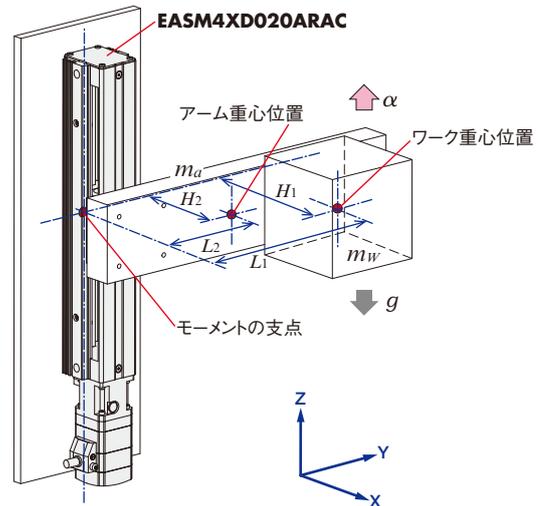


図10 スライダに作用する動的モーメント計算例 (垂直設置)

•ピッチング方向モーメント M_P

$$\begin{aligned} M_P &= (m_w \cdot \alpha \cdot H_1) + (m_a \cdot \alpha \cdot H_2) \\ &\quad + (m_w \cdot g \cdot H_1) + (m_a \cdot g \cdot H_2) \\ &= (1.5 \times 3.0 \times 0.09) + (0.5 \times 3.0 \times 0.065) \\ &\quad + (1.5 \times 9.807 \times 0.09) + (0.5 \times 9.807 \times 0.065) \\ &\approx 2.15 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

•ヨーイング方向モーメント M_Y

$$\begin{aligned} M_Y &= (m_w \cdot \alpha \cdot L_1) + (m_a \cdot \alpha \cdot L_2) \\ &\quad + (m_w \cdot g \cdot L_1) + (m_a \cdot g \cdot L_2) \\ &= (1.5 \times 3.0 \times 0.15) + (0.5 \times 3.0 \times 0.1) \\ &\quad + (1.5 \times 9.807 \times 0.15) + (0.5 \times 9.807 \times 0.1) \\ &\approx 3.52 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

ローリング方向モーメント M_R は作用しないため、 $0 [\text{N}\cdot\text{m}]$ になります。

許容モーメント判定式 (5) より

$$\begin{aligned} &\frac{|M_P|}{M_{Pmax}} + \frac{|M_Y|}{M_{Ymax}} + \frac{|M_R|}{M_{Rmax}} \\ &= \frac{|2.15|}{16.3} + \frac{|3.52|}{4.8} + \frac{|0|}{15.0} \\ &\approx 0.87 \leq 1 \end{aligned}$$

判定結果から、モーメントは動的許容モーメント以内であり使用可能です。

6. 2軸組み合わせ時のモーメント計算

次に、2軸組み合わせの例として電動スライダのX-Y組み合わせ時のモーメント計算について説明します。

X-Y組み合わせでは、まず、ワークを搬送するY軸の単軸計算を行い、Y軸の使用可否の判定を行います。その後、X軸のモーメント計算ではY軸の総質量によるモーメントとY軸がワークを加速する際に発生するモーメントを盛り込んで計算します。

図11に電動スライダのX-Y組み合わせ例を示します。X軸スライダにEASM6XD030ARAKを水平に固定し、Y軸にEASM4YD020ARAKを組み合わせています。Y軸スライダはY軸固定プレートに固定し、X軸スライダテーブルに固定しています。

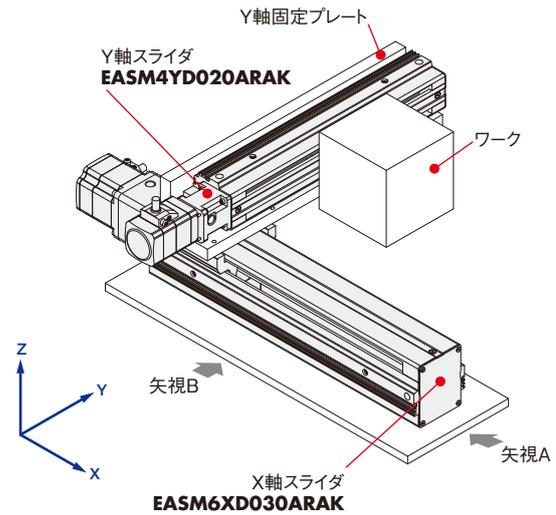


図11 X-Y組み合わせ例

1) Y軸スライダのモーメント計算

最初に、Y軸スライダに作用するモーメント計算を行います(図12参照)。Y軸スライダEASM4YD020ARAKの動的許容モーメントは以下のとおりです。

M_{Pmax} : ピッチング方向	16.3 [N·m]
M_{Ymax} : ヨーイング方向	4.8 [N·m]
M_{Rmax} : ローリング方向	15.0 [N·m]

また、Y軸スライダからワーク重心の張り出し距離、ワークの質量、Y軸スライダの加速度は以下とします。

X_1 : ワーク重心X方向張り出し距離	150 [mm]
m_w : ワーク質量	2.0 [kg]
α : Y軸運転加速度	3.0 [m/s ²]

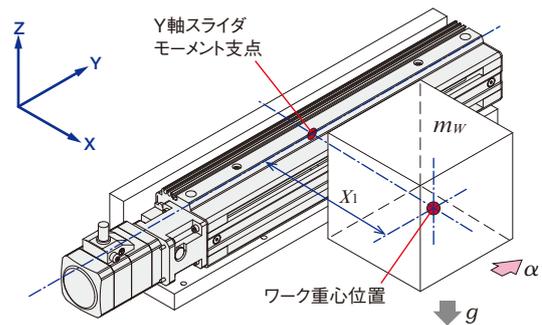


図12 Y軸スライダのモーメント計算

•ピッチング方向モーメント M_P

$$\begin{aligned} M_P &= (m_w \cdot \alpha \cdot X_1) \\ &= (2.0 \times 3.0 \times 0.15) \\ &= 0.90 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

ヨーイング方向はモーメント M_Y が作用しないため、 $0[\text{N}\cdot\text{m}]$ となります。

- ローリング方向に作用するモーメント M_R

$$\begin{aligned} M_R &= (m_w \cdot g \cdot X_1) \\ &= (2.0 \times 9.807 \times 0.15) \\ &\approx 2.94 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

許容モーメント判定式 (5) より

$$\begin{aligned} &\frac{|M_P|}{M_{P1max}} + \frac{|M_Y|}{M_{Y1max}} + \frac{|M_R|}{M_{R1max}} \\ &= \frac{|0.90|}{16.3} + \frac{|0|}{4.8} + \frac{|2.94|}{15.0} \\ &\approx 0.25 \leq 1 \end{aligned}$$

Y 軸スライダのモーメントは仕様値内のため、使用可能です。

2) X 軸スライダのモーメント計算

次に、X 軸スライダに作用するモーメントを計算します。X 軸スライダは **EASM6XD030ARAK** のため、動的許容モーメントは以下のとおりです。

- M_{P2max} : ピッチング方向 31.8 [N·m]
- M_{Y2max} : ヨーイング方向 10.3 [N·m]
- M_{R2max} : ローリング方向 40.6 [N·m]

X 軸スライダからワーク、Y 軸スライダの重心、Y 軸スライダ固定プレートの重心の張り出し距離は以下とします。

- X_1 : ワーク重心 X 方向張り出し距離 150 [mm]
- X_2 : Y 軸固定プレート重心 X 方向張り出し距離 マイナス方向に 50 [mm]
- X_3 : Y 軸スライダ重心 X 方向張り出し距離 10 [mm]
- Y_1 : ワーク重心 Y 方向張り出し距離の最大値 230 [mm]
- Y_2 : Y 軸固定プレート重心 Y 方向張り出し距離 80 [mm]
- Y_3 : Y 軸スライダ重心 Y 方向張り出し距離 60 [mm]
- Z_1 : ワーク重心 Z 方向張り出し距離 120 [mm]
- Z_2 : Y 軸固定プレート重心 Z 方向張り出し距離 90 [mm]
- Z_3 : Y 軸スライダ重心 Z 方向張り出し距離 130 [mm]

また、Y 軸スライダ固定プレートの質量、Y 軸スライダの質量、X 軸回転加速度は以下とします。

- m_p : Y 軸固定プレート質量 0.5 [kg]
- m_s : Y 軸スライダ質量 2.1 [kg]
- β : X 軸回転加速度 0.5 [m/s²]

図 13 に図 11 の矢視 A、図 14 に図 11 の矢視 B を示します。

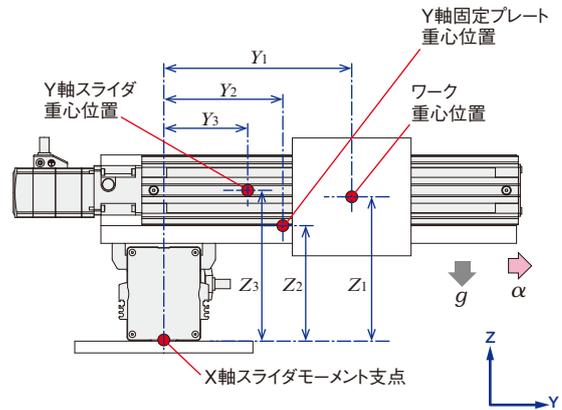


図 13 矢視 A

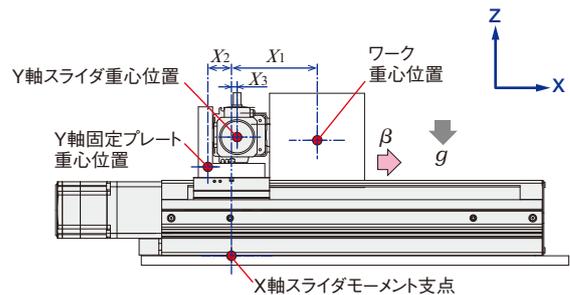


図 14 矢視 B

モーメントの計算は、X 軸に作用するモーメントが最も大きくなる条件を想定し、 Y_1 が最大になる条件で計算を行います。

- ピッチング方向モーメント M_P

$$\begin{aligned} M_P &= (m_w \cdot \beta \cdot Z_1) + (m_p \cdot \beta \cdot Z_2) + (m_s \cdot \beta \cdot Z_3) \\ &\quad + (m_w \cdot g \cdot X_1) + (m_p \cdot g \cdot X_2) + (m_s \cdot g \cdot X_3) \\ &= (2.0 \times 0.5 \times 0.12) + (0.5 \times 0.5 \times 0.09) \\ &\quad + (2.1 \times 0.5 \times 0.13) + (2.0 \times 9.807 \times 0.15) \\ &\quad + \{0.5 \times 9.807 \times (-0.05)\} + (2.1 \times 9.807 \times 0.01) \\ &\approx 3.18 [\text{N}\cdot\text{m}] \end{aligned}$$

- ヨーイング方向に作用するモーメント M_Y

$$M_Y = (m_w \cdot \beta \cdot Y_1) + (m_p \cdot \beta \cdot Y_2) + (m_s \cdot \beta \cdot Y_3) + (m_w \cdot \alpha \cdot X_1)$$

$$= (2.0 \times 0.5 \times 0.23) + (0.5 \times 0.5 \times 0.08) + (2.1 \times 0.5 \times 0.06) + (2.0 \times 3.0 \times 0.15)$$

$$\cong 1.21 [\text{N}\cdot\text{m}]$$

- ローリング方向に作用するモーメント M_R

$$M_R = (m_w \cdot g \cdot Y_1) + (m_p \cdot g \cdot Y_2) + (m_s \cdot g \cdot Y_3) + (m_w \cdot \alpha \cdot Z_1)$$

$$= (2.0 \times 9.807 \times 0.23) + (0.5 \times 9.807 \times 0.08) + (2.1 \times 9.807 \times 0.06) + (2.0 \times 3.0 \times 0.12)$$

$$\cong 6.86 [\text{N}\cdot\text{m}]$$

許容モーメント判定式 (5) より

$$\frac{|M_P|}{M_{P2max}} + \frac{|M_Y|}{M_{Y2max}} + \frac{|M_R|}{M_{R2max}}$$

$$= \frac{|3.18|}{31.8} + \frac{|1.21|}{10.3} + \frac{|6.86|}{40.6}$$

$$\cong 0.39 \leq 1$$

X軸スライダに加わるモーメントは仕様値以下のため、使用可能です。

以上より、X軸・Y軸共にそれぞれの動的許容モーメントを満足し、使用可能と判断できます。

これにZ軸スライダが加わったX-Y-Zの組み合わせでも同様に、末端軸のZ軸スライダからモーメント計算を行い、Y軸、X軸と進めます。

7. テーブルにモーメントが作用したときのたわみ

スライダにモーメントが作用した場合、テーブルはモーメント方向に傾きます。傾くことで張り出し先には変位が生じます。

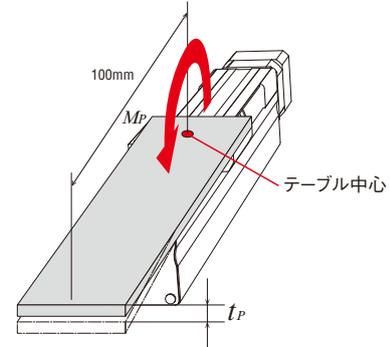
図15のように、EASシリーズのスライダテーブルに各方向の動的許容モーメントを作用させたときのたわみ量を表1に示します。測定はテーブル中心から100mm張り出した位置で、数値は参考値です。

表1 動的許容モーメントが作用したときのスライダテーブルのたわみ量

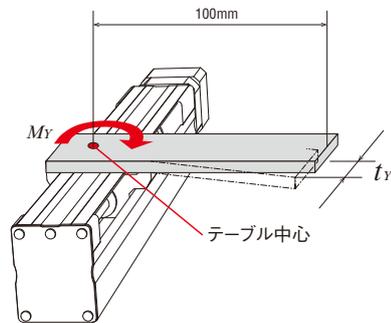
シリーズ	型番	t_P	t_Y	t_R
EAS	4	0.11mm	0.03mm	0.38mm
	6	0.11mm	0.03mm	0.41mm

※板のたわみを除いた値です。

- ピッチング方向



- ヨーイング方向



- ローリング方向

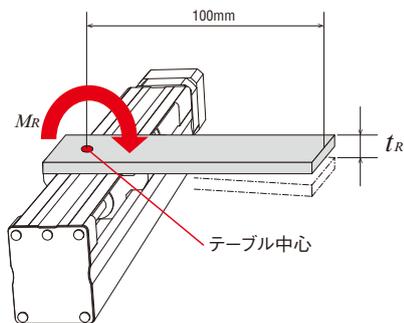


図15 動的許容モーメント作用時のたわみ量

8. 電動シリンダのモーメント計算

電動シリンダを使用する際、ロッド部を支持するガイドを外部に設け、ロッドにかかるモーメント荷重を受けする必要があります。

電動シリンダには、お客様がロッド部に負荷を作用させて使用できる、ガイド付き(シャフトガイド)シリーズもご用意しています(図16参照)。

ここではガイド付きシリンダのモーメント計算例について説明をします。

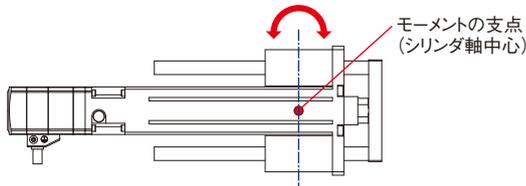


図16 ガイド付きシリンダ (EACシリーズ)

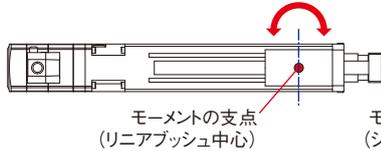
8.1. ガイド付きシリンダのモーメント作用

ガイド付きシリンダも、電動スライダと同様にモーメントが作用する方向があります。図17にガイド付きシリンダに作用するモーメント方向について示します。

●ヨーイング方向 (M_y)



●ピッチング方向 (M_p)



●ローリング方向 (M_R)

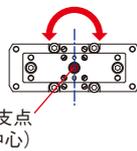


図17 ガイド付きシリンダに作用するモーメント方向

8.2. ガイド付きシリンダのモーメント計算例

8.2.1. 垂直方向のワーク搬送

ここで、ガイド付きシリンダが垂直方向へワークを搬送した場合に、リニアブッシュへ作用するモーメントの計算例を示します。図18で、

- M_p : リニアブッシュに作用するピッチング方向モーメント
- L : 張り出し距離
- m : ワーク質量
- α : 運転加速度

を示します。

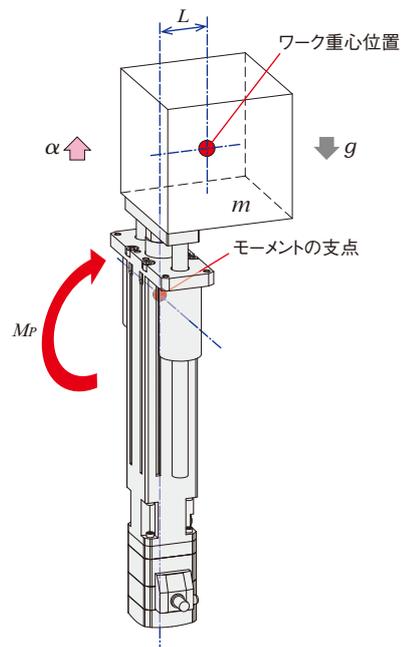


図18 垂直設置した場合に作用するモーメントの例

図18に示すように、垂直設置した場合にリニアブッシュに作用するピッチング方向のモーメントを M_p とした場合、以下の式(6)で計算できます。

$$M_p = (m \cdot g \cdot L) + (m \cdot \alpha \cdot L) \dots\dots\dots (6)$$

計算したピッチング方向のモーメント値が動的許容モーメント値内であることを確認します。

8.2.2. 水平方向のワーク搬送

次に、図19に示すようなシャフトガイド付きシリンダで、ロッドの出が0(ゼロ)の点を原点位置として、水平方向にワークを搬送した場合の位置決め距離と可搬質量の関係を図20に示します。

水平方向荷重はワーク質量以外にシリンダロッドとシャフトガイドの自重があり、リニアブッシュにモーメントとして作用します。図はそれらも考慮しています。

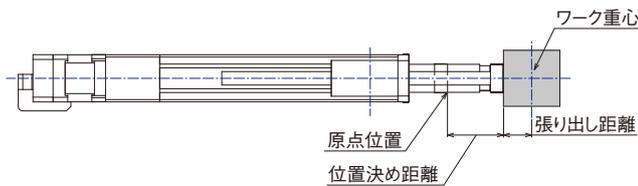


図19 水平方向にワークを搬送した場合の図

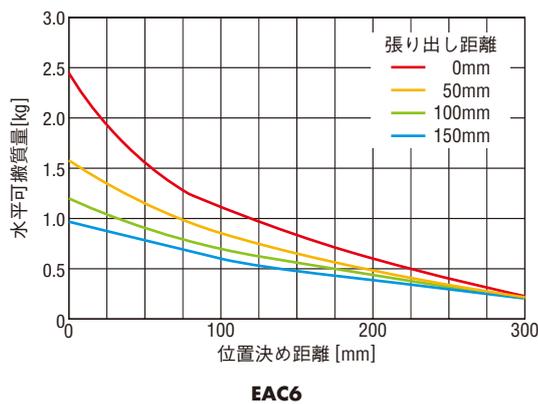
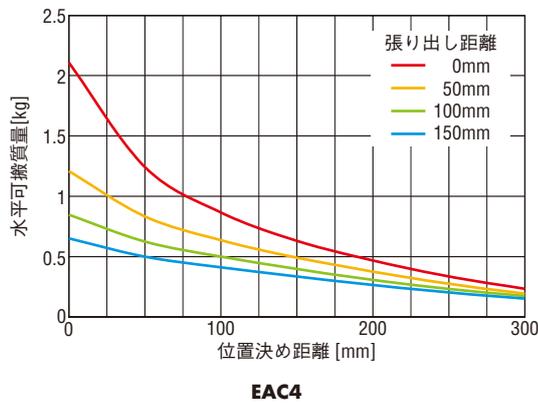


図20 水平設置した場合の位置決め距離と可搬質量の関係

9. まとめ

以上、電動スライダ・シリンダのモーメント計算方法の考え方と手順を説明しました。

実際の装置では電動スライダ・シリンダにはさまざまな設置条件と駆動条件があり、すべての使用条件について解説することは難しいものがあります。

オリエンタルモーターでは、お客様の使用条件から電動スライダ・シリンダのモーメントも考慮した選定計算を実施しています。お近くのお客様ご相談センター(東京・名古屋・大阪)までお問い合わせください。

筆者



政田 哲也

機構商品事業部