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

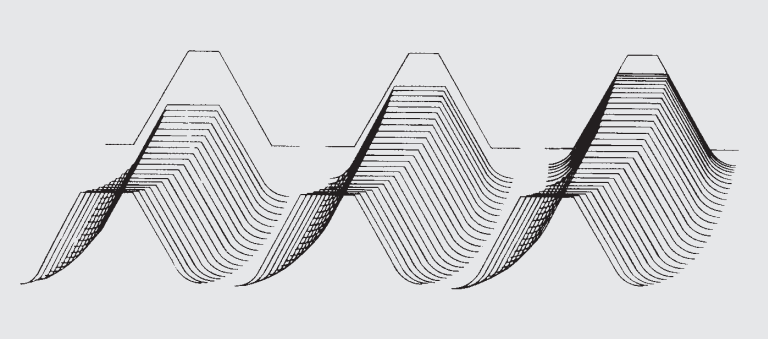
IH歯形は、独創的なメカニズムを持つハーモニックドライブ®のために、最も適した歯形を追求して考案されたものです。 歯形はIH歯形独自の特殊曲線で、歯形どうしの連続接触を可能にしています。また、歯厚に対して歯溝の幅を広く、歯底のRを大きく取ることにより、応力集中を緩和しました。 図は、固定したサーキュラ・スプラインの歯に対して、弾性変形を繰り返すフレクスプラインの歯が移動する様子を示したものです。

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。

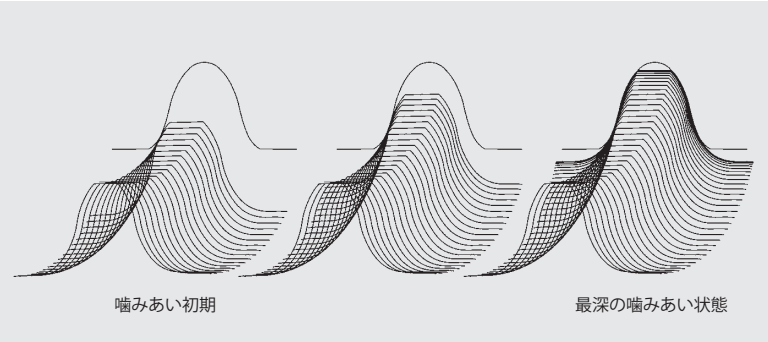
※特許取得済

歯の噛みあいの経路　図 009-1

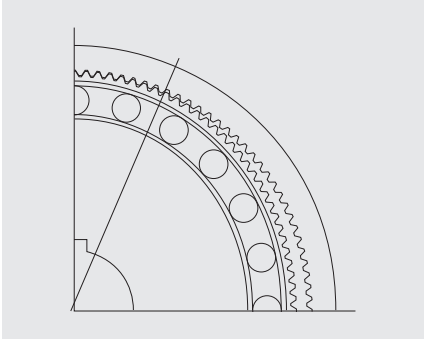
従来の歯形

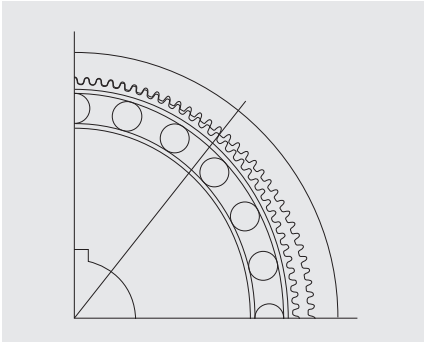


IH歯形



歯の噛みあい領域　図 009-2





回転方向と減速比

カップ型

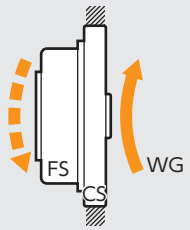
カップ型ハーモニックドライブ®の回転方向と減速比を次に示します。
なお、カップ型ハーモニックドライブ®は次の各シリーズです。
CSG、CSF、CSD、CSF-mini、CSF-GH

■回転方向

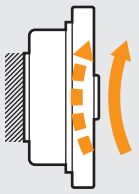
図 010-1



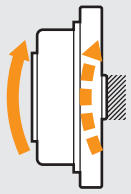
入力　出力
(注) ⑤⑥の増速装置として使用する場合はお問い合わせください。



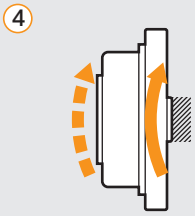
①減速装置
入力:ウエーブ・ジェネレータ(WG)
出力:フレクスプライン(FS)
固定:サーキュラ・スプライン(CS)
$i=\frac{-1}{R}$



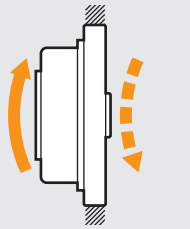
②減速装置
入力:ウエーブ・ジェネレータ
出力:サーキュラ・スプライン
固定:フレクスプライン
$i=\frac{1}{R+1}$



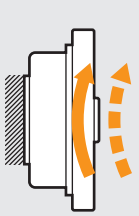
③減速装置
入力:フレクスプライン
出力:サーキュラ・スプライン
固定:ウエーブ・ジェネレータ
$i=\frac{R}{R+1}$



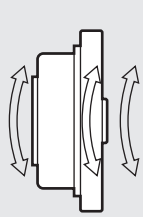
④増速装置
入力:サーキュラ・スプライン
出力:フレクスプライン
固定:ウエーブ・ジェネレータ
$i=\frac{R+1}{R}$



⑤増速装置
入力:フレクスプライン
出力:ウエーブ・ジェネレータ
固定:サーキュラ・スプライン
$i=-R$



⑥増速装置
入力:サーキュラ・スプライン
出力:ウエーブ・ジェネレータ
固定:フレクスプライン
$i=R+1$



⑦差動装置
ウエーブ・ジェネレータ、フレクスプライン、サーキュラ・スプラインの3点が全て回転する場合は①～⑥までの組合わせとなります。

※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 :Zf
サーキュラ・スプラインの歯数 :Zc

「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:ウエーブ・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 $i_1=\frac{1}{R_1}=\frac{Zf-Zc}{Zf}$

▶入力:ウエーブ・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:ウエーブ・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 $i_2=\frac{1}{R_2}=\frac{Zc-Zf}{Zc}$

▶入力:ウエーブ・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_1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

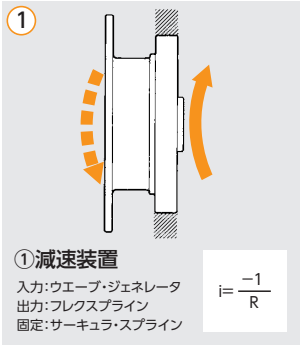
■回転方向

図 011-1

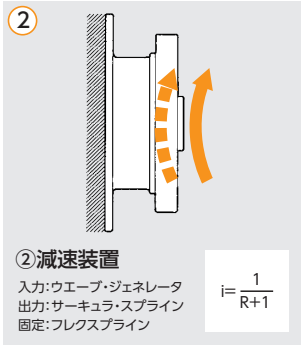


入力　出力

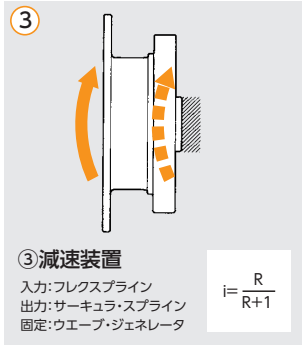
(注) ⑤⑥の増速装置として使用する場合はお問い合わせください。



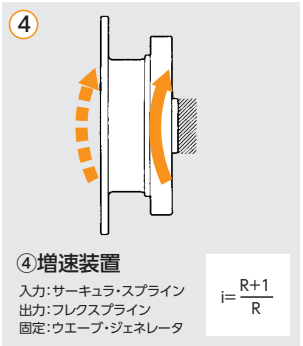
①減速装置
入力:ウエーブ・ジェネレータ
出力:フレクスプライン
固定:サーキュラ・スプライン
$i=\frac{-1}{R}$



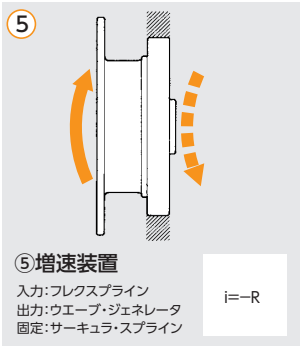
②減速装置
入力:ウエーブ・ジェネレータ
出力:サーキュラ・スプライン
固定:フレクスプライン
$i=\frac{1}{R+1}$



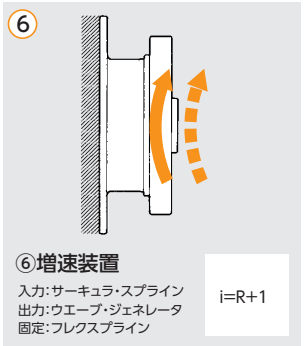
③減速装置
入力:フレクスプライン
出力:サーキュラ・スプライン
固定:ウエーブ・ジェネレータ
$i=\frac{R}{R+1}$



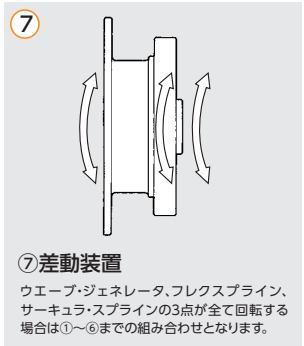
④増速装置
入力:サーキュラ・スプライン
出力:フレクスプライン
固定:ウエーブ・ジェネレータ
$i=\frac{R+1}{R}$



⑤増速装置
入力:フレクスプライン
出力:ウエーブ・ジェネレータ
固定:サーキュラ・スプライン
$i=-R$



⑥増速装置
入力:サーキュラ・スプライン
出力:ウエーブ・ジェネレータ
固定:フレクスプライン
$i=R+1$



⑦差動装置
ウエーブ・ジェネレータ、フレクスプライン、サーキュラ・スプラインの3点が全て回転する場合は①～⑥までの組み合わせとなります。

※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 :Zf
サーキュラ・スプラインの歯数 :Zc

▶入力:ウエーブ・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 $i_1=\frac{1}{R_1}=\frac{Zf-Zc}{Zf}$

▶入力:ウエーブ・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 $i_2=\frac{1}{R_2}=\frac{Zc-Zf}{Zc}$

「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:ウエーブ・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:ウエーブ・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_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

定格表の用語

ハーモニックドライブ®の定格表は、6つの値プラス慣性モーメントから成り立っています。
定格表の値は各シリーズのページを参照ください。

■定格トルク
入力回転速度が2000r/minの場合の許容連続負荷トルクを表わします。

■起動・停止時の許容ピークトルク（グラフ012-1参照）
起動・停止の際、負荷慣性モーメントによって、定常トルクより大きな荷重がハーモニックドライブ®にかかってきます。
定格表の値は、その時のピークトルクの許容値です。

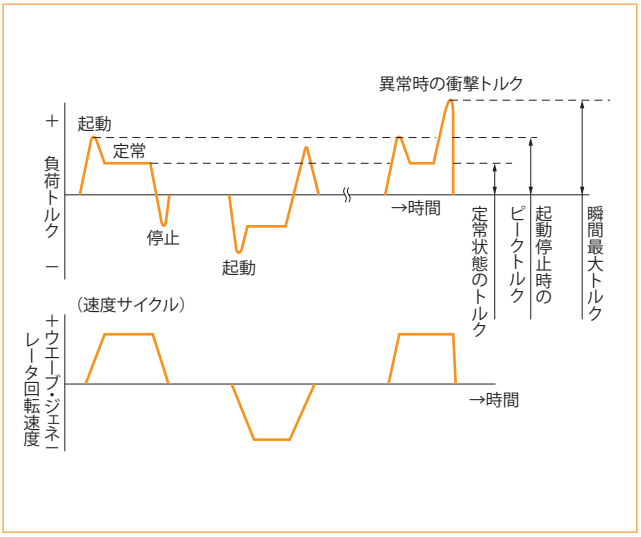
■平均負荷トルクの許容最大値
負荷トルクや入力回転速度が変化する場合には、負荷トルクの平均値を求める必要があります。
定格表の値は、その平均負荷トルクの許容値を表わします。
平均負荷トルク（計算式：ページ014）が定格表の値を超えると、発熱によって潤滑剤の早期劣化や、歯の磨耗が著しく進みます。十分ご注意ください。

■瞬間許容最大トルク（グラフ012-1参照）
通常負荷トルクや起動・停止時の負荷トルク以外に、外部から予期しない衝撃トルクがかかる場合があります。 衝撃トルクの最大値は定格表の瞬間最大トルクを超えてはいけません。
なお、衝撃トルクがかかる頻度には、制限を設けています。「寿命について」「強度について」の項を参照ください。
又、このトルクがかかる可能性がある場合は、各シリーズの「フレクスプラインのボルト締め付け」のページを参照ください。

■許容最高入力回転速度、許容平均入力回転速度
入力回転速度は、定格表に示す許容値を超えないようにご使用ください。
（平均入力回転速度の計算式：ページ014）

■慣性モーメント
各型番のウェーブ・ジェネレータ軸における、慣性モーメントを表わします。

負荷トルクパターン例　グラフ012-1



寿命について

■ウェーブ・ジェネレータの寿命
ハーモニックドライブ®の寿命は、ウェーブ・ジェネレータ・ベアリングの寿命により決定します。一般のボール・ベアリングと同様、回転速度と負荷トルクにより算出できます。

表 012-1

	寿命時間	
シリーズ名	CSF,CSD,SHF,SHD, CSF-mini,CSF-GH	CSG,SHG
L_{10}（10%破損確率）	7,000時間	10,000時間
L_{50}（平均寿命）	35,000時間	50,000時間

※定格表記載の定格回転速度・定格トルクにおいての寿命です。

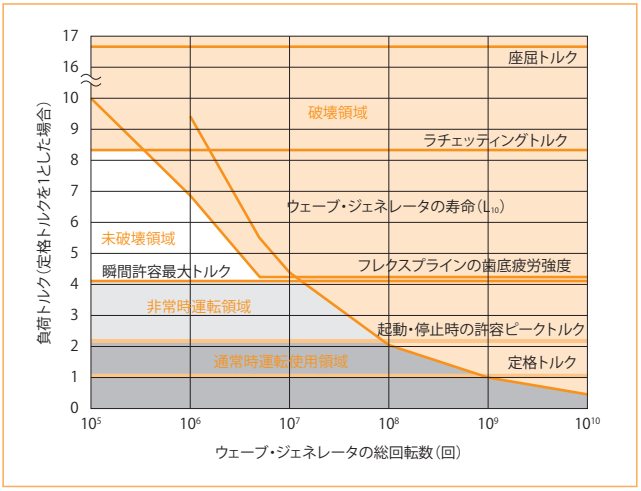
実際の運転条件による寿命時間（Lh）の計算式　計算式012-1

$$Lh = Ln \cdot \left(\frac{Tr}{Tav}\right)^3 \left(\frac{Nr}{Nav}\right)$$

表 012-2

Ln	L_{10} または L_{50} のときの寿命時間
Tr	定格トルク
Nr	定格回転速度
Tav	出力側における平均負荷トルク（計算式：ページ014）
Nav	平均入力回転速度（計算式：ページ014）

ハーモニックドライブ®の強度と寿命の関係図　グラフ012-2



（注）
ハーモニックドライブ®は「通常運転使用領域」内でご使用ください。「通常運転使用領域」を超えてのご使用は、ハーモニックドライブ®の早期破損につながります。
※上記グラフには歯面摩耗などの潤滑寿命は、考慮していません。
※上記グラフは参考値としてください。

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

$$N=\frac{1.0\times10^4}{2\times\frac{n}{60}\times t}$$

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。	

注 意	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。

警 告	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

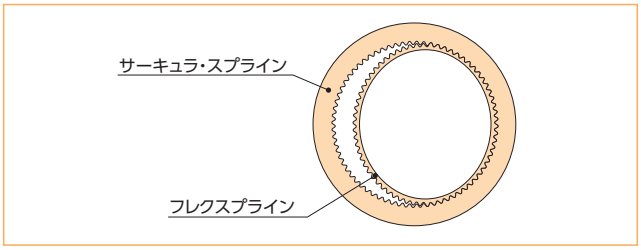
運転中に過度な衝撃トルクがかかったとき、フレクスプライン等が破損しないで、サーキュラ・スプラインとフレクスプラインの歯のかみあいが瞬間的にずれてしまうことがあります。 この現象をラチェッティング、このときのトルクをラチェッティングトルク（値は各シリーズのページ参照）と呼びます。 ラチェッティングを起こしたままで運転すると、ラチェッティング発生時の摩滅粉などの影響で、歯の早期摩耗やウェーブ・ジェネレータ・ベアリングの早期寿命を招いてしまいます。

※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。

注 意	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。

注 意	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います。 この点についても、十分ご留意ください。

歯の噛みあいが片側にずれた状態　　図 013-1



この状態をデドイダルと称します。

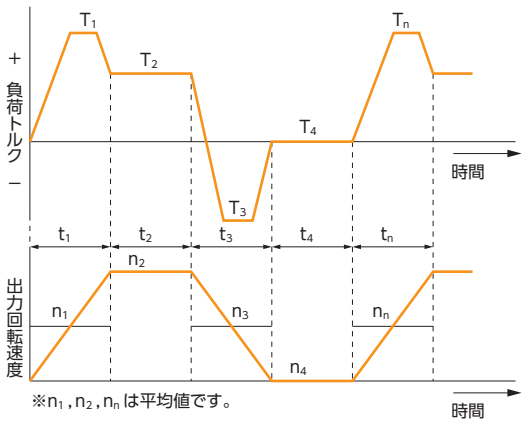
型番の選定

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、型番の選定を行ないます。
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（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)

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

次の条件で型番の仮選定を行う。T_{av} ≦ 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)

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

減速比(R)を決める。
ni *max*はモータなどで制限されます。

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

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)

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

運転条件または型番の再検討

NG 仮選定した型番が定格表の ni *av* ≦ 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*≦ 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_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。

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。 $N_S = \frac{10^4}{2 \cdot \frac{n_S \cdot R}{60} \cdot t}$ (回)……$N_S \leqq 1.0 \times 10^4$(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

■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)

<通常運転パターン>

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

<最高回転速度>

最高出力回転速度　no $_{max}$ = 14 r/min
最高入力回転速度　ni $_{max}$ = 1800 r/min
(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=500N·m、t_s=0.15sec、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)

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

次の条件で型番の仮選定を行う。T_{av} =319N·m≦451N·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039 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:no $_{av}$ (r/min)

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

減速比(R)を決める。

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

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)

$$ni_{av} = 12r/min\cdot 120 = 1440r/min$$

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)

$$ni_{max} = 14r/min\cdot 120 = 1680r/min$$

仮選定した型番が定格表の値以内であるか確認する。
ni $_{av}$ =1440r/min≦3600r/min(型番40の許容平均入力回転速度)
ni $_{max}$=1680r/min≦5600r/min(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 =400N·m≦617N·m(型番40の起動・停止時の許容ピークトルク)
T_3 =200N·m≦617N·m(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=500N·m≦1180N·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。

$$N_S = \frac{10^4}{2\cdot\frac{14r/min\cdot 120}{60}\cdot 0.15sec} = 1190 \leqq 1.0\times10^4(回)$$

NG

OK

寿命時間を算出する。

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

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時間≧7000(ウェーブ・ジェネレータの寿命時間:L_{10})

NG

OK

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り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
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℃
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。

(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

グリース仕様　表 016-4

グリース	SK-1A	SK-2	4B No.2
基油	精製鉱物油	精製鉱物油	合成炭化水素油
増ちょう剤	リチウム石けん基	リチウム石けん基	ウレア
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
NLGI ちょう度No.	No.2	No.2	No.1.5
ちょう度 (25℃)	265～295	265～295	290～320
滴点	197℃	198℃	247℃
外観	黄色	緑色	淡黄色
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

■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。一般的なご使用には、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 016-5

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 016-6

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

グリース特性　表 016-7

グリース	SK-1A	SK-2	4B No.2
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

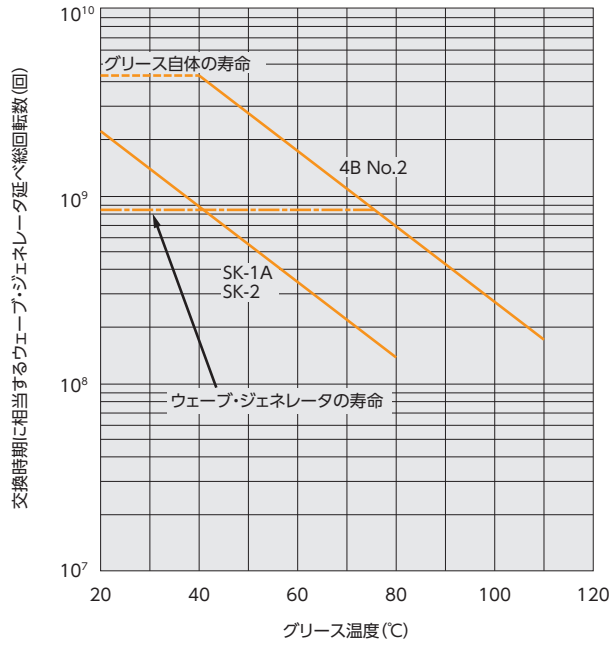
$$L_{GT}=L_{GTn} \times \left(\frac{Tr}{T_{av}}\right)^3$$

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
Tr	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℃

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℃

・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ので、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。

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。

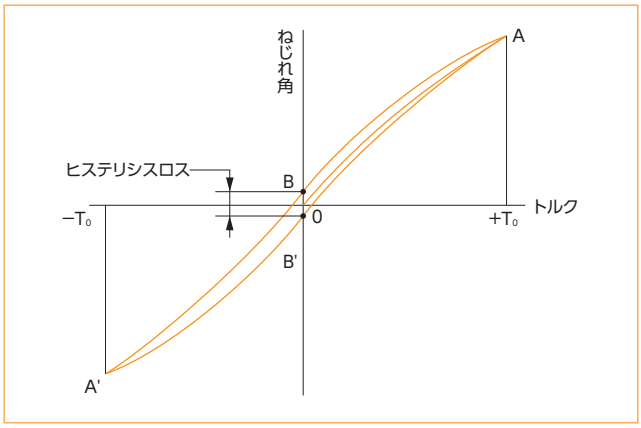
■剛 性

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。

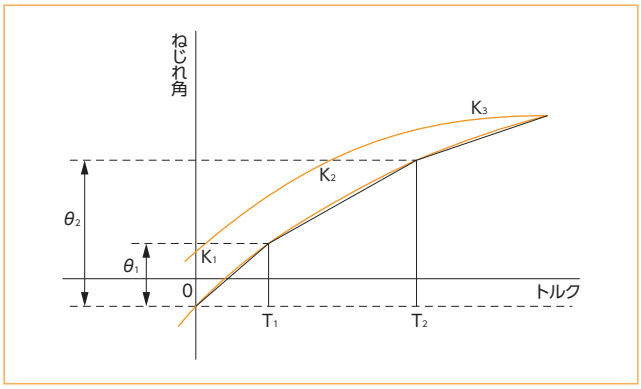
K_1……トルクが『ゼロ』から『T_1』までのばね定数
K_2……トルクが『T_1』から『T_2』までのばね定数
K_3……トルクが『T_2』以上の領域のばね定数

■各ばね定数（K_1,K_2,K_3）の値およびトルクーねじれ角（T_1,T_2−θ_1, θ_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}=2.9N·mの場合
トルクがT_1以下であるので、ねじれ量θ_{L1}は、

$\theta_{L1}=T_{L1}/K_1$
$=2.9/3.1\times10^4$
$=9.4\times10^{-5}$rad (0.33 arc-min)

負荷トルクがT_{L2}=39N·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、

$\theta_{L2}=\theta_1+(T_{L2}-T_1)/K_2$
$=4.4\times10^{-4}+(39-14)/5.0\times10^4$
$=9.4\times10^{-4}$rad (3.2 arc-min)

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

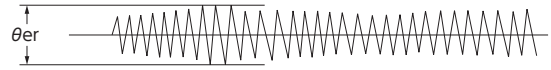


表 021-1

θer	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=15Hz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·m²	

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での測定		
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
			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）

※オイル潤滑の場合は、お問い合せください。

■効率補正係数

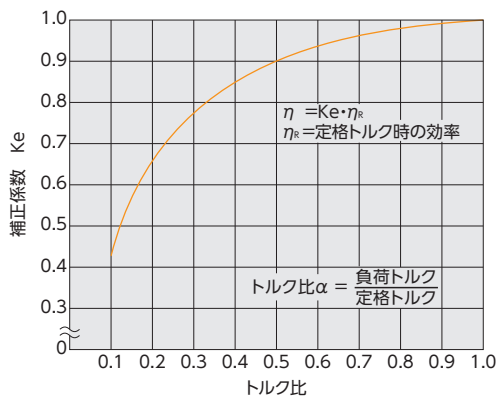
負荷トルクが定格トルクより小さい場合は、効率の値が下がります。
各シリーズの効率補正係数グラフより補正係数Keを求め、次の計算例を参考に効率を求めてください。

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）ですので、トルク比αは、0.58です。（α=19.6/34=0.58）

■効率補正係数Keは、グラフ023-1より、Ke=0.93
■負荷トルク19.6N·m時の効率ηは、
η=Ke·ηR=0.93×78=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、Ke=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。

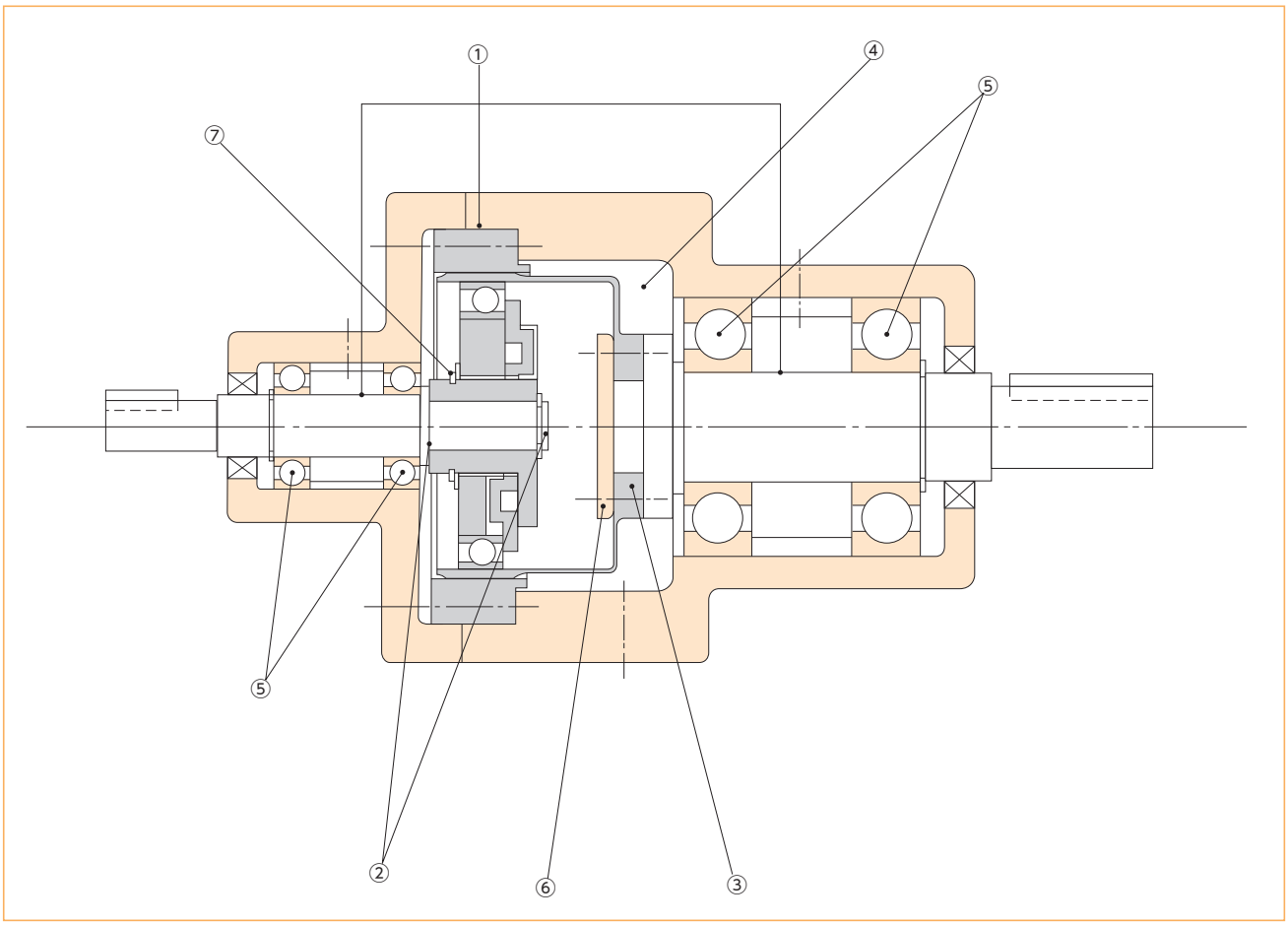
④フレクスプラインは弾性変形するため、ケース内壁の寸法は推奨寸法としてください。

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フレクスプラインの取り付け用フランジ径は、フレ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。

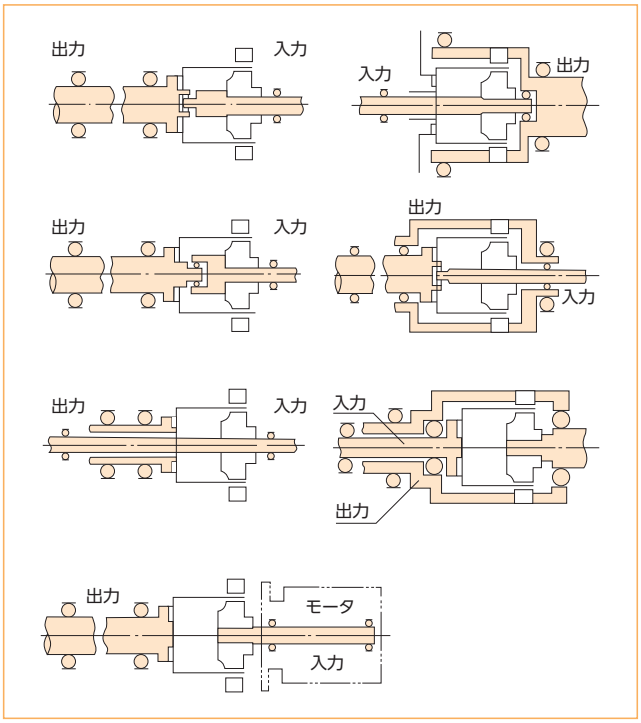
図 024-1



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

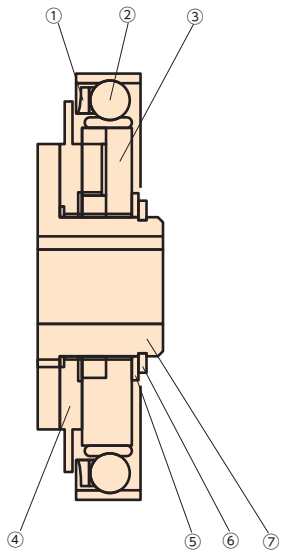


ウェーブ・ジェネレータについて

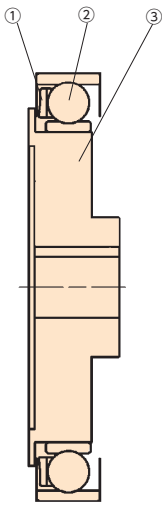
■ウェーブ・ジェネレータの構造

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タイプ

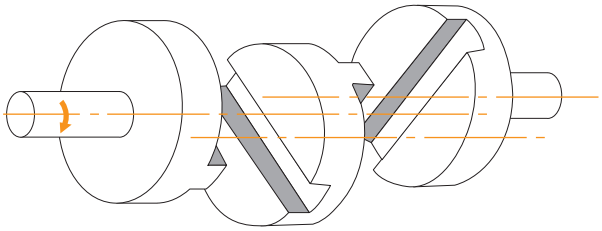


リジットタイプ

①リテーナ
②ウェーブ・ジェネレータ・ベアリング
③ウェーブ・ジェネレータ・プラグ
④インサート
⑤ラブワッシャー
⑥C形止メ輪
⑦ウェーブ・ジェネレータ・ハブ

オルダム・カップリングの構造

図 026-2



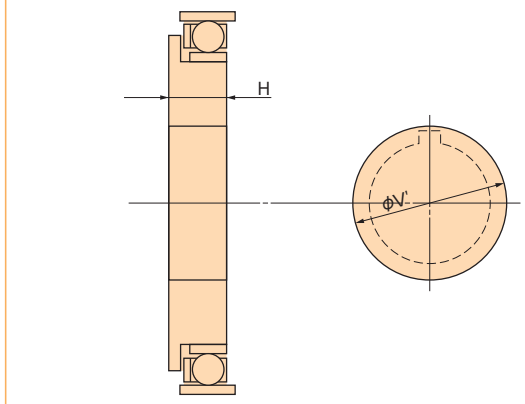
■コンポネントタイプの最大穴径寸法

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

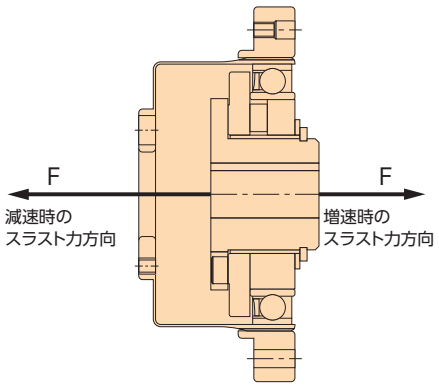
型番	8	11	14	17	20	25	32	40	45	50	58	65	80	90	100
最大穴径φV'	10	14	17	20	23	28	36	42	47	52	60	67	72	84	95
最小プラグ厚さ $^{0}_{-0.1}$	5.7	6.7	7.2	7.6	11.3	11.3	13.7	15.9	17.8	19	21.4	23.5	28.5	31.3	34.9

■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	$F=2\times\frac{T}{D}\times0.07\times\tan 32^\circ$
50	$F=2\times\frac{T}{D}\times0.07\times\tan 30^\circ$
80以上	$F=2\times\frac{T}{D}\times0.07\times\tan 20^\circ$

計算式の記号　表 027-4

F	スラスト力	N	図027-2参照
D	(型番) ×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:382N·m (瞬間許容最大トルク)

$$F=2\times\frac{382}{(32\times0.00254)}\times0.07\times\tan 30^\circ$$

$$F=380N$$

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ース®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個所と推奨シール方法　表 028-1

シール必要個所		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、干渉し引っ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に述べたラチェッ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で運転すると、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

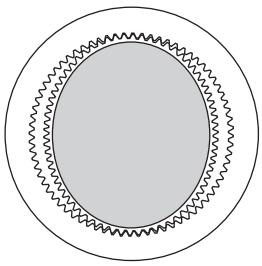
1) 無負荷状態で、入力軸を軽く手で回してください。平均した力で回れば正常です。もし極端にムラがあるときは、デドイダルを起こしている可能性があります。

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、正常なか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。

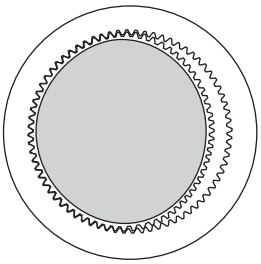
②フレクスプラインの胴部の振れを測定して判別する方法

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。

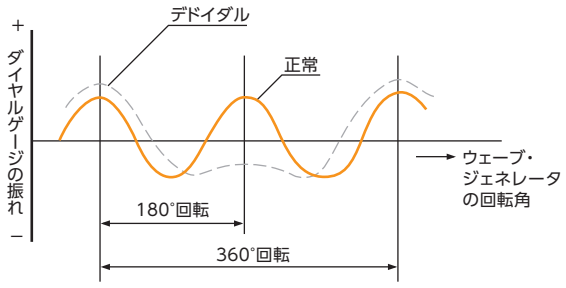
正常な噛みあいの状態　図 029-1



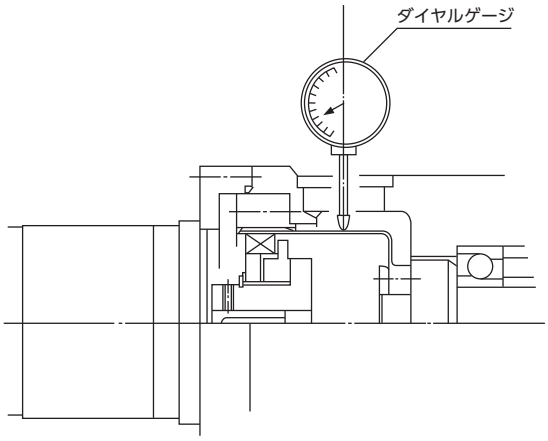
デドイダルの状態　図 029-2



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*）≦許容モーメント（Mc）

②寿命の確認

平均ラジアル荷重（Fr*av*）、平均アキシャル荷重（Fa*av*）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（Po）を求める → 静的安全係数（fs）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* ≦ Mcであることを確認してください。

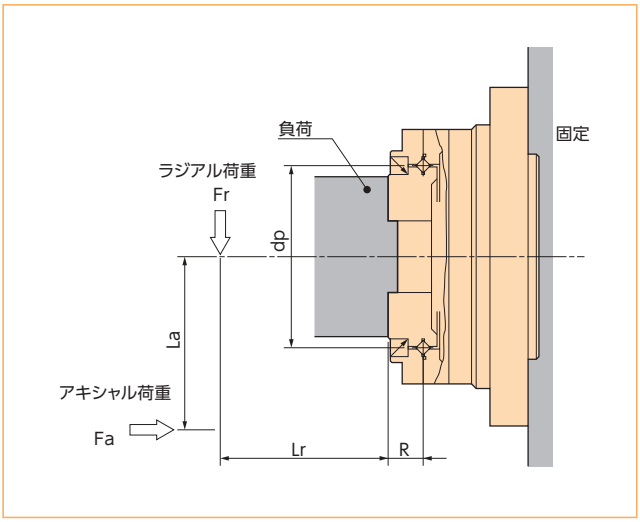
計算式030-1

$$M_{max} = Fr_{max}(Lr+R) + Fa_{max} \cdot La$$

計算式030-1 記号　表 030-1

Fr*max*	最大ラジアル荷重	N (kgf)	図030-1参照
Fa*max*	最大アキシャル荷重	N (kgf)	図030-1参照
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

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 (Fr$_{av}$) の求め方

計算式031-1

(クロスローラ・ベアリング)

$$Fr_{av} = \sqrt[10/3]{\frac{n_1t_1(|Fr_1|)^{10/3} + n_2t_2(|Fr_2|)^{10/3} \cdots + n_nt_n(|Fr_n|)^{10/3}}{n_1t_1 + n_2t_2 \cdots + n_nt_n}}$$

(4点接触ベアリング)

$$Fr_{av} = \sqrt[3]{\frac{n_1t_1(|Fr_1|)^3 + n_2t_2(|Fr_2|)^3 \cdots + n_nt_n(|Fr_n|)^3}{n_1t_1 + n_2t_2 \cdots + n_nt_n}}$$

ただし、t_1区間内での最大ラジアル負荷をFr_1、t_3区間内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 (Fa$_{av}$) の求め方

計算式031-2

(クロスローラ・ベアリング)

$$Fa_{av} = \sqrt[10/3]{\frac{n_1t_1(|Fa_1|)^{10/3} + n_2t_2(|Fa_2|)^{10/3} \cdots + n_nt_n(|Fa_n|)^{10/3}}{n_1t_1 + n_2t_2 \cdots + n_nt_n}}$$

(4点接触ベアリング)

$$Fa_{av} = \sqrt[3]{\frac{n_1t_1(|Fa_1|)^3 + n_2t_2(|Fa_2|)^3 \cdots + n_nt_n(|Fa_n|)^3}{n_1t_1 + n_2t_2 \cdots + n_nt_n}}$$

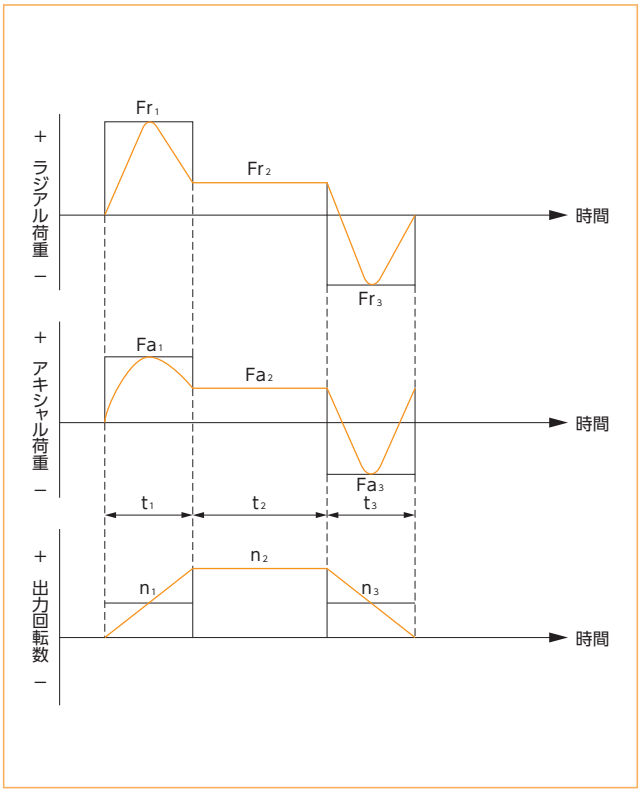
ただし、t_1区間内でのアキシャル荷重をFa_1、t_3区間内での最大アキシャル荷重をFa_3とします。

平均出力回転数 (N$_{av}$) の求め方

計算式031-3

$$N_{av} = \frac{n_1t_1 + n_2t_2 \cdots + n_nt_n}{t_1 + t_2 \cdots + t_n}$$

グラフ031-1



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
$\frac{Fa_{av}}{Fr_{av}+2\ (Fr_{av}(Lr+R)\ +\ Fa_{av}\cdot La)/dp} \leqq 1.5$	1	0.45
$\frac{Fa_{av}}{Fr_{av}+2\ (Fr_{av}(Lr+R)\ +\ Fa_{av}\cdot La)/dp} > 1.5$	0.67	0.67

計算式031-4の記号

表 031-1

Fr$_{av}$	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)
Fa$_{av}$	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より求めす。
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)

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

(4点接触ベアリング)

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

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
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

荷重係数

表 032-3

荷重状態	fw
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

$$Pc = X \cdot \left(Fr_{av} + \frac{2(Fr_{av}(Lr + R) + Fa_{av} \cdot La)}{dp} \right) + Y \cdot Fa_{av}$$

計算式032-2の記号

表 032-2

Fr_{av}	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)
Fa_{av}	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)
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
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
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

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。

計算式033-1

(クロスローラ・ベアリング)

$$Loc = \frac{10^6}{60 \times n1} \times \frac{90}{\theta} \times \left(\frac{C}{fw \cdot Pc}\right)^{10/3}$$

(4点接触ベアリング)

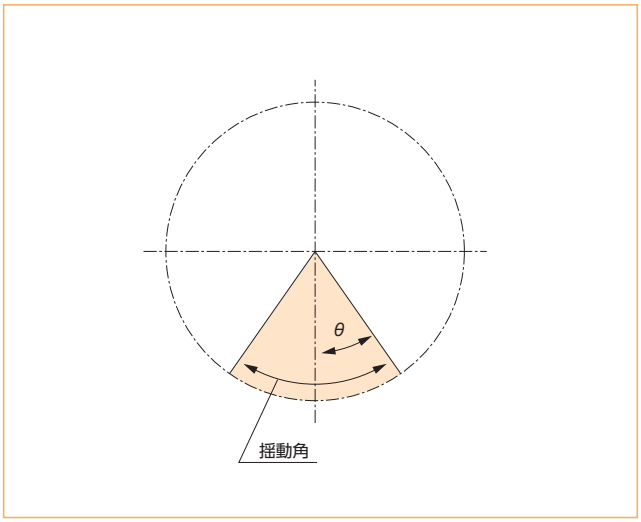
$$Loc = \frac{10^6}{60 \times n1} \times \frac{90}{\theta} \times \left(\frac{C}{fw \cdot Pc}\right)^{3}$$

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

図 033-1



(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

$$fs = \frac{Co}{Po}$$

計算式034 -2

$$Po = Fr_{max} + \frac{2M_{max}}{dp} + 0.44Fa_{max}$$

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

Fr_{max}	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
Fa_{max}	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)	
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

静的安全係数

表 034-3

軸受の使用条件	fs
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