

技術資料

Engineering Data

歯形について	009
回転方向と減速比	010
カップ型	010
シルクハット型	011
パンケーキ型	011
定格表の用語	012
寿命について	012
強度について	013
型番の選定	014
潤滑剤について	016
グリース潤滑剤	016
ハーモニックグリース® 4B No.2 の取扱上の注意点	018
オイル潤滑剤	018
特殊雰囲気用潤滑剤	019
剛性について	020
角度伝達精度	021
振動について	021
起動トルクについて	022
増速起動トルクについて	022
無負荷ランニングトルク	023
効率特性	023
設計上の注意	024
設計ガイドライン	024
入力と出力軸のベアリング支持	025
ウェーブ・ジェネレータについて	026
組み込み上の注意	028
シール機構	028
組み込み上の注意点	028
デドイダル状態	029
主軸受の確認	030
確認手順	030
最大負荷モーメント荷重の求め方	030
平均荷重の求め方	031
ラジアル荷重係数 (X)、 スラスト荷重係数 (Y) の求め方	031
寿命の求め方	032
揺動運動するときの寿命の求め方	033
静的安全係数の求め方	034

歯形について

■IH 歯形のメカニズム

IH 歯形は、独創的なメカニズムを持つハーモニックドライブ®のために、最も適した歯形を追求して考案されたものです。歯形はIH 歯形独自の特殊曲線で、歯形どうしの連続接触を可能にしています。また、歯厚に対して歯溝の幅を広く、歯底のRを大きく取ることで、応力集中を緩和しました。図は、固定したサーキュラ・スプラインの歯に対して、弾性変形を繰り返すフレックスプラインの歯が移動する様子を示したものです。

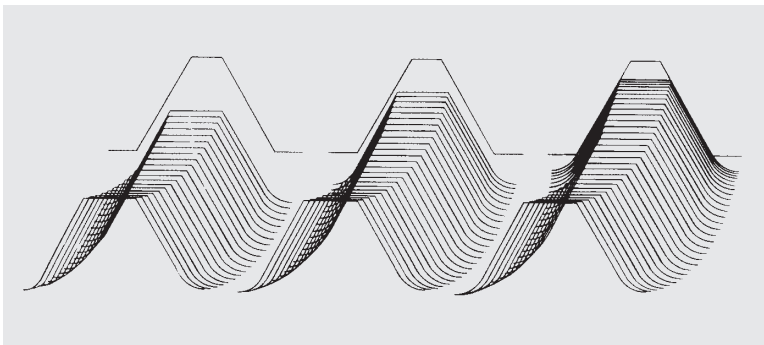
歯の接触は、噛みあい初期から長く続いて行なわれます。この歯の連続接触により、同時噛みあい歯数は、総歯数のほぼ30%にも達します。IH 歯形を導入したハーモニックドライブ®は、インボリュート歯形を用いた従来機種のスムーズさをそのままに、精度・強度・剛性・寿命面で、飛躍的な技術革新を実現しています。

※特許取得済

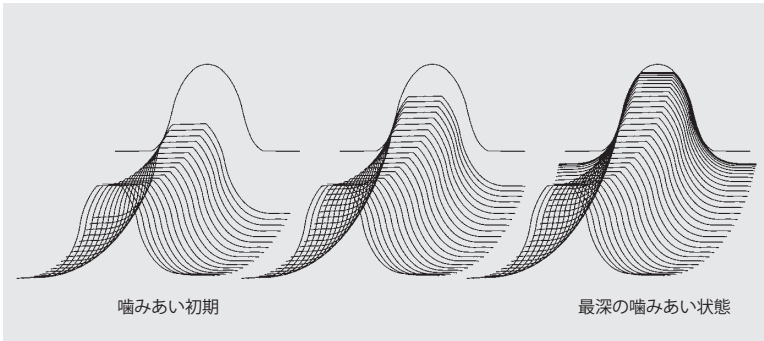
歯の噛みあいの経路

図 009-1

従来の歯形

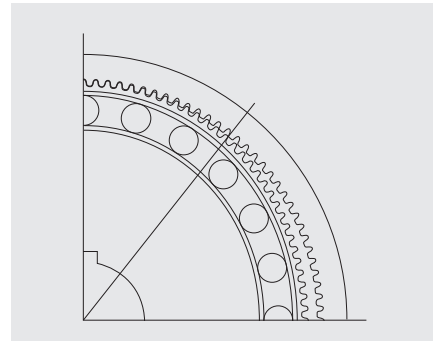
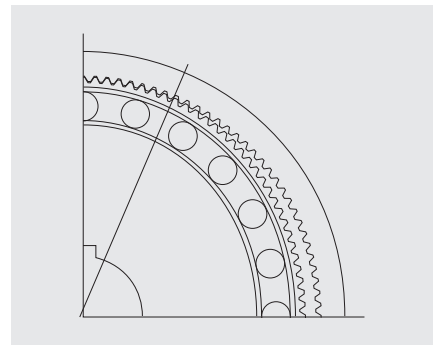


IH 歯形



歯の噛みあい領域

図 009-2



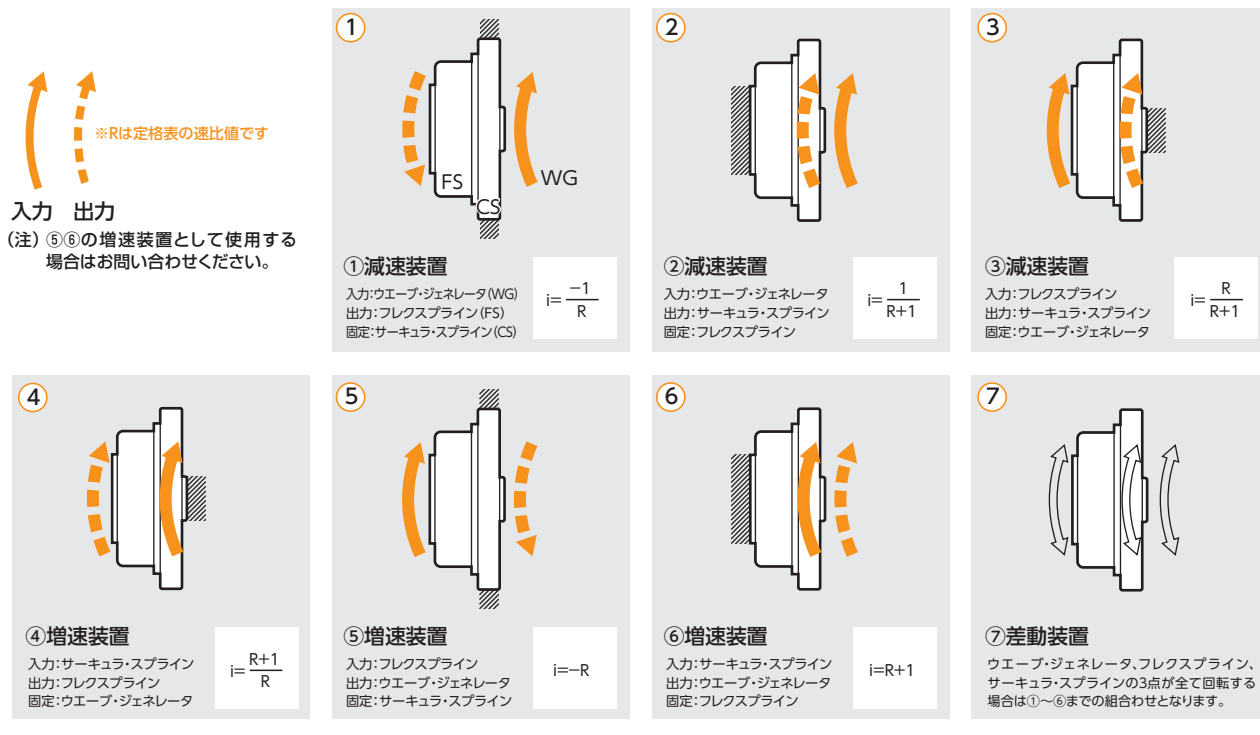
回転方向と減速比

カップ型

カップ型ハーモニックドライブ®の回転方向と減速比を次に示します。
 なお、カップ型ハーモニックドライブ®は次の各シリーズです。
 CSG、CSF、CSD、CSF-mini、CSF-GH

■回転方向

図 010-1



※増速機としてのご使用はトルク脈動が発生いたします。詳細はお問い合わせください。

■減速比

ハーモニックドライブ®の減速比はフレクスプラインとサーキュラ・スプラインの歯数によって決定されます。

フレクスプラインの歯数 : Z_f
 サーキュラ・スプラインの歯数 : Z_c

〔例〕フレクスプラインの歯数 : 200
 サーキュラ・スプラインの歯数 : 202

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: フレクスプライン
 固定: サーキュラ・スプライン } 減速比 $i_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{Z_f - Z_c}{Z_f}$

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: サーキュラ・スプライン
 固定: フレクスプライン } 減速比 $i_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{Z_c - Z_f}{Z_c}$

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: フレクスプライン
 固定: サーキュラ・スプライン } 減速比 $i_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{200 - 202}{200} = \frac{-1}{100}$

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: サーキュラ・スプライン
 固定: フレクスプライン } 減速比 $i_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{202 - 200}{202} = \frac{1}{101}$

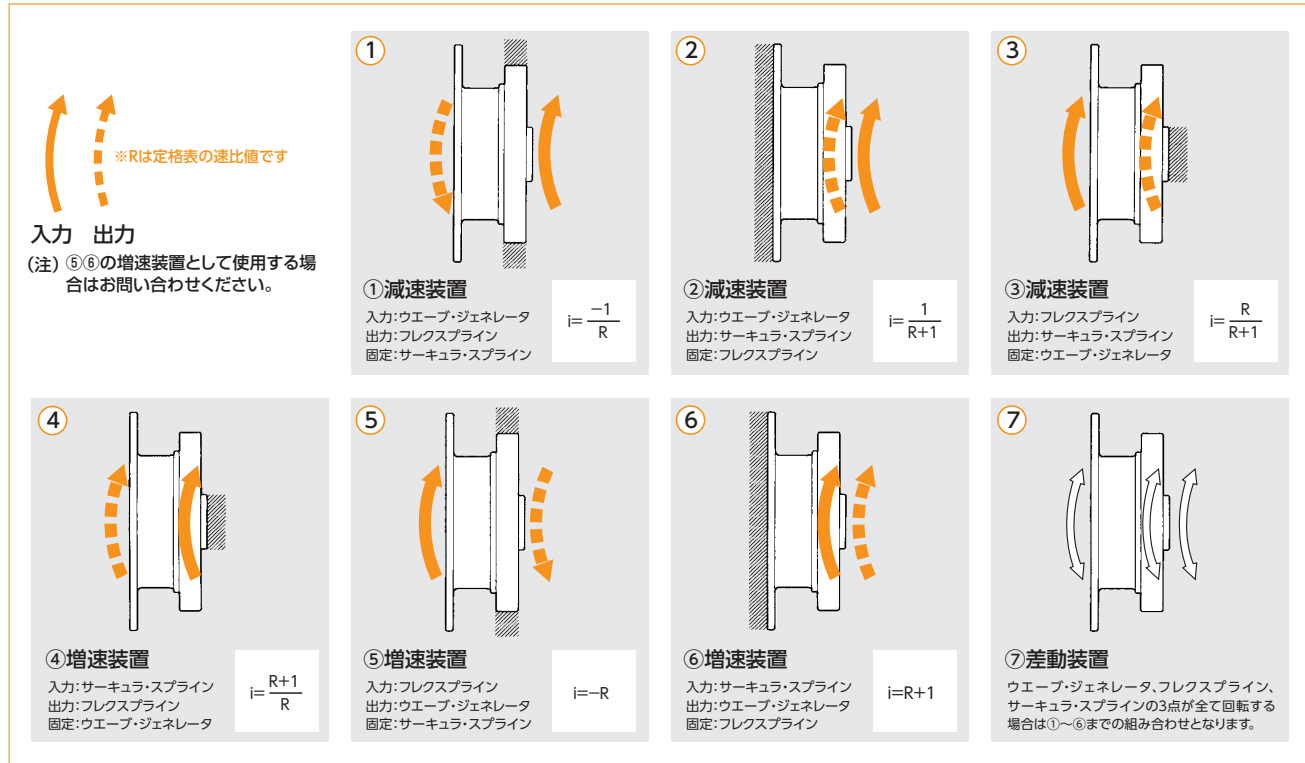
■定格表の減速比値は R_i で示しています。

シルクハット型

シルクハット型ハーモニックドライブ®の回転方向と減速比を次に示します。
 なお、シルクハット型ハーモニックドライブ®は次の各シリーズです。
 SHG、SHF、SHD

■回転方向

図 011-1



※増速機としてのご使用はトルク脈動が発生いたします。詳細はお問い合わせください。

■減速比

ハーモニックドライブ®の減速比はフレクスプラインとサーキュラ・スプライン歯数によって決定されます。

フレクスプラインの歯数 : Z_f
 サーキュラ・スプラインの歯数 : Z_c

「例」フレクスプラインの歯数 : 200
 サーキュラ・スプラインの歯数 : 202

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: フレクスプライン
 固定: サーキュラ・スプライン

$$\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{入力: ウェーブ・ジェネレータ} \\ \text{出力: フレクスプライン} \\ \text{固定: サーキュラ・スプライン} \end{matrix}} \right\} \text{減速比 } i_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{Z_f - Z_c}{Z_f}$$

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: フレクスプライン
 固定: サーキュラ・スプライン

$$\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{入力: ウェーブ・ジェネレータ} \\ \text{出力: フレクスプライン} \\ \text{固定: サーキュラ・スプライン} \end{matrix}} \right\} \text{減速比 } i_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{200 - 202}{200} = \frac{-1}{100}$$

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: サーキュラ・スプライン
 固定: フレクスプライン

$$\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{入力: ウェーブ・ジェネレータ} \\ \text{出力: サーキュラ・スプライン} \\ \text{固定: フレクスプライン} \end{matrix}} \right\} \text{減速比 } i_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{Z_c - Z_f}{Z_c}$$

▶ 入力: ウェーブ・ジェネレータ
 出力: サーキュラ・スプライン
 固定: フレクスプライン

$$\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{入力: ウェーブ・ジェネレータ} \\ \text{出力: サーキュラ・スプライン} \\ \text{固定: フレクスプライン} \end{matrix}} \right\} \text{減速比 } i_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{202 - 200}{202} = \frac{1}{101}$$

■定格表の減速比値は R_1 で示しています。

パンケーキ型

パンケーキ型ハーモニックドライブ®の回転方向と減速比は各シリーズのページを参照ください。なお、パンケーキ型ハーモニックドライブ®は次の各シリーズです。
 FB、FR

強度について

■フレクスプラインの強度

フレクスプラインが弾性変形を繰り返すため、ハーモニックドライブ®の伝達トルクは、フレクスプラインの歯底の疲労強度を基準にしています。

定格トルク、起動・停止時の許容ピークトルクの値は、フレクスプライン歯底の疲労限界以内の値です。

起動・停止時のピークトルクを超える衝撃トルクが加わる場合には、疲労破壊発生の可能性があります。従って、疲労破壊を起こさないように、衝撃トルクのかかる回数に制限を設けています。ただし、衝撃トルクの最大値は瞬間許容最大トルクを超えてはいけません。

衝撃トルクがかかっている間のウェーブ・ジェネレータの回転によるフレクスプラインのたわみ回数制限: 1.0×10^4 (回)

このたわみ回数制限から、衝撃トルクのかかる許容回数を算出することができます。

計算式

計算式 013-1

$$N = \frac{1.0 \times 10^4}{2 \times \frac{n}{60} \times t}$$

表 013-1

許容回数	N 回
衝撃トルクのかかる時間	t sec
そのときのウェーブ・ジェネレータの回転速度	n r/min
ウェーブ・ジェネレータ 1 回転で、フレクスプラインは 2 回たわみます。	



衝撃トルクが許容回数を超えると、フレクスプラインが疲労破壊を起こす場合があります。

■座屈トルク

ウェーブ・ジェネレータが固定された状態でフレクスプライン (出力) に過度なトルクがかかったとき、フレクスプラインは塑性変形を起こし、やがてフレクスプラインの胴部で座屈を起こし破損してしまいます。

このときのトルクを座屈トルクと呼びます。

※座屈トルクの値は各シリーズのページを参照ください。



フレクスプラインが座屈を起こした状態では、ハーモニックドライブ®は使用不能となりますので、十分な注意が必要です。

■ラチェッティングトルク

運転中に過度な衝撃トルクがかかったとき、フレクスプライン等が破損しないで、サーキュラ・スプラインとフレクスプラインの歯のかみあいが瞬間的にずれてしまうことがあります。この現象をラチェッティング、このときのトルクをラチェッティングトルク (値は各シリーズのページ参照) と呼びます。ラチェッティングを起こしたまま運転すると、ラチェッティング発生時の摩滅粉などの影響で、歯の早期摩耗やウェーブ・ジェネレータ・ベアリングの早期寿命を招いてしまいます。

※ラチェッティングトルクの値は各シリーズのページを参照ください。

※ラチェッティングトルクはサーキュラ・スプラインを取り付けるハウジングの剛性により影響を受けます。詳細はお問い合わせください。



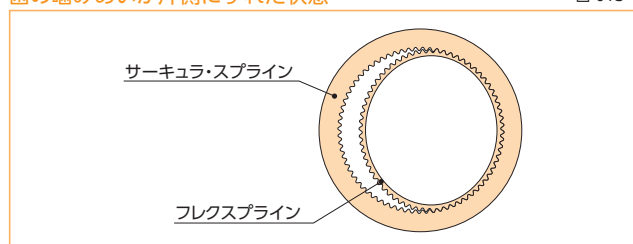
ラチェッティングを起こしたとき、歯の噛みあいが正常にならず、図 013-1 のように片側にずれた状態になる場合があります。この状態での運転は、振動の発生やフレクスプラインの破損を引き起こしますので、十分な注意が必要です。



一度ラチェッティングを起こすと、歯先が摩耗し、二度目以降は、ラチェッティングの発生トルク値が低くなってしまうので、この点についても、十分ご注意ください。

歯の噛みあいが片側にずれた状態

図 013-1



この状態をデイドダルと称します。

型番の選定

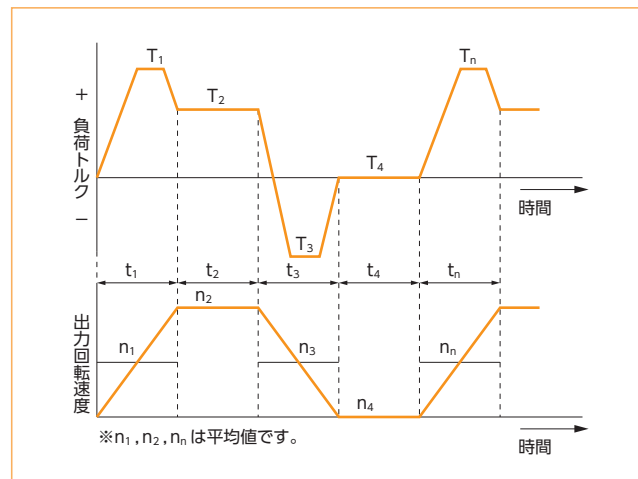
一般的に、サーボシステムにおいては、連続一定負荷の状態はほとんどありません。入力回転速度や負荷トルクが変化したり、起動・停止時には比較的大きなトルクがかかります。また予期しない衝撃トルクのかかることもあります。これらの変動負荷トルクを、平均負荷トルクに換算して、型番の選定を行います。

また、ユニットタイプの場合は、外部負荷の直接支持 (出力フランジ部) に、精密クロスローラ・ベアリングを組み込んでいますので、最大負荷モーメント荷重、クロスローラ・ベアリングの寿命および静的安全係数の確認も合わせて行ってください。(ページ 030「主軸受の確認」参照)

■負荷トルクパターンの確認

はじめに、負荷トルクパターンを把握する必要があります。下図で示す各仕様を確認してください。

グラフ 014-1



各負荷トルクパターンの値を求める

負荷トルク	T_n (N·m)
時間	t_n (sec)
出力回転速度	n_n (r/min)

<通常運転パターン>

起動時	T_1, t_1, n_1
定常運転時	T_2, t_2, n_2
停止(減速)時	T_3, t_3, n_3
休止時	T_4, t_4, n_4

<最高回転速度>

最高出力回転速度	no_{max}
最高入力回転速度	ni_{max}
(モータなどで制限されます。)	

<衝撃トルク>

衝撃トルク印加時	T_s, t_s, n_s
----------	-----------------

<要求寿命>

$$L_{10} = L \text{ (時間)}$$

■型番選定のフローチャート

型番選定は、次のフローチャートによって行ってください。いずれか1つでも定格表の値を超える場合は、1つ上の型番で再検討するか、負荷トルク等の条件の低減を検討してください。

負荷トルクパターンからハーモニックの出力側にかかる、平均負荷トルクを算出: T_{av} (N·m)

$$T_{av} = \sqrt[3]{\frac{n_1 \cdot t_1 \cdot T_1^3 + n_2 \cdot t_2 \cdot T_2^3 + \dots + n_n \cdot t_n \cdot T_n^3}{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + \dots + n_n \cdot t_n}}$$

次の条件で型番の仮選定を行う。 $T_{av} \leq$ 平均負荷トルクの許容最大値
(各シリーズ定格表参照)

平均出力回転速度を算出
: no_{av} (r/min)

$$no_{av} = \frac{n_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot t_2 + \dots + n_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

減速比(R)を決める。
 ni_{max} はモータなどで制限されます。

$$\frac{ni_{max}}{no_{max}} \geq R$$

平均出力回転速度(no_{av})と減速比(R)から平均入力回転速度を算出: ni_{av} (r/min)

$$ni_{av} = no_{av} \cdot R$$

最高出力回転速度(no_{max})と減速比(R)から最高入力回転速度を算出: ni_{max} (r/min)

$$ni_{max} = no_{max} \cdot R$$

NG

仮選定した型番が定格表の $ni_{av} \leq$ 許容平均入力回転速度 (r/min) 値以内であるか確認する。 $ni_{max} \leq$ 許容最高入力回転速度 (r/min)

OK

NG

T_1, T_3 が定格表の起動・停止時の許容ピークトルク (N·m) の値以内であるか確認する。

OK

NG

T_5 が定格表の瞬間許容最大トルク (N·m) の値以内であるか確認する。

OK

NG

衝撃トルク印加時の出力回転速度 n_s と時間 t_s から、許容回数を算出(N_s)し、使用条件に合うか確認する。
$$N_s = \frac{10^4}{2 \cdot \frac{n_s}{60} \cdot R} \cdot t$$
 $N_s \leq 1.0 \times 10^4$ (回)

OK

寿命時間を算出する。 $L_{10} = 7000 \cdot \left(\frac{Tr}{T_{av}} \right)^3 \cdot \left(\frac{nr}{ni_{av}} \right)$ (時間)

NG

算出した寿命時間がウェーブ・ジェネレータの寿命時間以上であるか確認する。(ページ 013 参照)

OK

型番の決定

運転条件または型番の再検討

■型番選定例

各負荷トルクパターンの値

負荷トルク	T_n (N·m)
時間	t_n (sec)
出力回転速度	n_n (r/min)

<最高回転速度>

最高出力回転速度	$n_{o\ max} = 14$ r/min
最高入力回転速度	$n_{i\ max} = 1800$ r/min
(モータなどで制限されます。)	

<通常運転パターン>

起動時	$T_1=400$ N·m、 $t_1=0.3$ sec、 $n_1=7$ r/min
定常運転時	$T_2=320$ N·m、 $t_2=3$ sec、 $n_2=14$ r/min
停止(減速)時	$T_3=200$ N·m、 $t_3=0.4$ sec、 $n_3=7$ r/min
休止時	$T_4=0$ N·m、 $t_4=0.2$ sec、 $n_4=0$ r/min

<衝撃トルク>

衝撃トルク印加時	$T_s=500$ N·m、 $t_s=0.15$ sec、 $n_s=14$ r/min
----------	---

<要求寿命>

$L_{10}=7000$ (時間)

負荷トルクパターンからハーモニックの出力側にかかる、平均負荷トルクを算出: T_{av} (N·m)

$$T_{av} = 3 \sqrt{\frac{7\text{r/min} \cdot 0.3\text{sec} \cdot \{400\text{N} \cdot \text{m}\}^3 + 14\text{r/min} \cdot 3\text{sec} \cdot \{320\text{N} \cdot \text{m}\}^3 + 7\text{r/min} \cdot 0.4\text{sec} \cdot \{200\text{N} \cdot \text{m}\}^3}{7\text{r/min} \cdot 0.3\text{sec} + 14\text{r/min} \cdot 3\text{sec} + 7\text{r/min} \cdot 0.4\text{sec}}}$$

次の条件で型番の仮選定を行う。 $T_{av}=319$ N·m ≤ 451 N·m (型番CSF-40-120の平均負荷トルクの許容最大値: 定格表、ページ39 参照)
よって、**CSF-40-120-2A-GR**を仮選定

平均出力回転速度を算出: $n_{o\ av}$ (r/min)

$$n_{o\ av} = \frac{7\text{r/min} \cdot 0.3\text{sec} + 14\text{r/min} \cdot 3\text{sec} + 7\text{r/min} \cdot 0.4\text{sec}}{0.3\text{sec} + 3\text{sec} + 0.4\text{sec} + 0.2\text{sec}} = 12\text{r/min}$$

減速比(R)を決める。

$$\frac{1800\text{r/min}}{14\text{r/min}} = 128.6 \geq 120$$

平均出力回転速度($n_{o\ av}$)と減速比(R)から
平均入力回転速度を算出: $n_{i\ av}$ (r/min)

$$n_{i\ av} = 12\text{r/min} \cdot 120 = 1440\text{r/min}$$

最高出力回転速度($n_{o\ max}$)と減速比(R)から
最高入力回転速度を算出: $n_{i\ max}$ (r/min)

$$n_{i\ max} = 14\text{r/min} \cdot 120 = 1680\text{r/min}$$

仮選定した型番が定格表の値以内であるか確認する。

$$n_{i\ av} = 1440\text{r/min} \leq 3600\text{r/min} \text{ (型番40の許容平均入力回転速度)}$$

$$n_{i\ max} = 1680\text{r/min} \leq 5600\text{r/min} \text{ (型番40の許容最高入力回転速度)}$$

NG

OK

T_1, T_3 が定格表の起動・停止時の許容ピークトルク(N·m)の
値以内であるか確認する。

$$T_1 = 400\text{N} \cdot \text{m} \leq 617\text{N} \cdot \text{m} \text{ (型番40の起動・停止時の許容ピークトルク)}$$

$$T_3 = 200\text{N} \cdot \text{m} \leq 617\text{N} \cdot \text{m} \text{ (型番40の起動・停止時の許容ピークトルク)}$$

NG

OK

T_s が定格表の瞬間許容最大トルク (N·m)の値以内であるか確認する。 $T_s=500$ N·m ≤ 1180 N·m (型番40の瞬間許容最大トルク)

NG

OK

衝撃トルク印加時の出力回転速度 n_s と時間 t_s から、許容回
数を算出(N_s)し、使用条件に合うか確認する。

$$N_s = \frac{10^4}{2 \cdot \frac{14\text{r/min} \cdot 120}{60} \cdot 0.15\text{sec}} = 1190 \leq 1.0 \times 10^4 \text{ (回)}$$

NG

OK

寿命時間を算出する。

$$L_{10} = 7000 \cdot \left(\frac{294\text{N} \cdot \text{m}}{319\text{N} \cdot \text{m}} \right)^3 \cdot \left(\frac{2000\text{r/min}}{1440\text{r/min}} \right) \text{ (時間)}$$

NG

OK

算出した寿命時間がウェーブ・ジェネレータの寿命時間以上であるか確認する。(ページ012参照)

$$L_{10}=7610\text{時間} \geq 7000 \text{ (ウェーブ・ジェネレータの寿命時間: } L_{10})$$

上記の結果により**CSF-40-120-2A-GR**を決定

運転条件または型番の再検討

潤滑剤について

コンポーネントタイプの潤滑方法は、グリース潤滑とオイル潤滑の2種類です。

ユニットタイプ、ギヤヘッドタイプの潤滑方法は、グリース潤滑を標準としています。グリースを封入した状態で出荷しますので、組み込み時のグリース注入、塗布の必要はありません。但し、簡易ユニットタイプは、グリースの封入がされておきませんのでご注意ください。

右記の温度範囲以外での潤滑剤については、ページ019を参照ください。

※メンテナンスなどの都合により、ちょう度ゼロ (NLGI No.0) をご希望する場合には弊社営業所へお問い合わせください。

潤滑剤の名称

表 016-1

グリース	ハーモニックグリース® SK-1A
	ハーモニックグリース® SK-2
	ハーモニックグリース® 4B No.2
	ハーモニックグリース® HFL-1
オイル	工業用ギヤ油2種 (極圧) ISO VG68

使用雰囲気温度範囲

表 016-2

グリース	SK-1A 0℃～+40℃
	SK-2 0℃～+40℃
	4B No.2 -10℃～+70℃
	HFL-1 0℃～+40℃
オイル	ISO VG68 0℃～+40℃

(注) 高温側は雰囲気温度に対し、温度上昇40℃以下でご使用ください。

グリース潤滑剤

■グリースの種類

ハーモニックグリース® SK-1A

ハーモニックドライブ®専用グリースとして開発され、市販の汎用グリースに比べ耐久性、効率特性に優れたグリースです。

ハーモニックグリース® SK-2

小型ハーモニックドライブ®専用として開発され、極圧添加剤を液体にすることにより、ウェーブ・ジェネレータ回転時の円滑性に優れたグリースです。

ハーモニックグリース® 4B No.2

CSF・CSGシリーズ専用として開発され、長寿命化に適した流動特性を有し、また、広温度範囲に使用できるグリースです。

ハーモニックグリース® HFL-1

ハーモニックドライブ® 専用に開発された食品機械用 (NSF H1 グレード登録) グリースです。

- (注) 1. グリース潤滑は、シール機構が必要になります。
回転部や締結接触面へは、次のような対策を行ってください。
特に、ハーモニックグリース®4B No.2、HFL-1 をご使用の場合は、シール機構を厳重に行ってください。
回転部…スプリング入りオイルシールをご使用ください。
締結接触部…平面のゆがみやキズに注意し、Oリングまたはシール剤をご使用ください。
2. 4B No.2の場合は運転初期でも、グリースがせん断を受ける部位 (ウェーブ・ジェネレータに近い部分) では柔らかくなります。その固さは、運転の諸条件にもよりますが、NLGI ちょう度No. 0 から00程度です。

表 016-3

NLGI ちょう度No.	混和ちょう度範囲
0	355～385
00	400～430

■機種別適合グリース

型番、速比により適合するグリースが違います。次の適合表を参照ください。一般的など使用には、SK-1AおよびSK-2を推奨します。

減速比30の適合グリース

表 016-4

型番	8	11	14	17	20	25	32
SK-1A	—	—	—	—	○	○	○
SK-2	○	○	○	○	—	—	—
4B No.2	△	△	△	△	□	□	□

減速比50以上の適合グリース

表 016-5

型番	8	11	14	17	20	25	32
SK-1A	—	—	—	—	○	○	○
SK-2	○	○	○	○	△	△	△
4B No.2	—	—	□	□	□	□	□

型番	40	45	50	58	65	80	90	100
SK-1A	○	○	○	○	○	○	○	○
SK-2	△	—	—	—	—	—	—	—
4B No.2	□	□	□	□	□	□	□	□

※○印：標準グリース
△印：準標準グリース
□印：長寿命および高負荷の場合の推奨グリース

グリース仕様

表 016-6

グリース	SK-1A	SK-2	4B No.2	HFL-1
基油	精製鉱物油	精製鉱物油	合成炭化水素油	精製鉱物油
増ちょう剤	リチウム石けん基	リチウム石けん基	ウレア	カルシウムスルホネート
添加剤	極圧添加剤、その他	極圧添加剤、その他	極圧添加剤、その他	極圧添加剤、その他
NLGI ちょう度No.	No.2	No.2	No.1.5	No.0
ちょう度 (25℃)	265～295	265～295	290～320	355～385
滴点	197℃	198℃	247℃	280℃以上
外観	黄色	緑色	淡黄色	淡褐色
保存寿命	密閉状態で5年間	密閉状態で5年間	密閉状態で5年間	密閉状態で2年間

グリース特性

表 016-7

グリース	SK-1A	SK-2	4B No.2	HFL-1
耐久性	○	○	◎	○
耐フレッチング	○	○	◎	○
低温性	△	△	◎	△
グリース漏れ	◎	◎	△	△

※優れている：◎
適している：○
要注意：△

■グリース交換時期

ハーモニックドライブ®の各摺動部の摩耗は、グリースの性能により、大きく影響を受けます。
グリースの性能は温度により変化し、高温になるほど劣化が進みますので、早期のグリース交換が必要となります。下のグラフ017-1は、平均負荷トルクが定格トルク以下の場合で、グリースの温度とウェーブ・ジェネレータの延べ回転数との関係から、交換時期のめやすを示したものです。
平均負荷トルクが定格トルクを超える場合は、次の計算式より交換時期のめやすを求めます。

平均負荷トルクが定格トルクを超える場合の計算式 計算式017-1

$$L_{GT} = L_{GTn} \times \left(\frac{T_r}{T_{av}} \right)^3$$

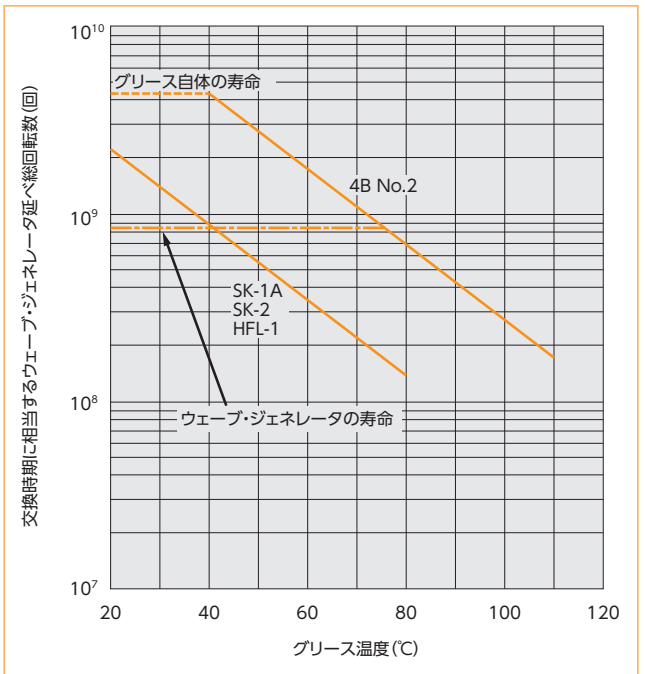
計算式の記号

表 017-1

L_{GT}	定格トルク以上の交換時期	回転数	—————
L_{GTn}	定格トルク以下の交換時期	回転数	グラフ017-1参照
T_r	定格トルク	N・m, kgf・m	各シリーズ「定格表」参照
T_{av}	出力側の平均負荷トルク		計算式：ページ014参照

グリース交換時期： L_{GTn} (平均負荷トルクが定格トルク以下の場合)

グラフ017-1



※ウェーブ・ジェネレータの寿命とは破損確率10パーセントを示します。

■その他の注意事項

1. 他のグリースとの混用は避けてください。また、装置に組み込まれた際、ハーモニックドライブ®は単独のケースにしてください。
2. 一定負荷、一方向連続運転にてご使用する場合には、潤滑不良を起こす可能性があります。このようなご使用をする場合は、弊社営業所までお問い合わせください。
3. ユニットタイプのグリース漏れについて
ユニットタイプは、グリース漏れ対策を考慮した構造となっておりますが、ご使用環境によっては、シール機構の強化を行ってください。

■「ケース内壁の推奨寸法」「塗布要領」「塗布量」は各シリーズの設計ガイドのページを参照ください。

ハーモニックグリース® 4B No.2の取扱上の注意点

ハーモニックグリース®4BNo.2は、ハーモニックドライブ®に適した流動特性（せん断による軟化とつき回り性）を活かし、下記項目の実施により潤滑寿命が向上しております。

- ①運転初期の各接触部への確実なグリースの流入
- ②各接触部のなじみ段階での初期摩耗粉の除去
- ③接触部へのグリース補給

■上記メカニズムを確実に実施するための、使用上の注意点**①グリース充填時**

保管容器中の4BNo.2グリースは、静置時間にもよりますが、ちょう度が固くなっています。充填前に、保管容器内のグリースをよく混ぜ合わせ柔らかくしてから充填してください。

②エージング（なじみ運転）について

本稼働前のエージングにより、充填したグリースを柔らかくし、ハーモニックドライブ®の各接触部に流動させておくことにより、より効果的な潤滑性能が得られます。

そのために、以下のエージング方法を推奨します。

- ・内部温度を80℃以下となるようにしてください（急激な高温エージングは不可）。
- ・入力回転数:1000r/min～3000r/minとしますが、左記範囲内でできるだけ低い回転数の方が効果的です。
- ・エージング時間:20分以上としてください。
- ・エージング動作範囲：可能な限り出力回転角を大きくしてください。

以上、その他ご不明点がございましたら弊社までお問い合わせください。

オイル潤滑剤**■オイルの種類**

標準指定潤滑油は、『工業用ギヤ油2種（極圧）ISO VG68』です。
市販の潤滑油は、以下に銘柄を推奨します。

表 018-1

標準	モービル石油	エッソ	昭和シェル石油	コスモ石油	ジャパンエナジー	新日本石油	出光興産	ゼネラル石油	NOKクリューバ
工業用ギヤ油 2種（極圧） ISO VG68	モービル ギヤ 600XP68	スパルタン EP68	オマラ オイル 68	コスモギヤ SE68	ESギヤ G68	ボンノック M68 ボンノック AX68	ダフニ スーパーギヤ LW68	ゼネラル石油 SPギヤ ロール68	シンテッソ D-68EP

■オイル交換時期

- 1 回目……………運転開始後 100 時間
2 回目以降……………運転 1000 時間ごと、または 6 ヶ月ごと
ただし、使用条件が苛酷な場合には、交換時期を早めてください。

■「油面位置」「フレクスプラインの油溝加工寸法」「油量」は各シリーズの設計ガイドのページを参照ください。

■その他の注意事項

1. 他のオイルとの混用は避けてください。また、装置に組み込まれた際、ハーモニックドライブ®は単独のケースにしてください。
2. 型番 50 以上で定格表の許容入力回転速度付近で使用する場合には、使用条件により潤滑不良を起こす場合がありますので、お問い合わせください。

特殊雰囲気用潤滑剤

雰囲気温度が特殊な場合 (表 016-2 の「使用雰囲気温度範囲」以外) は、次に示す潤滑剤使用温度範囲および使用条件を考慮し、潤滑剤を選定してください。

ハーモニックグリース® 4B No.2

表 019-1

潤滑の種類	使用温度範囲	使用可能温度範囲
グリース	-10℃～+110℃	-50℃～+130℃

・ハーモニックグリース® 4B No.2 の使用温度範囲は、ハーモニックドライブ® の性能および特性を考慮した、潤滑部での温度です。(雰囲気温度ではありません。)

・使用可能温度範囲は、潤滑剤単独での温度を示しますので、ハーモニックドライブ® の運転条件 (負荷トルク・回転速度・運転サイクル等) に制限が加わります。また、雰囲気温度が極低温および極高温の場合は、ハーモニックドライブ® 各部の材質についても検討が必要です。弊社へご相談ください。

・ハーモニックグリース® 4B No.2 は、低温時の粘度上昇によるハーモニックドライブ® のランニングトルク増加、高温時の酸化劣化によるグリース寿命を考慮していただければ、使用可能温度範囲で使用できます。

高温用潤滑剤

表 019-2

潤滑の種類	潤滑剤とメーカー	使用可能温度範囲
グリース	モービルグリース 28 : モービル石油	-5℃～+160℃
オイル	モービル SHC-626 : モービル石油	-5℃～+140℃

低温用潤滑剤

表 019-3

潤滑の種類	潤滑剤とメーカー	使用可能温度範囲
グリース	マルテンプ SH-KII : 協同油脂	-30℃～+50℃
	イソフレックス LDS-18 スペシャル A : NOK クリューバ	-25℃～+80℃
オイル	SH-200-100CS : トーレシリコン	-40℃～+140℃
	シンテッソ D-32EP : NOK クリューバ	-25℃～+90℃

食品機械用潤滑剤**ハーモニックグリース® HFL-1**

- ・SK-1A、SK-2 と同等の寿命 / 効率特性
- ・NSF H1 認証済み

カテゴリ : Non-Foodcompound H-1

登録番号 : 156753

※ ハーモニックドライブ® へ食品機械用グリースをご検討の際は弊社営業所へお問い合わせください。

剛性について

サーボシステムにおいては、駆動系の剛性やバックラッシは、システムの性能に大きく影響します。装置の設計および型番選定の際、これらの項目について、詳細な検討が必要です。

■剛性

入力側（ウェーブ・ジェネレータ）を固定し、出力側（フレクスプライン）にトルクを加えると、出力側はトルクにほぼ比例したねじれを生じます。

図020-1は、出力側に加えるトルクをゼロからスタートさせ、プラス側およびマイナス側に、それぞれ $+T_0$ から $-T_0$ まで増減させたときの、出力側のねじれ角量を図に描いたものです。これを『トルク — ねじれ角線図』と称し、通常0 — A — B — A' — B' — Aのループを描きます。ハーモニックドライブ®の剛性は、『トルク — ねじれ角線図』の傾きを、ばね定数として表わします。（単位：N・m/rad）

図020-2に示すように、この『トルク — ねじれ角線図』を3つに区分し、それぞれの領域でのばね定数を K_1 ・ K_2 ・ K_3 として表わします。

K_1 ……トルクが『ゼロ』から $[T_1]$ までのばね定数

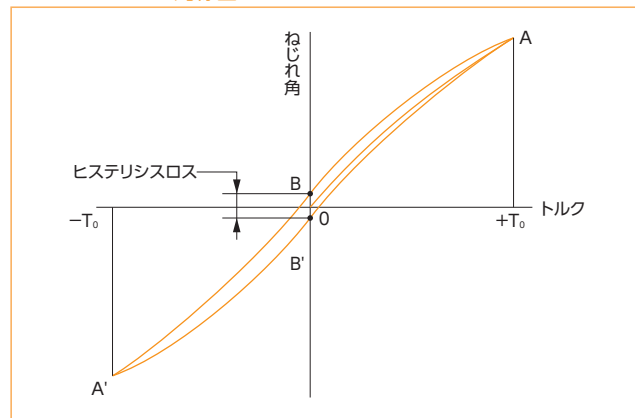
K_2 ……トルクが $[T_1]$ から $[T_2]$ までのばね定数

K_3 ……トルクが $[T_2]$ 以上の領域のばね定数

■各ばね定数（ K_1, K_2, K_3 ）の値およびトルク—ねじれ角（ $T_1, T_2, \theta_1, \theta_2$ ）の値は、各シリーズのページを参照ください。

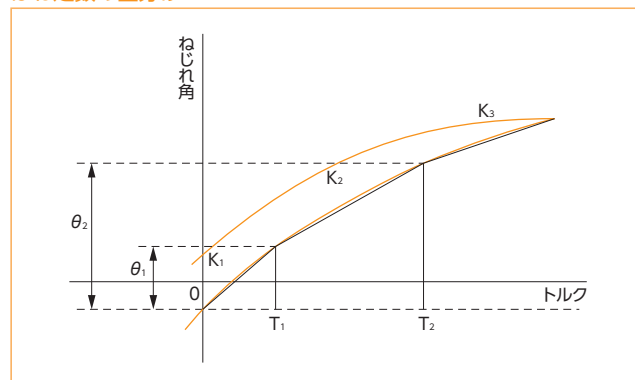
トルク — ねじれ角線図

図 020-1



ばね定数の区分け

図 020-2



■ねじれ量の計算例

CSF-25-100-2A-GRを例に上げて、ねじれ量（ θ ）を求めます。

負荷トルクが極端に小さい $T_{L1}=2.9\text{N}\cdot\text{m}$ の場合

トルクが T_1 以下であるので、ねじれ量 θ_{L1} は、

$$\begin{aligned}\theta_{L1} &= T_{L1} / K_1 \\ &= 2.9 / 3.1 \times 10^4 \\ &= 9.4 \times 10^{-5} \text{rad} \quad (0.33 \text{ arc-min})\end{aligned}$$

負荷トルクが $T_{L2}=39\text{N}\cdot\text{m}$ の場合

トルクが T_1 と T_2 の間にあるので、ねじれ量 θ_{L2} は、

$$\begin{aligned}\theta_{L2} &= \theta_1 + (T_{L2} - T_1) / K_2 \\ &= 4.4 \times 10^{-4} + (39 - 14) / 5.0 \times 10^4 \\ &= 9.4 \times 10^{-4} \text{rad} \quad (3.2 \text{ arc-min})\end{aligned}$$

なお、負荷を正逆に加えたときの総ねじれ量は、上記で求めた値の2倍にバックラッシ量をプラスした値となります。

※このねじれ量はコンポネント単体の値です。
出力軸等のねじれ量は含みませんので、ご注意ください。

■ヒステリシスロス

図020-1の線図に見られるように、トルクを定格まで加えたあと、『ゼロ』に戻した場合、ねじれ角は完全に『ゼロ』にならないで、わずかな量が残ります（B — B'）。これをヒステリシスロスと呼びます。

■ヒステリシスロス量は、各シリーズのページを参照ください。

■バックラッシ

ヒステリシスロスは、主に内部摩擦によって生じるため、トルクがきわめて小さい場合にはほとんどなく、わずかな遊びのみが線図に表われます。この量をバックラッシ量として表わします。ハーモニックドライブ®は、歯の噛みあい部の遊びを『ゼロ』に抑えていますので、バックラッシ量としては、ウェーブ・ジェネレータのオルダムカップリング（自動調心機構）のクリアランスによるものです。リジットタイプには、クリアランスがありません。入力側を固定して出力側で測定した値は、各シリーズのページに示すように、きわめて小さくなっています。

※バックラッシ量は、各シリーズのページを参照ください。

角度伝達精度

角度伝達精度は、任意の回転角を入力に与えたときの、理論上回転する出力の回転角度と実際に回転した出力の回転角度との差を、角度伝達誤差として表わします。

■角度伝達精度の値は、各シリーズのページを参照ください。

測定例

グラフ 021 -1

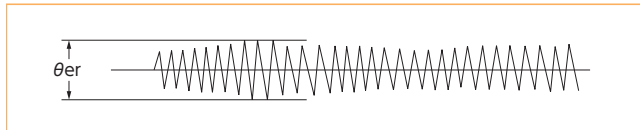


表 021-1

θ_{er}	角度伝達誤差
θ_1	入力回転角度
θ_2	実際の出力回転角度
R	ハーモニックドライブ®の減速比 (i = 1:R)

計算式 021 -1

$$\theta_{er} = \theta_2 - \frac{\theta_1}{R}$$

振動について

ハーモニックドライブ®のもつ角度伝達誤差成分は、負荷側イナーシャの回転振動として現れる場合があります。

特にハーモニックドライブ®を含めた振動系の固有振動数と、筐体または負荷イナーシャの固有振動数が重なり合う場合は共振状態となり、ハーモニックドライブ®の角度伝達誤差成分が増幅されますので、各シリーズの設計ガイドを厳守してください。

なお、ハーモニックドライブ®の角度伝達誤差成分は、ハーモニックドライブ®の機構上から入力軸 1 回転につき 2 回の誤差成分が主となります。そのため誤差の主成分の周波数は入力周波数の 2 倍となります。

仮にハーモニックドライブ®を含めた振動系の固有振動数が $f=15\text{Hz}$ の場合、そのときの入力回転速度 (N) は

計算式 021 -2

$$N = \frac{15}{2} \cdot 60 = 450\text{r/min}$$

となり、その回転速度域 (450r/min) にて共振状態が発生します。

ハーモニックドライブ®を含めた振動系の固有振動数の求め方 (概略)

計算式 021 -3

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{J}}$$

計算式の記号

表 021-2

f	ハーモニックドライブ®を含めた振動系の固有振動数	Hz	
K	ハーモニックドライブ®のばね定数	N·m/rad	各シリーズのページ参照
J	負荷イナーシャ	kg·m ²	

起動トルクについて

起動トルクとは、ハーモニックドライブ®をケースに組み込み、入力側（高速側）にトルクを加えたとき、出力側（低速側）が回転を始める瞬間の『起動開始トルク』を言います。各シリーズの表の値は最大値を示し、下限値は、最大値に対しておおむね 1/2～1/3 程度を表します。

測定条件 無負荷，周囲温度：+20℃

■起動トルクの値は、各シリーズのページを参照ください。

※各シリーズの表の値は、使用条件により変化しますので参考値としてご使用ください。

増速起動トルクについて

増速起動トルクとは、ハーモニックドライブ®をケースに組み込み、出力側（低速側）にトルクを加えたとき、入力側（高速側）が回転を始める瞬間の『起動開始トルク』を言います。各シリーズの表の値は最大値を示し、下限値は最大値に対しておおむね 1/2 程度を表します。

測定条件 無負荷，周囲温度：+20℃

■増速起動トルクの値は、各シリーズのページを参照ください。

※各シリーズの表の値は、使用条件により変化しますので参考値としてご使用ください。

無負荷ランニングトルク

無負荷ランニングトルクとは、無負荷状態でハーモニックドライブ®を回すために必要な入力側（高速軸側）のトルクを言います。本カタログに示す無負荷ランニングトルクのグラフは、表 023-1 の測定条件によります。減速比 100 以外の減速比については、各シリーズに示す補正量を加算してください。

■無負荷ランニングトルクの値は、各シリーズのページを参照ください。

測定条件

表 023-1

減速比 100			
潤滑条件	グリース 潤滑	名称	ハーモニックグリース® SK-1A
			ハーモニックグリース® SK-2
		塗布量	適正塗布量 (各シリーズのページ参照)
トルク値は入力 2000r/min にて 2 時間以上ならし運転した後の値			

※オイル潤滑の場合は、お問い合わせください。

効率特性

効率は以下の条件によって異なります。

- 減速比
- 入力回転速度
- 負荷トルク
- 温度
- 潤滑条件（潤滑の種類とその量）

本カタログに示す各シリーズの効率特性は、表 023-2 の測定条件によります。

■効率の値は、各シリーズのページを参照ください。

測定条件

表 023-2

組み込み	推奨組み込み精度に組み込んだ測定		
負荷トルク	定格表に示す定格トルク (各シリーズのページ参照)		
潤滑条件	グリース 潤滑	名称	ハーモニックグリース® SK-1A
		塗布量	適正塗布量 (各シリーズのページ参照)

※オイル潤滑の場合は、お問い合わせください。

■効率補正係数

負荷トルクが定格トルクより小さい場合は、効率の値が下がります。各シリーズの効率補正係数グラフより補正係数 K_e を求め、次の計算例を参考に効率を求めてください。

計算例

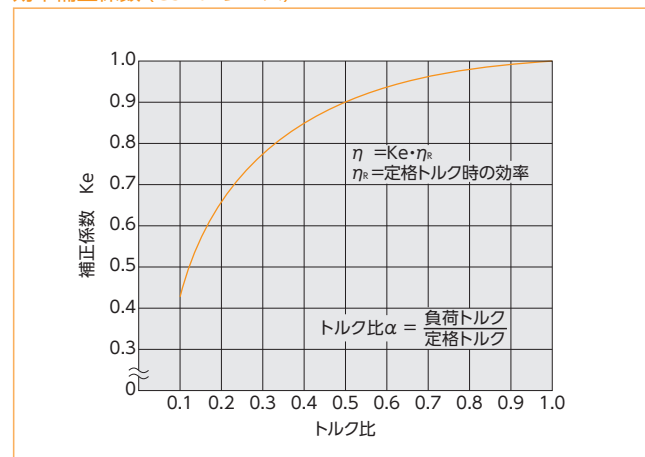
CSF-20-80-2A-GR を例に上げて、以下の条件での効率 η (%) を求めます。
 入力回転速度：1000r/min
 負荷トルク 19.6N·m
 潤滑方法：グリース潤滑（ハーモニックグリース® SK-1A）
 潤滑剤温度：20℃
 型番 20・減速比 80 の定格トルクは 34N·m（定格表：ページ 039）
 です。トルク比 α は、0.58 です。（ $\alpha = 19.6/34 = 0.58$ ）

■効率補正係数 K_e は、グラフ 023-1 より、 $K_e = 0.93$

■負荷トルク 19.6N·m 時の効率 η は、
 $\eta = K_e \cdot \eta_R = 0.93 \times 78 = 73\%$ となります。

効率補正係数 (CSF シリーズ)

グラフ 023-1



※負荷トルクが定格トルクより大きい場合の効率補正係数は、 $K_e = 1$ となります。

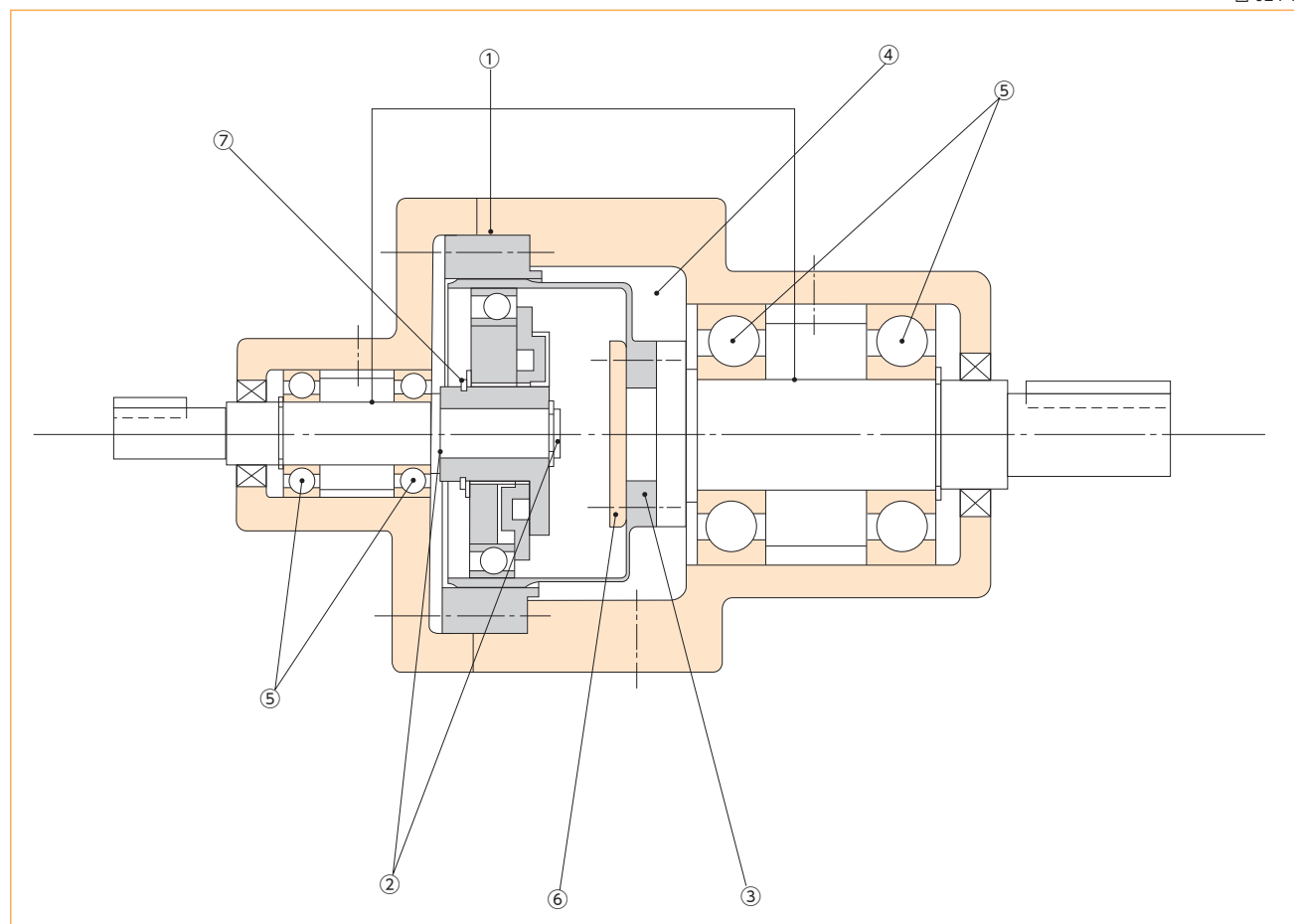
設計上の注意

設計ガイドライン

ハーモニックドライブ®の性能を十分に発揮させるために、次の点にご注意ください。

- ①入力軸、サーキュラスプライン、出力軸およびケースを同心としてください。
- ②ウェーブ・ジェネレータにはスラスト力が発生します。入力軸はその力を支持できる構造としてください。スラスト力についてはページ027をご参照ください。
- ③ハーモニックドライブ®は、小型で大きなトルクを伝達しますので、フレックスプラインと出力軸を連結するボルト部には、それに見合った締付けトルクで締結してください。
- ④フレックスプラインは弾性変形するため、ケース内壁の寸法は推奨寸法としてください。
- ⑤入力軸と出力軸は必ず適正な軸受間隔のある2点支持とし、軸に働くラジアル荷重、スラスト荷重を全て受け持つ構造で、ウェーブ・ジェネレータとフレックスプラインに余計な力が加わらないようにしてください。
- ⑥フレックスプラインの取り付け用フランジ径は、フレックスプラインのボス径を超えないようにし、ダイヤフラムに接するフランジ部には、「R」をつけるようにしてください。各部分の寸法は推奨寸法としてください。
- ⑦ウェーブ・ジェネレータ・ハブの止めにC形止め輪を使用していますので、止め輪フック部がケースに干渉しないようにしてください。

図 024-1



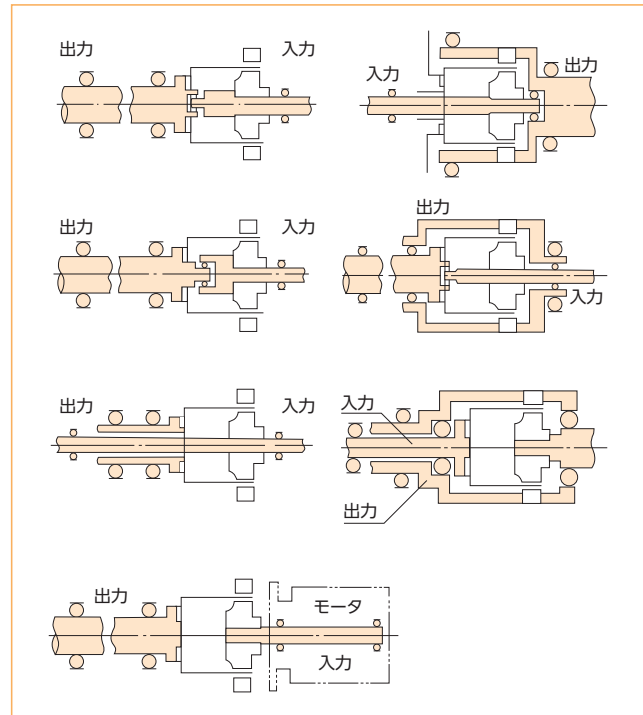
入力と出力軸のベアリング支持

コンポネントタイプは、外部からの負荷に耐えるため、入力軸と出力軸は必ず適正な軸受間隔のある2点支持とし、軸に働くラジアル荷重、スラスト荷重を全て受け持つ構造で、ウェーブ・ジェネレータとフレクスプラインに余計な力が加わらないようにしてください。

また、ベアリングはすき間を除去するために、ラジアル方向およびスラスト方向に予圧されたベアリングをご使用ください。

図025-1にベアリング配置例を示します。

図 025-1

Component Type
コンポネントタイプUnit Type
ユニットタイプDifferential Gear
デファレンシャルギヤGear Head Type
ギヤヘッドタイプ

ウェーブ・ジェネレータについて

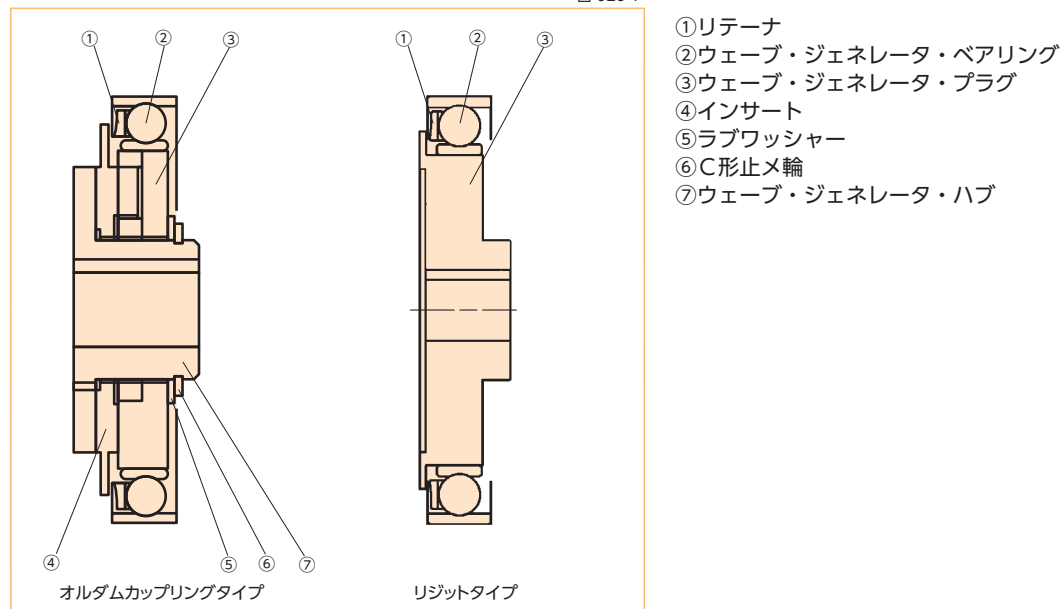
■ウェーブ・ジェネレータの構造

ハーモニックドライブ®のウェーブ・ジェネレータには、自動調心構造のオルダムカップリングタイプと自動調心構造のない一体型のリジットタイプがあり、各シリーズにより異なります。

詳細は各シリーズの外形図を参照ください。

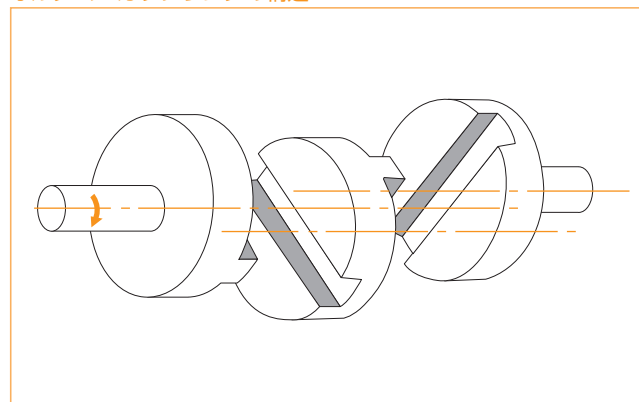
ウェーブ・ジェネレータの基本的な構造および形状を次に示します。

図 026-1



オルダム・カップリングの構造

図 026-2



■コンポネントタイプの最大穴径寸法

ウェーブ・ジェネレータの標準穴径は、各外形寸法図の通りですが、表に示す最大寸法までの範囲で変えることが可能です。
この場合のキー溝寸法は、JIS規格を推奨します。キーの有効長さ寸法は、伝達トルクに十分耐える値にしてください。

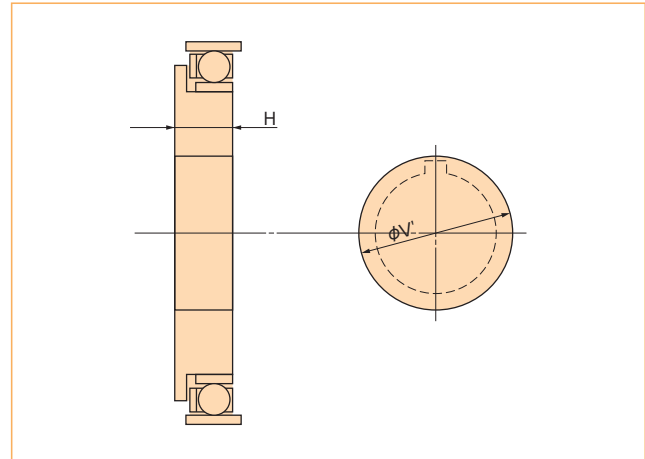
※形状をテーパ穴等の、特殊形状にすることも可能です。

穴径を最大寸法より大きくしたい場合は、オルダム カップリング機構をなくして、使用する方法があります。
この場合の最大穴径は、負荷トルクによるウェーブ・ジェネレータ・プラグの変形等を考慮して、下に示す表の値までとなります。(この値は、キー溝深さ等の寸法を含む値です。)

これ以上の穴径をご要望の際は、お問い合わせください。

ウェーブ・ジェネレータの穴径

図 027-1



ウェーブ・ジェネレータ・ハブの穴径

表 027-1
単位: mm

型番	8	11	14	17	20	25	32	40	45	50	58	65	80	90	100
標準寸法 (H7)	3	5	6	8	9	11	14	14	19	19	22	24	28	28	28
下穴寸法	—	—	3	4	5	6	6	10	10	10	13	16	16	19	22
最大寸法	—	—	8	10	13	15	15	20	20	20	25	30	35	37	40

ウェーブ・ジェネレータ・プラグを直接入力軸に取り付ける場合のプラグ最大穴径

表 027-2
単位: mm

型番	8	11	14	17	20	25	32	40	45	50	58	65	80	90	100
最大穴径 φV'	10	14	17	20	23	28	36	42	47	52	60	67	72	84	95
最小プラグ厚さ $\frac{0}{-0.1}$	5.7	6.7	7.2	7.6	11.3	11.3	13.7	15.9	17.8	19	21.4	23.5	28.5	31.3	34.9

■ウェーブ・ジェネレータのスラスト力と軸の固定

ハーモニックドライブ®は、フレクスプラインの弾性変形により運転中にウェーブ・ジェネレータにスラスト力が働きます。
減速機 (ページ 010 の①, ②, ③) として使用する場合のスラスト力は、フレクスプラインのダイアフラム方向に働きます。(図 027-2)

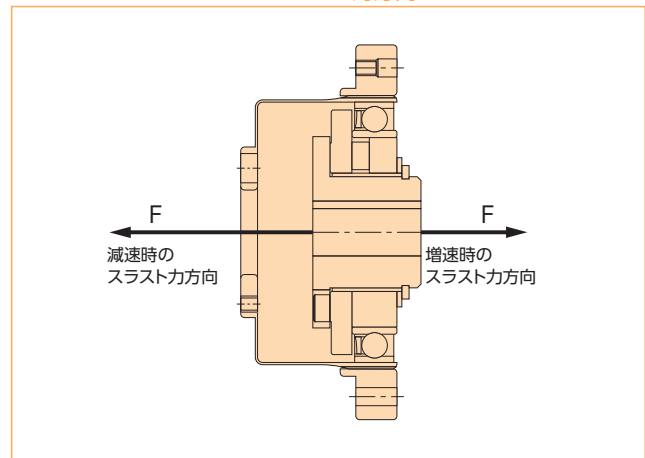
また、増速機 (ページ 010 の④, ⑤, ⑥) として使用する場合のスラスト力は、減速時と反対方向に働きます。(図 027-2)

ウェーブ・ジェネレータのスラスト力 (最大値) は、下記の計算式により求める事ができます。なお、スラスト力は運転条件により変化します。高トルク時、極低速時および一定連続回転時には大きくなる傾向を示し、ほぼ計算式の値となります。いずれの場合にもウェーブ・ジェネレータのスラスト力を止める設計を行ってください。

(注) ウェーブ・ジェネレータ・ハブに止めネジを設けて、入力軸と固定する場合は、必ずお問い合わせください。

ウェーブ・ジェネレータのスラスト力方向

図 027-2



スラスト力の計算式

表 027-3

減速比	計算式
30	$F = 2 \times \frac{T}{D} \times 0.07 \times \tan 32^\circ$
50	$F = 2 \times \frac{T}{D} \times 0.07 \times \tan 30^\circ$
80以上	$F = 2 \times \frac{T}{D} \times 0.07 \times \tan 20^\circ$

計算式の記号

表 027-4

F	スラスト力	N	図 027-2 参照
D	(型番) $\times 0.00254$	m	
T	出力トルク	N·m	

計算例

計算式 027-1

機種名: CSF シリーズ
型番: 32
減速比: 50
出力トルク: 382 N·m (瞬間許容最大トルク)

$$F = 2 \times \frac{382}{(32 \times 0.00254)} \times 0.07 \times \tan 30^\circ$$

$$F = 380 \text{ N}$$

組み込み上の注意

シール機構

グリス漏れの防止およびハーモニックドライブ®の高耐久性を維持するために以下のシール機構が必要となります。

- ・回転摺動部……………オイルシール（スプリング入り）。その際、軸側のキズ等に注意してください。
- ・フランジ合わせ面、嵌め合い………Ｏリング、シール剤。その際、平面のゆがみ、Ｏリングの噛み込みに注意してください。
- ・ネジ穴部……………シール効果のあるネジロック剤（ロックタイト 242 推奨）またはシールテープを使用。

（注）特にハーモニックグリス®4BNo.2をご使用の場合は、上記を励行してください。

ユニットタイプにおけるシール箇所と推奨シール方法

表 028-1

シール必要箇所		推奨シール方法
出力側	出力フランジ中央の貫通穴および出力フランジ合わせ面	Ｏリング使用（弊社製品添付）
	取り付けネジ部	シール効果のあるネジロック剤（ロックタイト 242 推奨）
入力側	フランジ合わせ面	Ｏリング使用（弊社製品添付）
	モータ出力軸	オイルシール付を選定ください。オイルシール無しの場合は、モータ取り付けフランジにオイルシールを取り付ける構造としてください。

組み込み上の注意点

ハーモニックドライブ®は、組み込み時の不具合により、振動・異音などを発生する場合があります。次の注意点を踏まえ、組み込みを行ってください。

■ウェーブ・ジェネレータの注意点

1. ウェーブ・ジェネレータ・ベアリング部へ過度な力が掛かる組み込みは避けてください。ウェーブ・ジェネレータを回転させる事によりスムーズに挿入することができます。
2. オルダム機構の無いウェーブ・ジェネレータの場合には、特に、心ずれ、倒れの影響が推奨値内（各シリーズの「組み込み精度」参照）におさまるようご注意ください。

■サーキュラ・スプラインの注意点

1. 取り付け面の平面度が悪く、歪んでいないか。
2. ねじ穴部の盛り上がり、バリ残り、異物の噛み込みがないか。
3. ハウス組み込み部にサーキュラ・スプラインコーナー部に干渉しないだけの面取りおよび隅のにげ加工がされているか。
4. ハウスにサーキュラ・スプラインを組み込んだ状態で、回転することが出来るか、干渉し引かかる部分はないか。
5. 取り付け用のボルト穴へボルトを挿入したときに、ボルト穴の位置度が悪い、ボルト穴が倒れて加工されているなどの要因によって、ボルトがサーキュラ・スプラインと干渉し、ボルトの回転が重くなる事はないか。
6. ボルトは一度に規定トルクで締結はしないでください。規定トルクの半分程度で仮締結を行い、その後規定トルクで締結してください。また、ボルト締結の順序は、常に対角線上を結んで行ってください。
7. サーキュラ・スプラインへのピン打ちは回転精度低下のため出来るだけ避けてください。

■フレクスプラインの注意点

1. 取り付け面の平面度が悪く、歪んでいないか。
2. ねじ穴部の盛り上がり、バリ残り、異物の噛み込みがないか。
3. ハウス組み込み部にフレクスプラインコーナー部に干渉しないだけの面取りおよび隅のにげ加工がされているか。
4. 取り付け用のボルト穴へボルトを挿入したときに、ボルト穴の位置度が悪い、ボルト穴が倒れて加工されているなどの要因によって、ボルトがフレクスプラインと干渉し、ボルトの回転が重くなる事はないか。
5. ボルトは一度に規定トルクで締結はしないでください。規定トルクの半分程度で仮締結を行い、その後規定トルクで締結してください。また、ボルト締結の順序は、常に対角線上を結んで行ってください。
6. サーキュラ・スプラインと組み合わせたときに、極端に片側に寄って噛み合っていないか。片側に寄っている場合は、両部品の心ずれや倒れが考えられます。
7. フレクスプライン組み込み時には、開口部の歯の先端を叩いたり、過度な力で押し込む事は避けてください。

■防錆対策について

ハーモニックドライブ®の表面には、防錆処理を施していません。防錆が必要な場合には、防錆剤を表面へ塗布してください。なお、弊社にて防錆の表面処理を行う場合には、お問い合わせください。

※ 321 ページの「ハーモニックドライブ® コンポネント&ユニットを安全にお使いいただくために」も合わせてご覧ください。

デドイダル状態

フレクスプラインとサーキュラ・スプラインは図029-1のように、対称に歯が噛みあうのが正常です。しかし、ページ013に述べたラッチェティング現象を起こしたり、三部品を無理に押し込んで組み付けたりしたような場合には、図029-2のように歯のかみあいが、片方に寄ってしまうことがあります。これをデドイダル状態と称しています。デドイダルを起こしたまま運転すると、フレクスプラインが早期疲労破壊を起こしますので、ご注意ください。

■デドイダルのチェック方法

デドイダルの有無については、次の方法で確認してください。

①ウェーブ・ジェネレータを回したときのトルクムラによって判別する方法

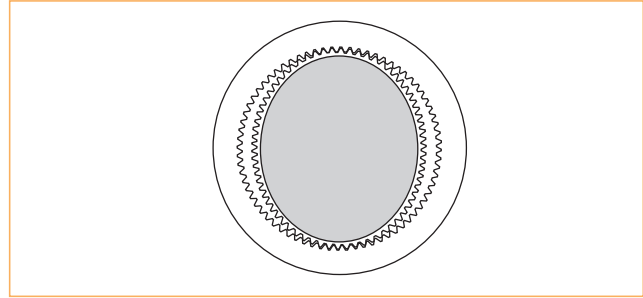
- 1) 無負荷状態で、入力軸を軽く手で回してください。平均した力で回れば正常です。もし極端にムラがあるときは、デドイダルを起こしている可能性があります。
- 2) ウェーブ・ジェネレータがモータに取り付けてある場合には、無負荷で回転させてください。モータの平均電流値が、正常な噛みあい時の値に対し、約2～3倍の値ですとデドイダルの可能性があります。

②フレクスプラインの胴部の振れを測定して判別する方法

正常に組み込まれた場合のダイヤルゲージの振れは、グラフ029-1に示す実線のように正弦波を描きますが、デドイダルを起こしている場合は、フレクスプラインが片方に寄っていますので、破線で示す振れを描きます。

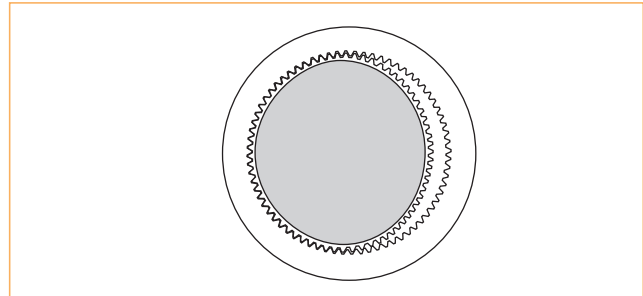
正常な噛みあいの状態

図 029-1



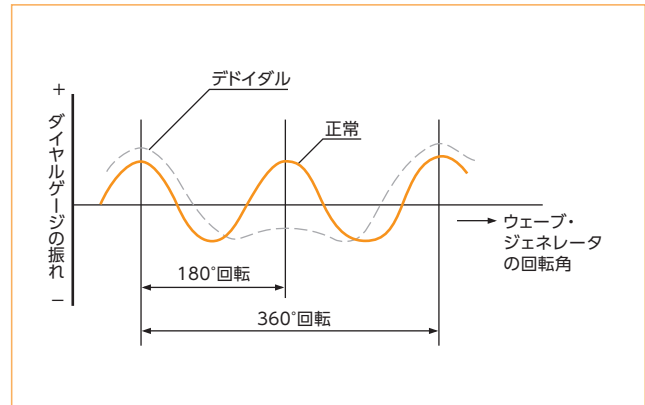
デドイダルの状態

図 029-2



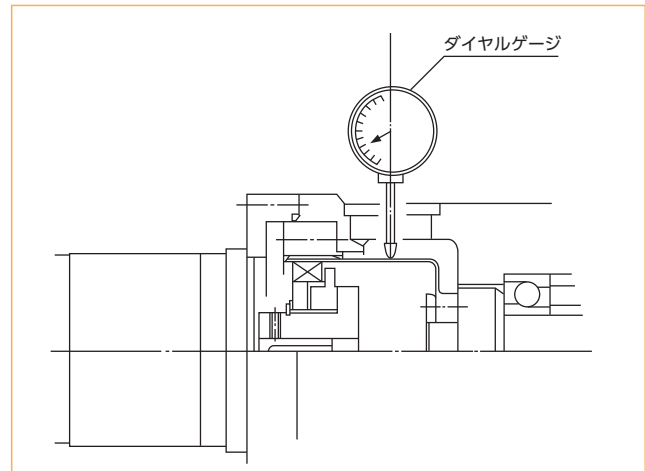
ダイヤルゲージの振れ

グラフ 029-1



フレクスプラインの胴部の振れを測定

図 029-3



主軸受の確認

ユニットタイプおよびギヤヘッドタイプには、外部負荷（出力フランジ部）の直接支持に、精密クロスローラ・ベアリングを組み込んでいます。（CSF-miniシリーズは精密4点接触ボールベアリング）ユニットタイプの性能を十分発揮させるために、最大負荷モーメント荷重、ベアリングの寿命および静的安全係数の確認を行ってください。

■主軸受の仕様は、各シリーズのページを参照ください。

確認手順

①最大負荷モーメント荷重 (M_{max}) の確認

最大負荷モーメント荷重 (M_{max}) を求める

最大負荷モーメント荷重 (M_{max}) \leq 許容モーメント (M_c)

②寿命の確認

平均ラジアル荷重 (F_{rav})、平均アキシャル荷重 (F_{aav}) を求める

ラジアル荷重係数 (X)、アキシャル荷重係数 (Y) を求める

寿命を計算し確認

③静的安全係数の確認

静等価ラジアル荷重 (P_o) を求める

静的安全係数 (f_s) を確認

最大負荷モーメント荷重の求め方

最大負荷モーメント荷重 (M_{max}) の求め方を次に示します。
 $M_{max} \leq M_c$ であることを確認してください。

計算式 030-1

$$M_{max} = F_{rmax}(L_r + R) + F_{amax} \cdot L_a$$

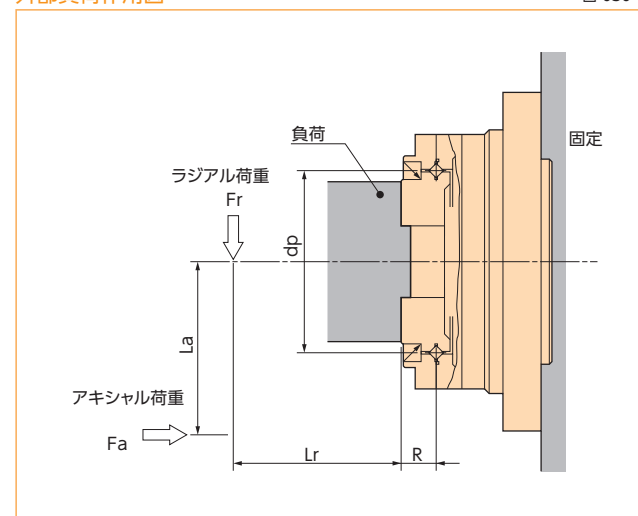
計算式 030-1 記号

表 030-1

F_{rmax}	最大ラジアル荷重	N (kgf)	図 030-1 参照
F_{amax}	最大アキシャル荷重	N (kgf)	図 030-1 参照
L_r, L_a	—	m	図 030-1 参照
R	オフセット量	m	図 030-1、各シリーズの「主軸受の仕様」参照

外部負荷作用図

図 030-1



平均荷重の求め方

(平均ラジアル荷重・平均アキシャル荷重・平均出力回転数)
ラジアル荷重、アキシャル荷重が変動する場合は、平均荷重に換算して、ベアリングの寿命確認を行います。

平均ラジアル荷重 (F_{rav}) の求め方

計算式 031-1

グラフ 031-1

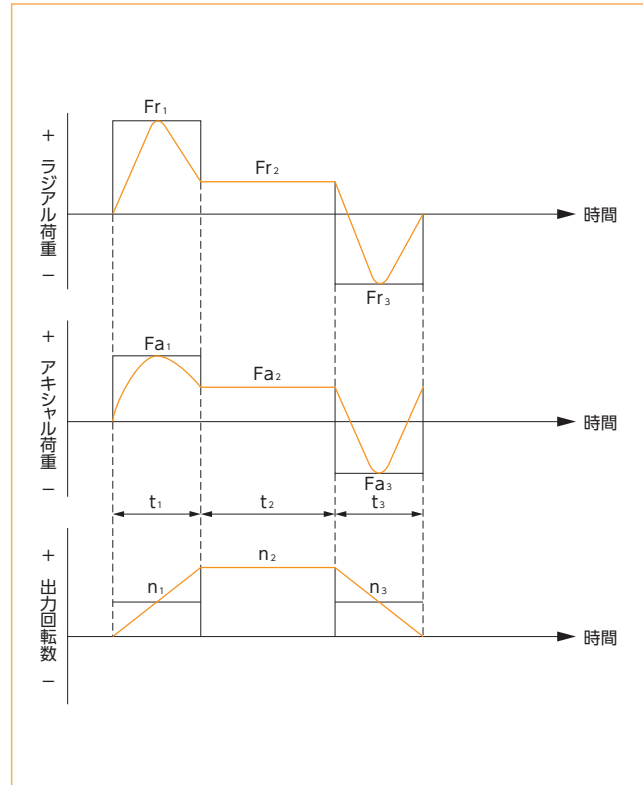
(クロスローラ・ベアリング)

$$F_{rav} = \sqrt[10/3]{\frac{n_1 t_1 (IFr_1)^{10/3} + n_2 t_2 (IFr_2)^{10/3} \dots + n_n t_n (IFr_n)^{10/3}}{n_1 t_1 + n_2 t_2 \dots + n_n t_n}}$$

(4点接触ベアリング)

$$F_{rav} = \sqrt[3]{\frac{n_1 t_1 (IFr_1)^3 + n_2 t_2 (IFr_2)^3 \dots + n_n t_n (IFr_n)^3}{n_1 t_1 + n_2 t_2 \dots + n_n t_n}}$$

ただし、 t_1 区間での最大ラジアル荷重を Fr_1 、 t_3 区間での最大ラジアル荷重を Fr_3 とします。

平均アキシャル荷重 (F_{aav}) の求め方

計算式 031-2

(クロスローラ・ベアリング)

$$F_{aav} = \sqrt[10/3]{\frac{n_1 t_1 (IFa_1)^{10/3} + n_2 t_2 (IFa_2)^{10/3} \dots + n_n t_n (IFa_n)^{10/3}}{n_1 t_1 + n_2 t_2 \dots + n_n t_n}}$$

(4点接触ベアリング)

$$F_{aav} = \sqrt[3]{\frac{n_1 t_1 (IFa_1)^3 + n_2 t_2 (IFa_2)^3 \dots + n_n t_n (IFa_n)^3}{n_1 t_1 + n_2 t_2 \dots + n_n t_n}}$$

ただし、 t_1 区間でのアキシャル荷重を Fa_1 、 t_3 区間での最大アキシャル荷重を Fa_3 とします。

平均出力回転数 (N_{av}) の求め方

計算式 031-3

$$N_{av} = \frac{n_1 t_1 + n_2 t_2 \dots + n_n t_n}{t_1 + t_2 \dots + t_n}$$

ラジアル荷重係数 (X)、スラスト荷重係数 (Y) の求め方

計算式 031-4

荷重係数の求め方	X	Y
$\frac{F_{aav}}{F_{rav} + 2(F_{rav}(Lr+R) + F_{aav} \cdot La)/dp} \leq 1.5$	1	0.45
$\frac{F_{aav}}{F_{rav} + 2(F_{rav}(Lr+R) + F_{aav} \cdot La)/dp} > 1.5$	0.67	0.67

計算式 031-4 の記号

表 031-1

F_{rav}	平均ラジアル荷重	N (kgf)	「平均荷重の求め方」参照 (計算式 031-1 参照)
F_{aav}	平均アキシャル荷重	N (kgf)	「平均荷重の求め方」参照 (計算式 031-2 参照)
Lr, La	—	m	図 030-1 参照
R	オフセット量	m	図 030-1、各シリーズの「主軸受の仕様」参照
dp	コロのピッチ円径	m	図 030-1、各シリーズの「主軸受の仕様」参照

寿命の求め方

ベアリングの寿命は、計算式 032-1 より求めず。
動等価ラジアル荷重 (Pc) は、計算式 032-2 より求めることができます。

計算式 032-1

(クロスローラ・ベアリング)

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \times N_{av}} \times \left(\frac{C}{f_w \cdot P_c} \right)^{10/3}$$

(4点接触ベアリング)

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \times N_{av}} \times \left(\frac{C}{f_w \cdot P_c} \right)^3$$

計算式 032-1 の記号

表 032-1

L ₁₀	寿命	hour	——
N _{av}	平均出力回転速度	r/min	「平均荷重の求め方」参照
C	基本動定格荷重	N (kgf)	各シリーズの「主軸受の仕様」参照
P _c	動等価ラジアル荷重	N (kgf)	計算式 032-2 参照
f _w	荷重係数	——	表 032-3 参照

荷重係数

表 032-3

荷重状態	f _w
衝撃・振動のない平滑運転時	1～1.2
普通の運転時	1.2～1.5
衝撃・振動をともなう運転時	1.5～3

計算式 032-2

$$P_c = X \cdot \left(F_{rav} + \frac{2(F_{rav}(L_r + R) + F_{aav} \cdot L_a)}{d_p} \right) + Y \cdot F_{aav}$$

計算式 032-2 の記号

表 032-2

F _{rav}	平均ラジアル荷重	N (kgf)	「平均荷重の求め方」参照 (計算式 031-1 参照)
F _{aav}	平均アキシャル荷重	N (kgf)	「平均荷重の求め方」参照 (計算式 031-2、参照)
d _p	コロのピッチ円径	m	図 030-1、各シリーズの 「主軸受の仕様」参照
X	ラジアル荷重係数	——	計算式 031-4 参照
Y	アキシャル荷重係数	——	計算式 031-4 参照
L _r , L _a	——	m	図 030-1 参照
R	オフセット量	m	図 030-1、各シリーズの 「主軸受の仕様」参照

揺動運動するときの寿命の求め方

揺動運動するときのベアリングの寿命は、計算式033-1より求めます。

図 033-1

計算式 033-1

(クロスローラ・ベアリング)

$$L_{oc} = \frac{10^6}{60 \times n_1} \times \frac{90}{\theta} \times \left(\frac{C}{f_w \cdot P_c} \right)^{10/3}$$

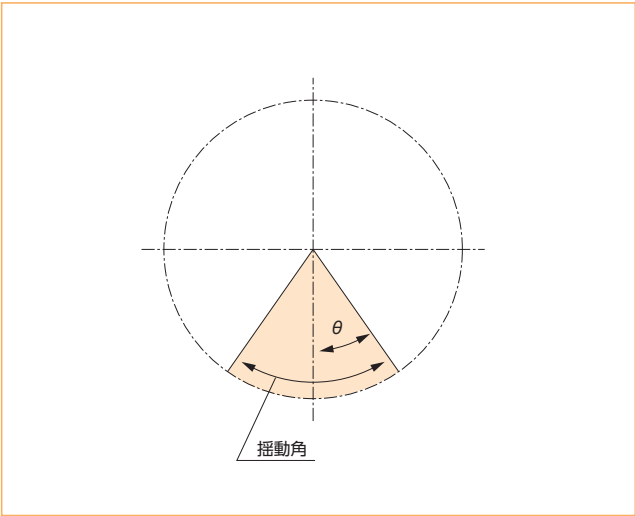
(4点接触ベアリング)

$$L_{oc} = \frac{10^6}{60 \times n_1} \times \frac{90}{\theta} \times \left(\frac{C}{f_w \cdot P_c} \right)^3$$

計算式033-1の記号

表 033-1

Loc	揺動運動時定格寿命	hour	—
n1	毎分の往復揺動回数	cpm	—
C	基本動定格荷重	N (kgf)	各シリーズの「主軸受の仕様」参照
Pc	動等価ラジアル荷重	N (kgf)	計算式032-2参照
fw	荷重係数	—	表032-3参照
θ	揺動角／2	度	図033-1参照



(注) 揺動角が小さい(5°以下)場合は、軌道輪と転動体の接触面に油膜が形成されにくくフレッチングを生じることがありますので、弊社へご相談ください。

静的安全係数の求め方

一般には、基本静定格荷重 (Co) を静等価荷重の許容限度と考えますが、使用条件や要求される条件によってその限度を求めます。
この場合ベアリングの静的安全係数 (fs) は、計算式 034-1 で求めます。
使用条件の一般的な値を表 034-3 に示します。 静等価ラジアル荷重 (Po) は、計算式 034-2 より求めることができます。

計算式 034-1

$$f_s = \frac{C_o}{P_o}$$

計算式 034-2

$$P_o = F_{rmax} + \frac{2M_{max}}{d_p} + 0.44F_{amax}$$

計算式 034-1 の記号

表 034-1

Co	基本静定格荷重	N (kgf)	各シリーズの「主軸受の仕様」参照
Po	静等価ラジアル荷重	N (kgf)	計算式 034-2 参照

計算式 034-2 の記号

表 034-2

F _{rmax}	最大ラジアル荷重	N (kgf)	ページ 030 「最大負荷モーメント荷重の 求め方」参照
F _{amax}	最大アキシャル荷重	N (kgf)	
M _{max}	最大負荷モーメント荷重	N・m (kgf・m)	
d _p	コロのピッチ円径	m	図 030-1, 各シリーズの 「主軸受の仕様」参照

静的安全係数

表 034-3

軸受の使用条件	f _s
高い回転精度を必要とする場合	≧3
振動、衝撃のある場合	≧2
普通の運転条件の場合	≧1.5