技術資料

おことわり

JIS規格のISO規格への整合化に伴い，多くのJIS規格（TR:Technical Reportを含む）が改訂や新規作成されつつあります。歯車に関係するJIS規格およびJGMA規格（日本歯車工業会規格）について順次改訂が行われていますが，このカタログの編集の時点では，まだJIS規格及びJGMA規格の全てが改訂されたものとは言えず，廃止となった状態のままの規格もあります。しかしながら，このカタログの「歯車技術資料」編を編集するものにあたり，旧となったJIS規格やJGMA規格は不可欠なものです。そこで，極力新しいJIS規格やJGMA規格を採用して編集いたしましたが，新規格の存在しないもの，または，旧規格を使用しないと説明できない部分につきましては旧規格を使用し，規格番号の先頭に「旧」の文字を付記しました。なお当社では，ISO，JISおよびJGMA規格などの改訂状況に注目しながらカタログの改版を行いますが，これらの規格が制定・改訂されても，本カタログに引用されている内容の改訂が出来ない場合がありますのでご了承ください。

第１章　歯車の基礎

1.1 歯車の始まり …… 2
1.2 歯車の種類 …… 3
1.3 歯形曲線の種類 …… 8
1.4 歯車各部の用語 …… 11
1.5 歯形の大きさを表す基本寸法 …… 13
1.6 主な歯車の特徴 …… 15
1.7 バックラッシ …… 24
1.8 歯車の転位 …… 29
1.9 かみ合い率とすべり率 …… 35
1.10 歯形修正 …… 41

第２章　歯車使用上の注意

2.1 はすば歯車の使用上の注意 …… 43
2.2 かさ歯車の使用上の注意 …… 44
2.3 ウォームギヤの使用上の注意 …… 46
2.4 ノーバックラッシギヤの使用上の注意 …… 48
2.5 B-BOXの使用上の注意 …… 50
2.6 B-SETの使用上の注意 …… 51
2.7 各種歯車の軸締結方法 …… 52

第３章　歯車材料と熱処理

3.1 歯車材料の選び方 …… 55
3.2 熱処理 …… 58
3.3 歯車材料と熱処理 …… 59

第４章　歯厚の測定

4.1 またぎ歯厚測定法 …… 61
4.2 オーバピン（玉）法 …… 64
4.3 歯形キャリバによる測定法 …… 70

第５章　歯車の誤差とその測定方法

5.1 誤差の相関 …… 72
5.2 歯形誤差 …… 73
5.3 歯すじ方向誤差 …… 74
5.4 ピッチ誤差 …… 75
5.5 歯みぞの振れ …… 76
5.6 両歯面かみ合い誤差 …… 77
5.7 平歯車およびはすば歯車の精度 …… 78

第６章　歯車の組立

6.1 歯車組立のポイント …… 93
6.2 平歯車及びはすば歯車の中心距離 …… 94
6.3 平歯車及びはすば歯車の軸の平行度 …… 95
6.4 歯車の歯当たり …… 97
6.5 歯車の潤滑 …… 100
6.6 潤滑油 …… 102

第７章　歯車の振動・騒音

7.1 騒音，振動の原因と対策 …… 105
7.2 周波数成分による音の原因解析（低周波数帯域） …… 106

第８章　歯車の損傷 …… 107

第９章　各種歯車の計算

9.1 標準平歯車の計算 …… 108
9.2 標準内歯車の計算 …… 108
9.3 歯直角方式標準はすば歯車の計算 …… 109
9.4 ねじ歯車の計算 …… 109
9.5 ウォームギヤの計算 …… 110
9.6 グリーソンすぐばかさ歯車の計算 …… 112
9.7 標準すぐばかさ歯車の計算 …… 114
標準斜交すぐばかさ歯車 …… 115
9.8 グリーソンまがりばかさ歯車の計算 …… 116
9.9 遊星歯車機構の計算 …… 118
9.10 各種歯車の計算例 …… 119
9.11 各種歯車の効率（歯車のみの参考値） …… 123

第10章　歯車の強度計算

10.1 平歯車およびはすば歯車の強度計算式 …… 124
10.2 かさ歯車の強度計算式 …… 138
10.3 円筒ウォームギヤの強度計算式 …… 149

参考資料

硬さ換算表 …… 156
常用するはめ合いの穴の寸法許容差 …… 160
インボリュート関数表 …… 164
メートル並目および細目ネジのピッチ …… 168
六角穴付きボルトに対するざぐりおよびボルト穴の寸法 …… 169
平行キーおよびキー溝寸法 …… 170
センタ穴 …… 171
参考文献 …… 172
SI単位への切換えで問題になる単位の換算率表 …… 174

第１章　歯車の基礎

1.1 歯車の始まり

歯車がいつ頃から使われていたのか，誰によって発明されたのかはわかっていません。おそらく古代の人々達が，木製の円盤の外周にギザギザや突起を付けて，水を汲み上げたり，農作業などに用いていたものと想像されます。歯車が記録に現れるのはアリストテレス（BC384～322）の著書「機械の問題」の中で，今から約2300年以上も前のことです。

今から約500年前の15世紀の後半には，レオナルド・ダ・ビンチ（1422～1519）が，歯車のスケッチを残しています。この歯車のスケッチには，現在使用されているほとんどの歯車の種類が描かれています。（図１参照）

時代が進み，現在では，「高精度・高強度な歯車」が要求されています。

歯車が広く普及し，さらに高度なものが要求されるようになった理由として，

(1) 歯の大きさを変えることにより，広い範囲の伝達動力を伝えることができる。
(2) 回転や角度を確実に伝達できる。
(3) 歯車の歯数を変えることにより回転比が自由，正確に変えることができる。
(4) 平行軸，交差軸，食い違い軸などのいろいろな軸の相対位置に使用できる。
(5) 回転運動から直線運動への変換，またその逆も簡単である。

などが挙げられ，これらの他にも多くの特徴をもっています。

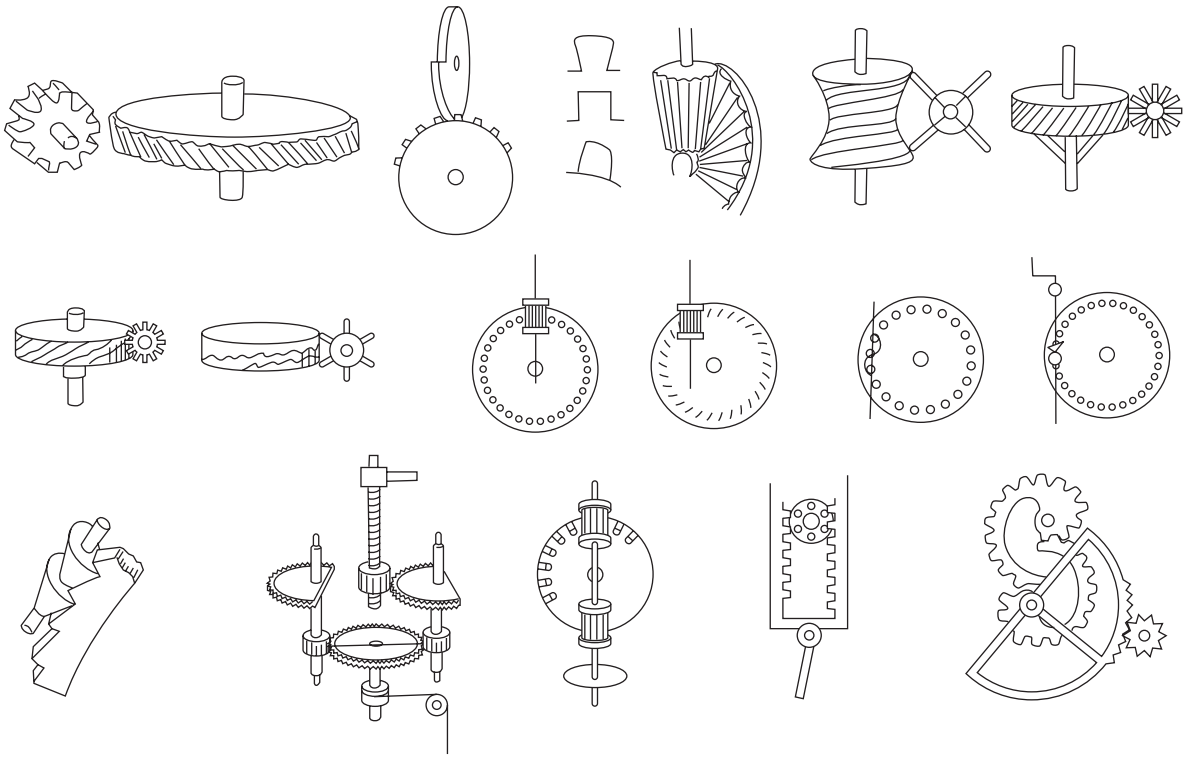


図１　レオナルド・ダ・ビンチが描いた歯車のスケッチ

1.2 歯車の種類

歯車はいろいろな方法により分類されています。その中でも，歯車軸の相対位置からの分類方法が最も一般的に用いられています。この他に，製作方法による分類，使用材料による分類，歯形による分類などが挙げられます。ここでは，歯車軸の相対位置による分類と，製作方法による分類について紹介します。

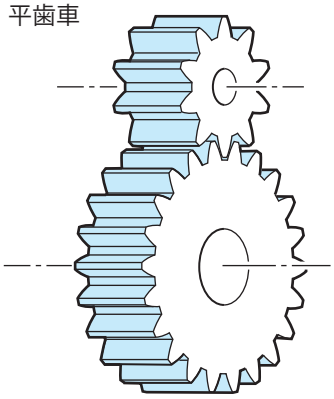
歯車軸の位置関係による分類

(1) 平行軸（2軸が平行）で使用する歯車

a) 平歯車

歯すじが軸に平行な直線である円筒歯車です。製作・組立が簡単で，最も多く使用されています。

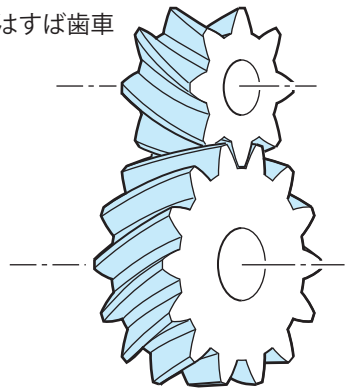
平歯車



b) はすば歯車

歯すじがつる巻き線である円筒歯車です。平歯車よりも，強度，振動・騒音で有利ですが，スラスト力（軸方向力）が発生します。回転方向が変わるとスラスト力の方向も変わります。

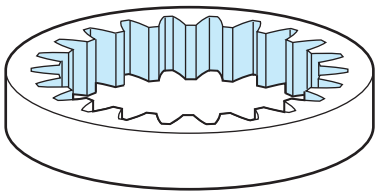
はすば歯車



c) 内歯車

円筒の内側に歯が製作されています。
遊星歯車機構に多く用いられます。
歯すじが軸に平行なものと，つる巻き線であるものが有りますが，平行なものが最も一般的に用いられます。

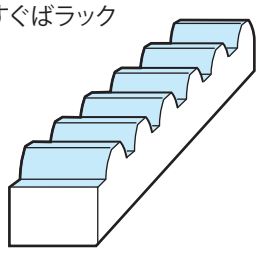
内歯車



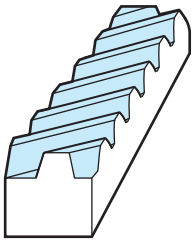
d) すぐ歯ラック

平歯車の半径が無限大になり直線となったものと考えられます。平歯車とかみ合い，直線運動と回転運動の変換を行います。

すぐばラック



はすばラック



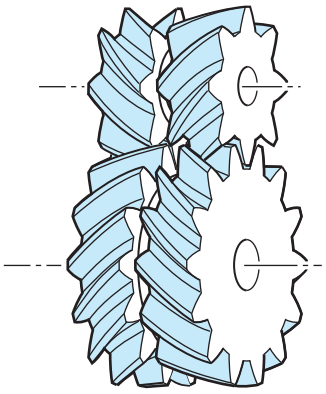
e) はすばラック

はすば歯車の半径が無限大になり直線となったものと考えられます。歯すじも直線となります。はすば歯車とかみ合い，直線運動と回転運動の変換を行います。

f) やまば歯車
はすば歯車を２枚合わせにした形状です。軸方向の力が発生しません。

※ここに示しました歯車の他に，非円形歯車や偏芯歯車なども平行軸で使用されますが，ここでは説明を省略します。

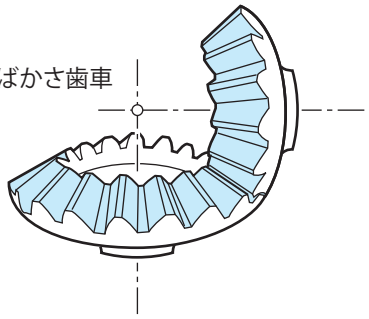
やまば歯車



（2）交差軸（2軸が交わる）で使用する歯車

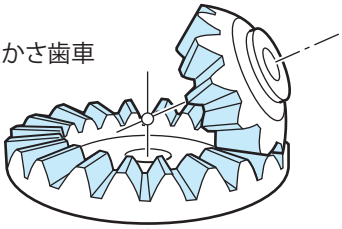
g) すぐ歯かさ歯車
歯すじがピッチ円すいの母線と一致し，直線である歯車です。
軸角が90°で歯数比が1：1であるものをマイタ歯車と呼びます。

すぐばかさ歯車



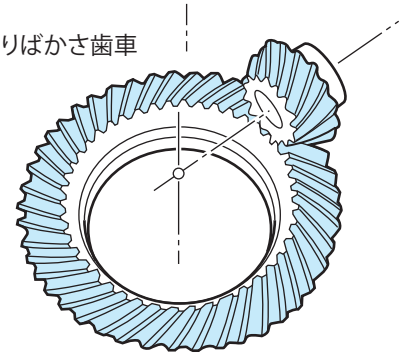
h) 斜交すぐ歯かさ歯車
軸角が90°ではないすぐ歯かさ歯車です。

斜交かさ歯車



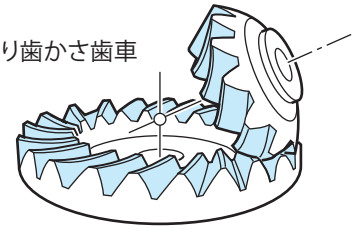
i) まがり歯かさ歯車
歯すじが曲線で，まがり角をもつかさ歯車です。すぐ歯かさ歯車よりも強度，振動・騒音で有利ですが，スラスト力に注意した設計が必要です。

まがりばかさ歯車



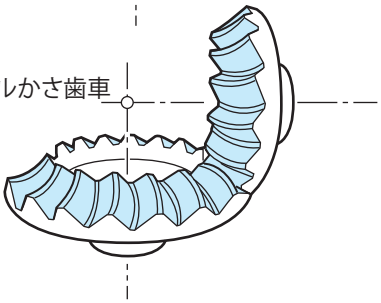
j) 斜交まがり歯かさ歯車
軸角が90°ではないまがり歯かさ歯車です。

斜交まがり歯かさ歯車



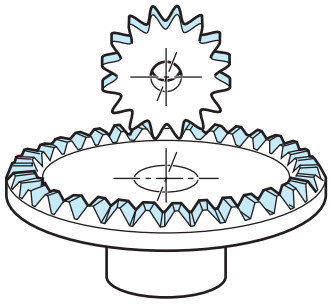
k) ゼロールかさ歯車
歯すじは曲線ですが，まがり角が0°のまがり歯かさ歯車です。（曲がり角が10°以下についてもゼロールかさ歯車として扱う場合があります）
歯に働く力は，すぐ歯かさ歯車と同等になります。

ゼロールかさ歯車



l) フェースギヤ

平歯車またははすば歯車とかみ合う円板状の歯車です。円板の側面に歯が製作されています。
2軸は交わる場合と食い違う場合がありますが，軸角は90°です。

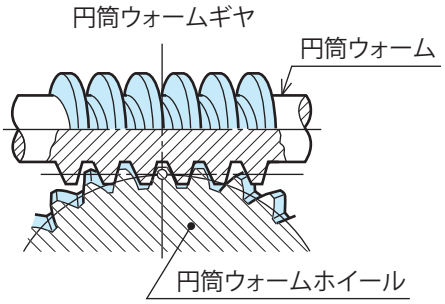


フェースギヤ

（3）食い違い軸（2軸が交わらず平行でもない）で使用する歯車

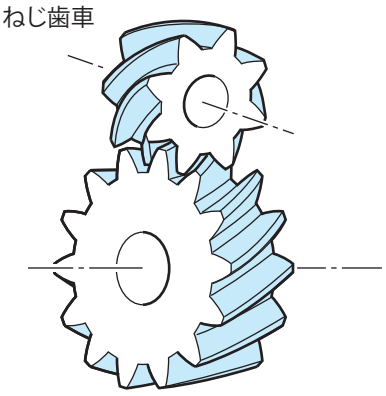
m) 円筒ウォームギヤ

円筒ウォームと円筒ウォームホイールからなる歯車対をいいます。
円筒ウォームとは１条または複数条のネジ山をもった歯車です。
大きな減速比を得ることができ，運転音も静かですが，効率が低く，発熱などに注意する必要があります。



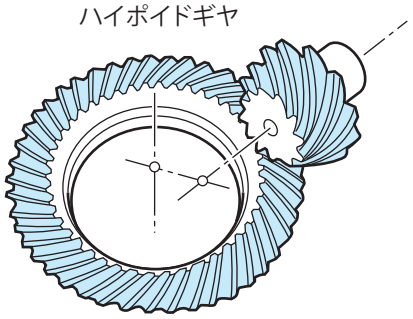
n) ねじ歯車

円筒歯車を食い違い軸間の運動伝達に利用したときの歯車対を言います。
はすば歯車同士，または平歯車とはすば歯車を組み合わせたものがあります。
理論上では点接触であるため，大きな力の伝達はできません。



o) ハイポイドギヤ

食い違い軸間の運動伝達に用いるまがり歯かさ歯車に似た円すい形の歯車です。
自動車のデファレンシャル用歯車などに用いられます。

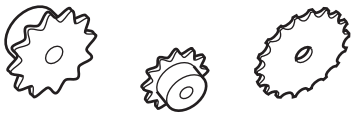


※上記に示しました歯車の他に，鼓形ウォーム，スピロイドギヤ*ヘリコンギヤ*なども食い違い軸で使用されますがここでは説明を省略します。
（＊印は，ITW社の商標名）

(4) 歯車に形状と使用目的が似ている機械要素

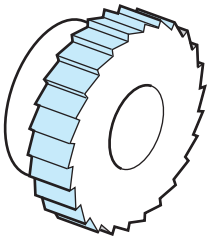
p) スプロケット
チェーンをかみ合わせ，比較的に距離の離れた軸間に動力を伝達します。
チェーンにはブッシュチェーンとラダーチェーンなどが用いられています。

スプロケット



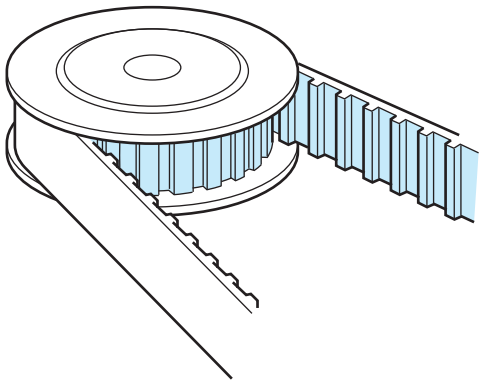
r) ラチェット
鋸刃の様な歯が外周に製作されています。歯に爪をかけて，割り出しや逆転防止に用います。

ラチェット



s) 歯付きベルト用歯車
タイミングベルト（歯付きベルト）を用いて，比較的に距離の離れた軸間に動力を伝達します。

歯付きベルト用歯車



製作方法による分類

(1) 切削歯車
歯が切削加工された歯車です。平歯車やはすば歯車では，ホブ盤，ギヤシェーパ，ギヤプレーナなどが用いられます。
大量生産の場合には，ブローチにより引き抜き切削されることがあります。
かさ歯車では専用のかさ歯車切り盤や稀にホブ盤が用いられます。

(2) シェービング歯車
歯面から微量の仕上げ代を削り取る加工方法により加工された歯車です。
専用機械とシェービングカッタが用いられます。

(3) 研削歯車
歯車研削盤などにより歯面を研削した歯車です。創成研削法と成形研削法とに区分されますが，どちらも砥石（ダイヤモンド砥石やCBN砥石などを含む）による研削仕上げです。精度の良い歯車が加工されますが，そのためには歯車のブランクも高精度に仕上げる必要があります。近年では電解研削による歯車も開発されていますが，ここでは説明を省略します。

(4) 転造歯車
歯車の歯（山）を盛り上げる塑性加工（転造）による歯車です。当社規格歯車のモジュール２以下のウォームは転造加工品です。２つの転造ロールにブランクを挟み，両側から加圧して歯（山）を盛り上げています。歯面は鏡面に仕上がっています。

(5) 射出成形歯車
融解したプラスチック材料を型に流し込み，一定の時間加圧して成形した歯車です。

(6) 焼結歯車
金属粉末を型に入れ圧縮した後，焼き固める方法により製作された歯車です。１度焼結後，再圧縮，再焼結されることもあります。また焼結後，油の含浸，熱処理，表面処理などが行われる場合があります。主に大量生産で製作されます。

※これらの他に，プレスによる打ち抜き歯車，鍛造歯車及びEDM（放電加工機やワイヤカット放電加工機）により製作される歯車もありますが，ここでは説明を省略します。

表１に，経済的に製作される歯車の工作法の相違による精度等級のおおよその見当を示します。

表１　歯車工作法の相違による精度等級の見当

（旧JIS B 1702-1995確認より）

加工法及び熱処理別 ＼ 旧JIS精度等級		0	1	2	3	4	5	6	7	8
焼き入れをしない歯車	歯切り					←				→
	シェービング		←				→			
焼入れをした歯車	歯切り							←		→
	シェービング				←			→		
研　削		←				→				

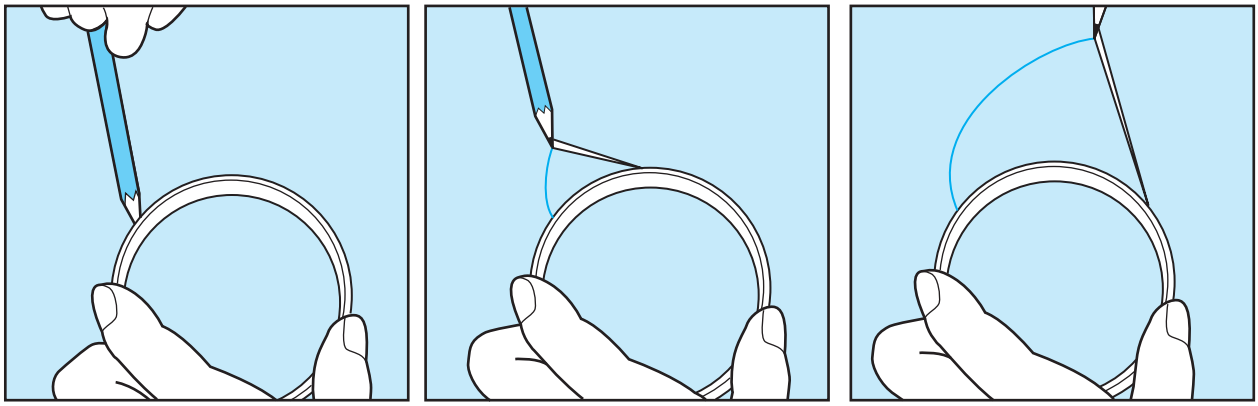
1.3 歯形曲線の種類

(1) インボリュート歯形

インボリュート曲線とは，円筒に巻き付けた糸を緩まないように引っ張りながら解いていくときに，糸の端が描く曲線です。このインボリュート曲線の一部を歯車の歯形としたものがインボリュート歯形です。糸を巻き付けた円筒を基礎円と呼びます。

（図２をご覧ください。）

インボリュート歯形は，
＊正確な歯形の製作とその測定が容易。
（歯車だけではなく，歯切り工具の製作も容易です。）
＊互換性がある。
＊中心距離に多少の誤差があっても正しい回転が伝達できる。
などの特長を持っていることから，最も一般的に広く用いられています。



▲円筒の外周に糸を巻いて，糸をピンと張った状態でほどいてゆくときに，糸の先端が描く線がインボリュート曲線です。

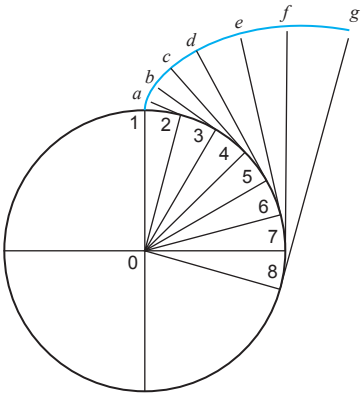


図２　インボリュート曲線

(2) サイクロイド歯形

サイクロイド歯形とは，図３に示すように，ある１つの円（基円）の外側を転がる円の一点の軌跡である外転サイクロイド（エピサイクロイド）と，内側を転がる円の一点の軌跡である内転サイクロイド（ハイポサイクロイド）の２つの曲線の一部を歯形としたものです。

（図3をご覧ください）

サイクロイド歯形は，歯面の摩耗が全面にわたって一定になるため，計器や時計用の歯車として用いられていますが，製作が難しいため，動力伝達用歯車としてはほとんど使われていません。

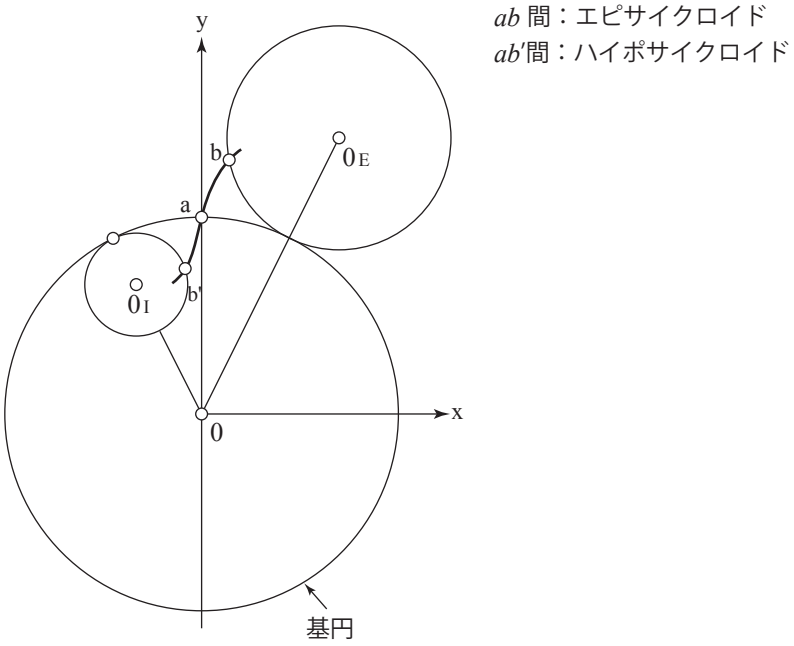


図３　サイクロイド歯形

（3）円弧系歯形

単一円弧歯形，複合円弧歯形などに分類されます。凸円弧と凹円弧との接触であるため摩耗に対して強い歯形ですが，やはり製作の容易さではインボリュートの方が有利であるため，一般には使われていません。

従来の円弧歯形とは全く違った理論で作られているのですが，WN（ウィルドハーバー・ノビコフ）歯車です。WN歯形は，従来の機構学的条件を満足せず，機構学的には点接触をする歯車ですが，はすば歯車にすることで荷重点を歯すじ方向に移動させ，等速回転運動を伝達できるようにした歯形です。使用目的によってはインボリュートよりも優位性が確認されていますが，はすば歯車であることと，製作の難点から，ごく限られた分野で使用されています。

（図４に参考図を示します。）

平歯車でかみ合いができ，WNの長所を持つように設計した歯形が，当社のロジックス歯車です。

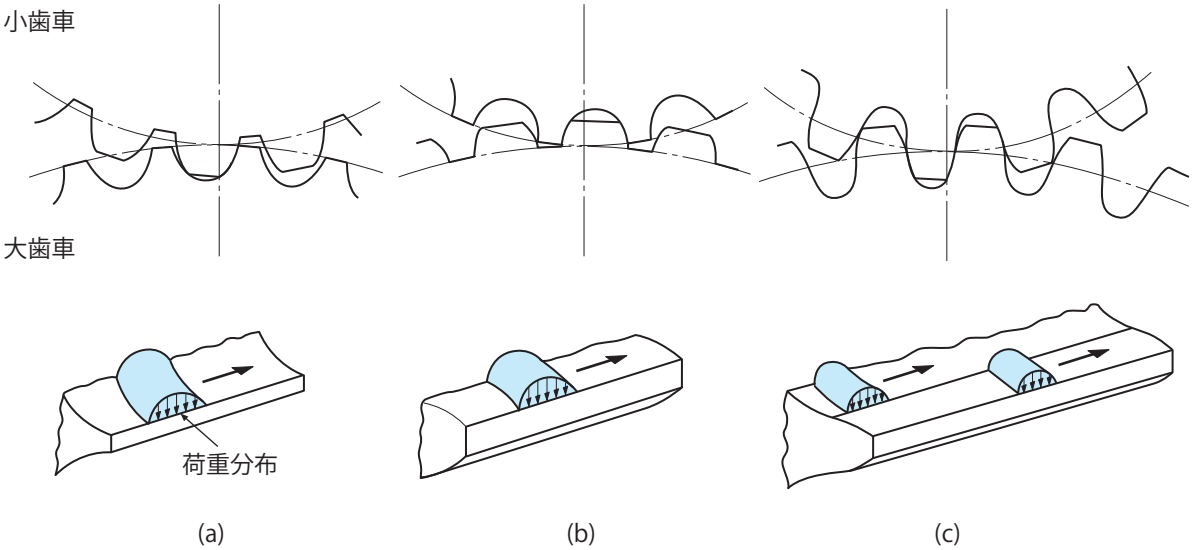


図４　ノビコフ歯車の歯形の種類

（a）小歯車凸円弧
　　大歯車凹円弧

（b）小歯車凹円弧
　　大歯車凸円弧

（c）大小歯車共に歯
　　未面に凸円弧歯
　　元面に凹円弧

1.4 歯車各部の用語

歯車各部の名称については，**JIS B 0102**:1999歯車用語―幾何学的定義に，歯車に関する数式や図に用いられる記号として，**JIS B 0121**:1999歯車記号―幾何学的データの記号に定められています。

なお，旧**JIS B 0102**:1993確認と**JIS B 0102**:1999との主な用語の比較を表２に示します。これらは，用語の変更だけでその意味については概ね同じものです。

表２　新旧歯車用語の比較

JIS B 0102:1999	JIS B 0102:1993 確認
基準円 (1)	基準ピッチ内
基準円直径	基準ピッチ円直径
歯たけ	全歯たけ
歯厚	円弧歯厚
かみ合い歯たけ	有効歯たけ
標準基準ラック	基準ラック (2)
（ラックの）データム線	（ラックの）ピッチ線
かさ歯車の相当円筒歯車	かさ歯車の相当平歯車
ピッチ角	ピッチ円すい角
歯先角	歯先円すい角
歯底角	歯底円すい角
（かさ歯車の）まがり角	（かさ歯車の）ねじれ角
（かさ歯車の）組立距離	（かさ歯車の）位置決め距離
中心距離修正係数	中心距離増加係数

注（1）**JIS B 0102**:1999では，ピッチ円直径も定義されていますが，ピッチ円は１つの歯車に対する相手歯車との相対運動の瞬間軸により描かれる幾何学的な円の直径を意味し，基準円とは区別して定義されています。

注（2）**JIS B 0102**:1999では，基準ラックは「歯直角断面で標準基準ラックをもつ仮想のラック」と定義されています。

以上のほか，歯車用語が追加されたもの，削除されたものが有りますが，ここでは説明を省略します。

標準基準ラック歯形

JIS B 0102:1999では，「インボリュート歯車系の，標準歯形寸法を規定する基準となるラックの歯形」と規定されています。これより，歯車や工具の各部寸法が決定され，互換性を保つことができます。

図５及び表３に，標準基準ラック歯形の詳細を示します。なお，**JIS B 1701-1**:1999**インボリュート歯車歯形　第１部：標準基準ラック歯形**では，その付属書に参考として，**推奨する基準ラックの歯形及び用途**を付加していますが，ここでは省略します。

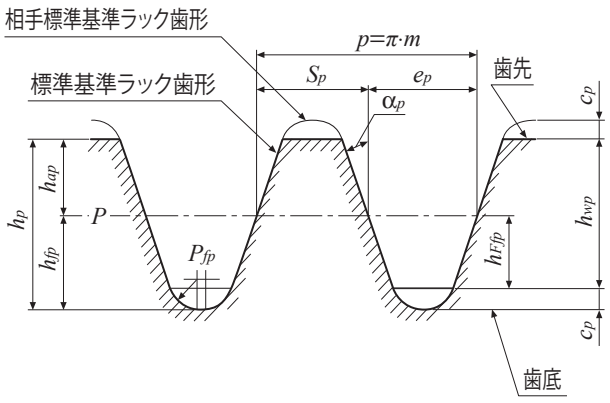


図５　標準基準ラック歯形及び相手標準基準ラック歯形

表３　標準基準ラックの寸法

項目	標準基準ラックの寸法
α_p	20°
h_{ap}	1.00m
C_p	0.25m
h_{fp}	1.25m
P_{fp}	0.38m

インボリュート歯車の歯形各部の用語，記号

（旧JIS B 0102:1993確認およびJIS B 0102:1999から抜粋）

図６に歯形各部の名称（用語）と記号を示します。

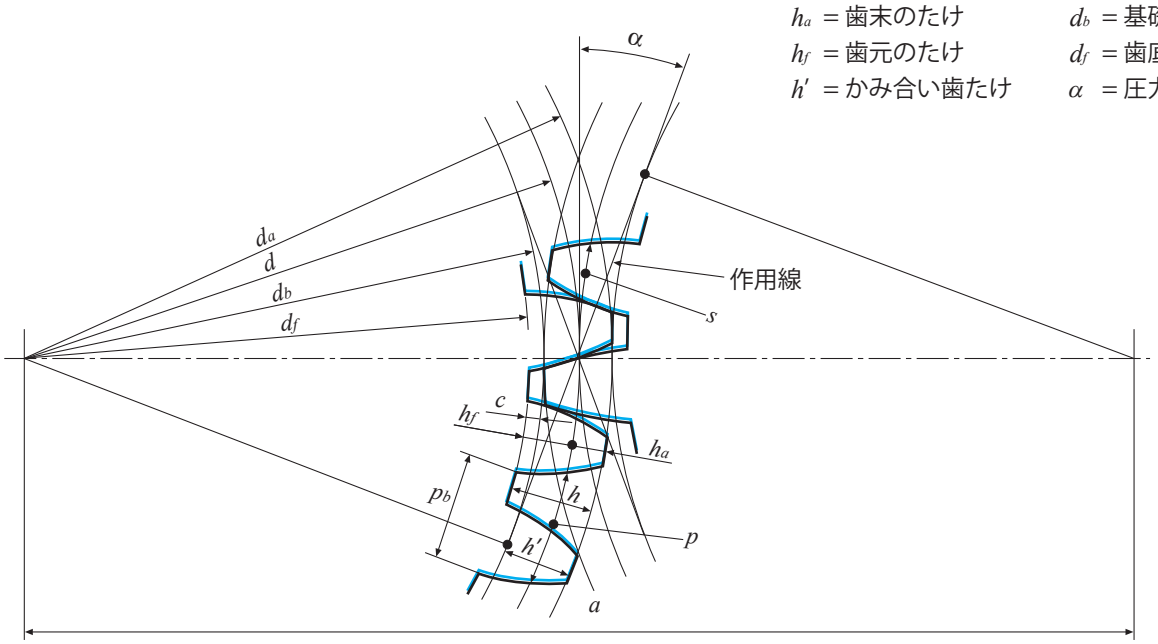
JIS B 0102:1999において，**基準**とは，「歯車の基準面から定義される用語に適用される限定語」と定義されています。“基準…”と“かみ合い…”とを区別して考えることになっていますが,この様な区別の必要がない場合，“基準…”は既知のこととして省略してもよいとされています。

- **中心距離** — a　　平行軸歯車対，又は食い違い軸をもつ歯車対の軸間の最短距離。
  JIS B 0121:1999 では，“基準中心距離”についても定義されていますが，ここでは説明を省略します。
- **円ピッチ**＊ — p　　ピッチ円またはピッチ線上で測った隣りあう歯の部分間の距離。
- **法線ピッチ**＊ — p_b　　インボリュート歯車において，特定断面の歯形間の共通垂線に沿って測ったピッチ。
- **歯たけ** — h　　歯先円と歯底円との半径方向距離。
- **歯末のたけ** — h_a　　歯先円と基準円との半径方向距離。
- **歯元のたけ** — h_f　　歯底円と基準円との半径方向距離。
- **かみ合い歯たけ** — h'　　互いにかみ合う二つの歯車の歯先曲面間の中心線上の距離。
- **頂げき** — c　　歯車の歯底曲面と相手歯車の歯先曲面との間の中心線上の距離。
- **歯厚** — s　　一つの歯の両側の歯形の間にある基準円の弧の長さ。
- **歯先円直径** — d_a　　歯先円の直径。
- **基準円直径** — d　　歯車の軸に垂直な平面による基準円筒の断面。
- **歯底円直径** — d_f　　歯底円の直径。
- **正面作用線**　　互いにかみ合う歯の接触点において，これら二つの正面歯形に立てた共通法線。
  インボリュート歯車対では，作用線は，両基礎円の共通接線でもある。
- **圧力角** — α　　歯形が基準円と交わる点における歯形の接線と，その点を通る中心連結線との角度。

＊印の用語は，**JIS B 0121:1999**には定義されていません。また，圧力角については，同JISでは分かり難いため補足しました。また，ウォームホイールでは歯末のたけ，歯元のたけは，“基準”と“かみ合い”とに区別され定義されていますが，ここでは説明を省略します。

図６　歯形各部の名称

a ＝中心距離　　c ＝頂げき
p ＝円ピッチ　　s ＝歯厚
p_b ＝法線ピッチ　　d_a ＝歯先円直径
h ＝歯たけ　　d ＝基準円直径
h_a ＝歯末のたけ　　d_b ＝基礎円直径
h_f ＝歯元のたけ　　d_f ＝歯底円直径
h' ＝かみ合い歯たけ　　α ＝圧力角



1.5 歯形の大きさを表す基本寸法

歯車の歯形の大きさを表わすのに，次の３種類があります。

1. モジュール *m*

基準ピッチを円周率で除した値をモジュールといい，歯の大きさを定めるものです。メートル制歯車の大きさを表すもので，基準円直径*d*（mm）を歯数*z*で除した数値でモジュールの値が大きいほど歯の大きさは大きくなります。

$$\text{モジュール } m = \frac{\text{基準円直径 } d}{\text{歯　数 } z} \ (\text{mm})$$　または歯先円直径（外径）を *da* とすれば

$$m = \frac{d_a}{z+2}$$　となります。図７にモジュールの原寸図を示します。

2. ダイヤメトラルピッチ *P* または *DP*

直径ピッチともいい，インチ制歯車の歯の大きさを表わすもので，歯車*z*を基準円直径*d*（in）で除した数値です。つまり直径１インチ当たりの歯数をいい*DP*の値が小さいほど歯の大きさは大きくなります。

$$DP = \frac{\text{歯　数 } z}{\text{基準円直径 } d \ (\text{in})} \ (\text{無名数})$$　または，歯先円直径（外径）を *da* とすれば

$$DP = \frac{z+2}{d_a \ (\text{in})}$$　となります。

モジュールとダイヤメトラルピッチとの間には次の関係があります。(モジュールとダイヤメトラルピッチとの比較)。

$$m = \frac{25.4}{DP} \ (\text{mm})$$　$$DP = \frac{25.4}{m}$$

3. サーキュラーピッチ *CP*

円周ピッチともいい，互いに隣り合う２つの歯の中心間の距離をピッチ円の円弧で測った長さです。すなわちピッチ円の円周を歯数で除した数値で，

$$CP = \frac{\text{ピッチ円の円周 } (\pi \times d)}{\text{歯　数 } z} \ (\text{mm})$$

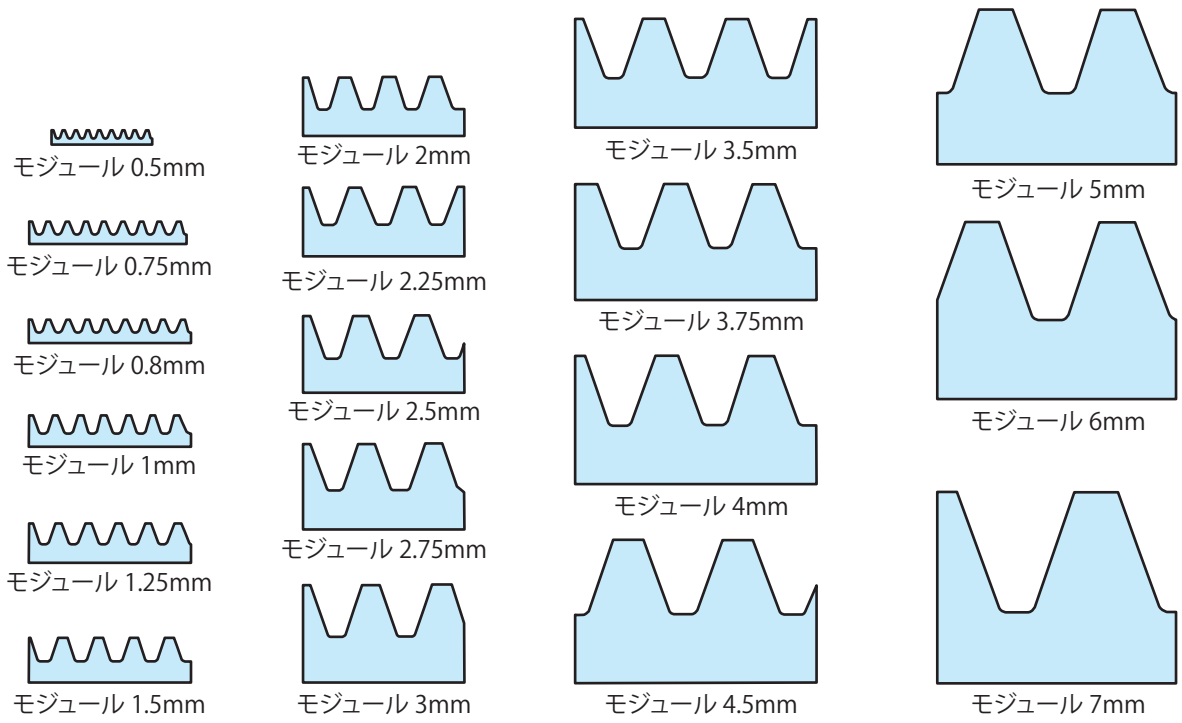


図７　モジュールの原寸図

ただしπは円周率　π=3.14159……

または歯先円直径（外径）を da とすれば　$CP=\dfrac{\pi\times da}{z+2}$ (mm)

歯形の大きさを表すには，以上の３種類のいずれかが用いられますが，このうちサーキュラーピッチCPは，目的の移動距離，及び位置決めに使用されています。

なお，モジュールの標準値は，**JIS B 1701-2**:1999円筒歯車－インボリュート歯車歯型　第２部　モジュール，及び同規格の付属書（規定）－**ISO 54**に規定されていないインボリュート円筒歯車歯形のモジュール１未満－の標準値を下記に示します。

表４　円筒歯車のモジュールの標準値

単位mm

I	II	I	II	I	II	I	II
0.1		1			5.5	25	
	0.15		1.125	6			28
0.2		1.25			(6.5)	32	
	0.25		1.375		7		36
0.3		1.5		8		40	
	0.35		1.75		9		45
0.4		2		10		50	
	0.45		2.25		11		
0.5		2.5		12			
	0.55		2.75		14		
0.6		3		16			
	0.7		3.5		18		
	0.75	4		20			
0.8			4.5		22		
	0.9	5					

できるだけ，I列のモジュールを用いることが望ましい。モジュール6.5は，できる限り避けるのがよい。

かさ歯車の標準値は，**JIS B 1706-2**:1999すぐばかさ歯車－第２部　モジュール及びダイヤメトラルピッチ，及び同規格の付属書（規定）－**ISO 678**に規定されていないすぐばかさ歯車のモジュール１未満－の標準値を抜粋して下記に示します。なお，ダイヤメトラルピッチについては省略します。

表５　すぐばかさ歯車のモジュールの標準値

単位mm

I	II	I	II	I	II
0.3		1			3.5
	0.35		1.125	4	
0.4		1.25			4.5
	0.45		1.375	5	
0.5		1.5			5.5
	0.55		1.75	6	
0.6		2			(6.5)
	0.7		2.25		7
	0.75	2.5		8	
0.8			2.75		9
	0.9	3		10	

できるだけ，I列のモジュールを用いることが望ましい。モジュール6.5は，できる限り避けるのがよい。

表6　モジュールとダイヤメトラルピッチの比較

単位mm

モジュール	9	8.467	8	7.257	7	6.35	6	5.08	5	4.233	4
ダイヤメトラルピッチ	2.822	3	3.175	3.5	3.629	4	4.233	5	5.08	6	6.35
全歯たけ	20.25	19.05	18.00	16.33	15.75	14.29	13.50	11.43	11.25	9.52	9.00
ピッチ	28.27	26.60	25.13	22.80	21.99	19.95	18.85	15.96	15.71	13.30	12.57

モジュール	3.629	3.5	3.175	3	2.822	2.54	2.5	2.309	2.25	2.117	2
ダイヤメトラルピッチ	7	7.257	8	8.47	9	10	10.16	11	11.289	12	12.70
全歯たけ	8.17	7.88	7.14	6.75	6.35	5.72	5.63	5.20	5.06	4.76	4.50
ピッチ	11.40	11.00	9.98	9.43	8.87	7.98	7.85	7.25	7.07	6.65	6.28

モジュール	1.814	1.75	1.588	1.5	1.411	1.27	1.25	1	0.8	0.75	0.5
ダイヤメトラルピッチ	14	14.514	16	16.933	18	20	20.32	25.4	31.75	33.867	50.8
全歯たけ	4.08	3.94	3.57	3.38	3.17	2.86	2.81	2.25	1.80	1.69	1.13
ピッチ	5.70	5.50	4.99	4.71	4.43	3.99	3.93	3.14	2.51	2.36	1.57

注：全歯たけは頂げきCを0.25mとして計算しています。

1.6 主な歯車の特徴

1.　2では歯車の種類について簡単に紹介しましたが，ここでは主な歯車の特徴について説明します。

はすば歯車

平歯車に比較して大きな負荷の伝達が可能で，振動・騒音も少ない歯車です。しかし，歯がねじれていることでスラスト（軸方向）力が発生するため，軸受けにはスラスト対策が必要です。（スラストについては，第２章をご覧ください。）

平行軸で使用する場合，右ねじれのはすば歯車と左ねじれのはすば歯車を組み合わせます。ねじれ角は右も左も同じ角度です。

軸が平行でもなくまた交わりもしない食い違い軸で使用する場合，ねじ歯車と呼びます。

図8の様に，直角三角形の紙を筒状の巻いたときに，直角三角形の斜辺となる直線は，ねじ曲線（つる巻き線）となります。この曲線を歯車の歯すじ曲線に用いたものが，はすば歯車です。

この直角三角形を展開し，はすば歯車を重ねて書くと，図9になります。

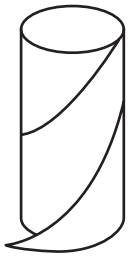


図８　つる巻き線

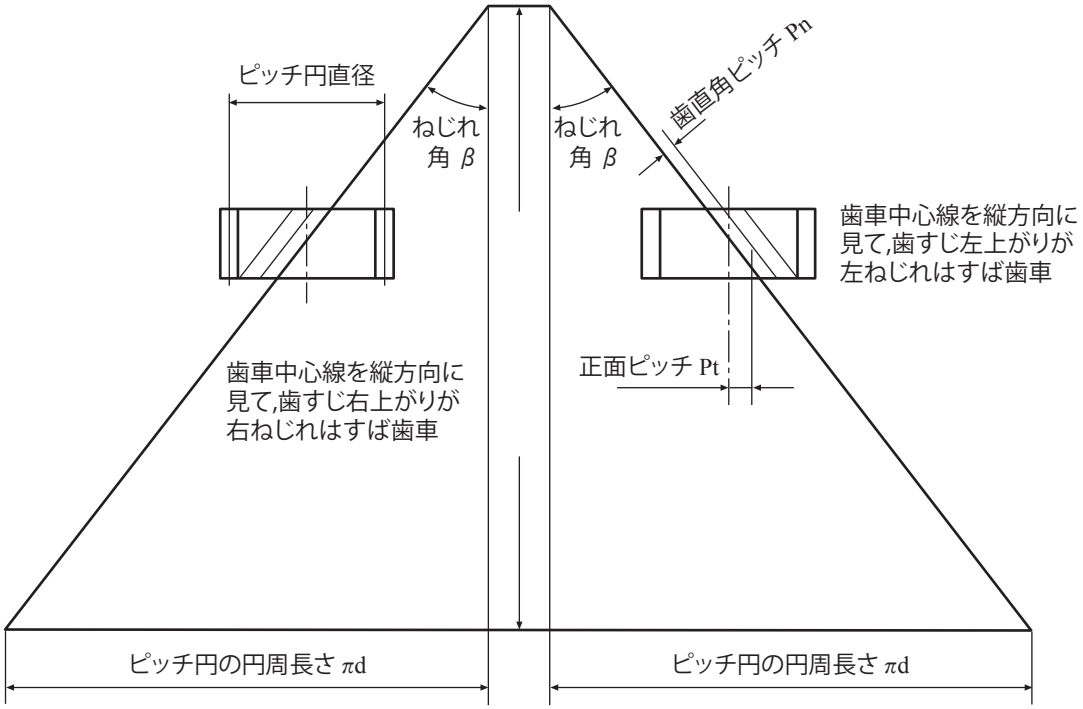


図９　はすば歯車（右ねじれ，左ねじれ）

はすば歯車には歯直角方式はすば歯車と軸直角方式はすば歯車があります。歯直角方式はすば歯車とは，基準ピッチ半径を無限大にして得られるはすばラックの歯すじに直角な断面の歯形を基準としています。一方，軸直角方式はすば歯車とは，歯車の軸に直角な断面の歯形を基準とするものです。図10は両者の基準断面を表したものです。

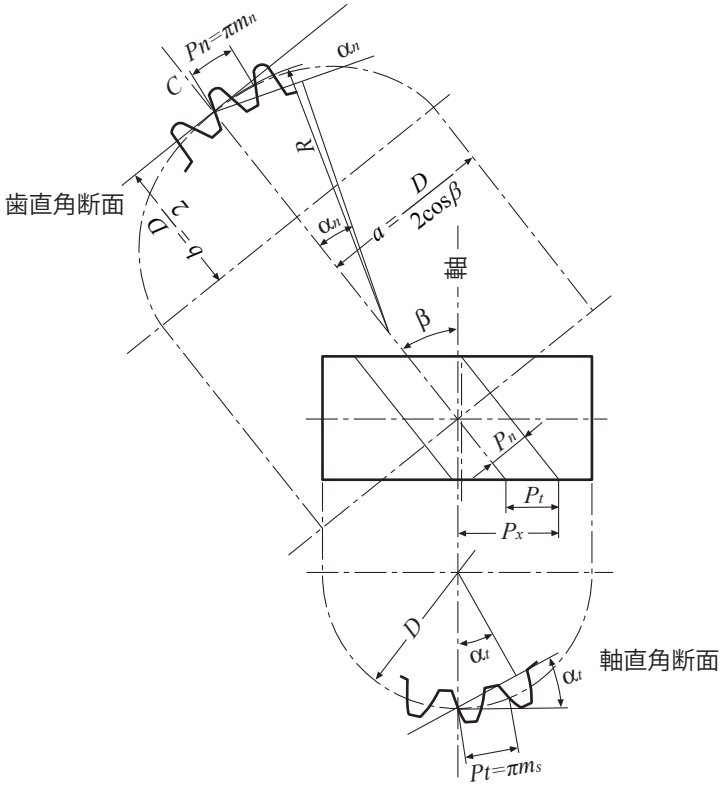


図10　歯直角方式と軸直角方式

歯直角方式はすば歯車は，歯直角モジュールm_n（ホブのモジュールとして考えられる。）と歯直角圧力角α_n（ホブの圧力角と考えられる）が同じであれば，ねじれ角βが変わっても，同じホブや研削砥石などで製作できます。

これにより保有するホブ（工具）の数を少なくすることができ，経済的な歯車を製作できることから，一般には歯直角方式はすば歯車が用いられています。

しかし，中心距離の計算では$\cos\beta$が分母に現れるため，整数の中心距離を得るためには，ねじれ角を調整する必要があります。

一方，軸直角方式はすば歯車は，ねじれ角βが変わるとホブ（工具）も取り替えなければならないため，大量生産のごく限られた分野でしか使用されていません。しかし，平歯車と同じ計算式が使えるため，中心距離を整数とすることが容易です。

図10において歯すじに直角な断面では，ピッチ円直径が円となります。だ円の長軸，短軸の半分は，同図より，

$$a=\frac{D}{2\cos\beta} \qquad b=\frac{D}{2}$$

c点におけるだ円の曲率半径Rは

$$R=\frac{a^2}{b}=\frac{D}{2\cos^2\beta}$$

したがって，ピッチ円半径がRの平歯車と考え，これをはすば歯車に対する相当平歯車 (1) と呼びます。

実際のはすば歯車の歯数zに対して，相当平歯車数 (1) z_vには次の関係があります。

$$z_v=\frac{z}{\cos^3\beta}$$

相当平歯車数 (1) は，はすば歯車の強度計算や転位計算およびカッタ選定の時の基準となるものです。

注（1）　旧歯車用語を採用

＜参考＞

ねじ歯車とは単体でははすば歯車ですが，平行軸はすば歯車ではお互いのねじれ角が等しく，ねじれ方向が逆なのに対して，ねじ歯車ではそれ以外の任意のねじれ角の歯車が，平行軸でもなくまた交わりもしない食い違い軸でかみ合う歯車です。ただし，両歯車の歯直角モジュールm_nと歯直角圧力角α_nとが等しくなければ正しくかみ合いません。

転位しないはすば歯車をかみ合わせたとき，それぞれの基準円筒ねじれ角をβ_1，β_2とすると，

両歯車のねじれ方向が等しい場合，軸角Σは，

$$\Sigma = \beta_1 + \beta_2$$

両歯車のねじれ方向が異なる場合，軸角Σは，

$$\Sigma = \beta_1 - \beta_2 \quad \text{or} \quad \Sigma = \beta_2 - \beta_1$$

となり，これは，シェービングカッタと被削歯車の関係になります。

ねじ歯車は理論上で点接触となるため，大きな負荷の伝達はできません。

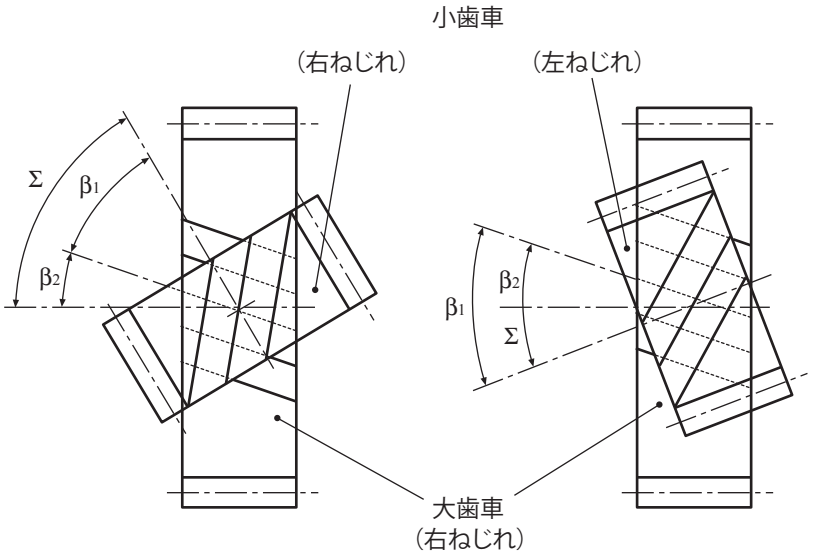


図11　ねじれ歯車のかみ合い

かさ歯車

かさ歯車は，交わる（直交または斜交）２軸間に動力を伝達する円すい形の歯車で，円すい摩擦車の表面を基準面として歯を付けたものと考えられます。この基準面をピッチ円すいと呼びます。歯すじの形状により，すぐ歯かさ歯車とまがり歯かさ歯車に大別されます。

図12において，背円すいピッチ円半径がR_{v1}と R_{v2}の平歯車があるものとして，この平歯車がかさ歯車の歯形と考えられます。

この平歯車は，欠円となりますが，欠円部分を満たした平歯車をかさ歯車に対する相当平歯車 (1) と呼びます。

実際のかさ歯車zに対して，相当平歯車歯数z_vには次の関係があります。

$$z_v = \frac{z}{\cos\delta} \qquad (\delta: \text{ピッチ角})$$

相当平歯車歯数は，かさ歯車の強度計算やカッタ選定の時の基準となるものです。

かさ歯車のピッチ面が平面となったものを冠歯車といい，速度比の大きい場合に用いたり，仮想の冠歯形からかさ歯車の創成運動を考えるために用いられます。

軸角が90度で歯数比が1：1のかさ歯車をマイタ歯車と呼びます。

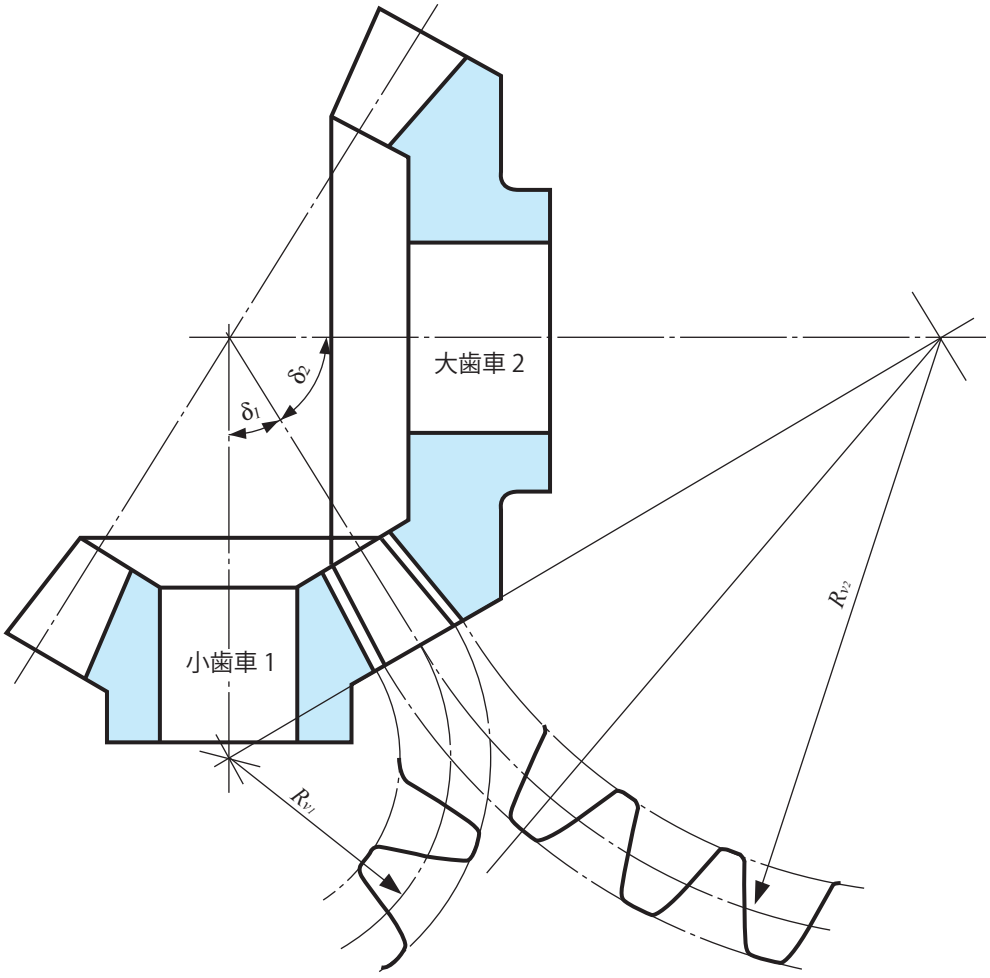


図12　かさ歯車の相当平歯車 (1)

注（1）旧歯車用語を採用

(1) すぐ歯かさ歯車

歯すじがまっすぐなかさ歯車で，標準式すぐ歯かさ歯車とグリーソン式すぐ歯かさ歯車が代表的なものです。

標準式すぐ歯かさ歯車は，相当平歯車において標準平歯車であると考えられ，歯数が少なくなると切下げが発生します。

これに対して，グリーソン式すぐ歯かさ歯車は，大小歯車共に転位歯車として設計されます。小歯車の歯数が少なくなっても切下げの問題が少ない歯車です。両者の特徴の比較を表7にまとめます。

表7　グリーソン式と標準式の特徴の比較

	グリーソン式	標準式
切下げの問題	小歯車は正転位されているので問題が少ない（大歯車には負転位）	転位をしてないので切下げ発生の問題が発生しやすい。
大小歯車の強度のバランス	転位によりバランスを保っている。	バランスを保っていない。
頂げき	平行頂げきであるため，内端での歯先干渉は無い。	平行頂げきではないため，内端での干渉が起こりやすい。

※マイタ歯車は転位していません。

グリーソン社では，歯すじにクラウニングを付けたすぐ歯かさ歯車をコニフレックスギヤと呼んでいます。グリーソンすぐ歯かさ歯車は，これまでに示した特徴およびクラウニングを付けていることから，片当りや組立時の問題が少ないかさ歯車です。表8にグリーソンすぐ歯かさ歯車の切下げ防止の最小歯数を示します。

表8　グリーソンすぐ歯かさ歯車の切下げ防止の最小歯数

α=20°		α=14.5°	
小歯車の歯数	大歯車の歯数	小歯車の歯数	大歯車の歯数
z_1	z_2	z_1	z_2
13	30	24	57
14	20	25	40
15	17	26	35
16	16	27	31
		28	29
		29	29

(2) まがり歯かさ歯車

図13のように，歯すじが曲線のかさ歯車で，歯すじとピッチ円すい母線とのなす角をまがり角と呼びます。歯幅中央におけるまがり角を中央まがり角β_mといい，特に指定しない限りこの中央まがり角を略してまがり角と呼びます。

グリーソンまがり歯かさ歯車では，歯すじは円弧でまがり角35°が標準とされています。カッタにより自動的に歯すじにクラウニングが施されます。

一般に軸角は90°で右まがりの歯車と左まがりの歯車をかみ合わせます。

図14に右まがりと左まがりのまがり歯かさ歯車を示します。

歯がまがっていることでスラスト（軸方向）力が発生するため，軸受けにはスラスト対策が必要です。（スラストについては，弟2章をご覧ください。）

表９にグリーソンまがり歯かさ歯車の切下げ防止の最小歯数を示します。

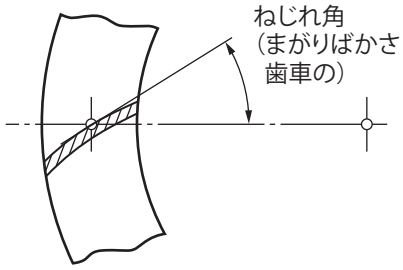


図13　歯幅中央のまがり角

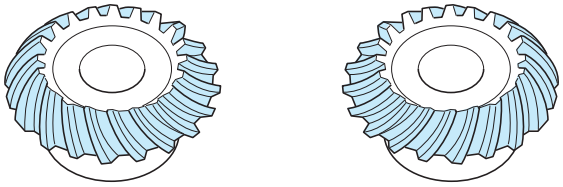


図14　左まがりと右まがりのまがり歯かさ歯車

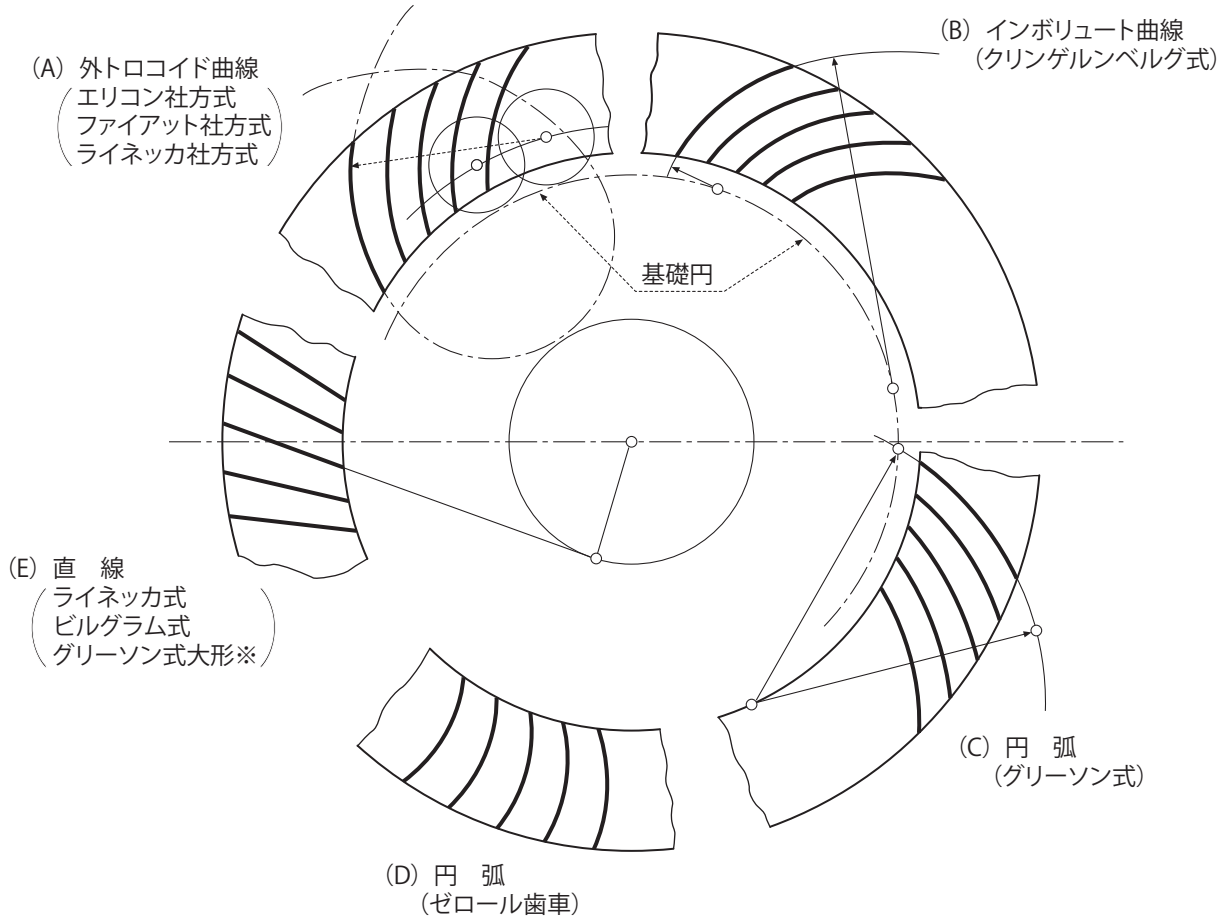
表9　グリーソンまがり歯かさ歯車の切下げ防止の最小歯数

α=20°		α=16°		α=14.5°	
小歯車の歯数	大歯数の歯数	小歯車の歯数	大歯車の歯数	小歯車の歯数	大歯車の歯数
z_1	z_2	z_1	z_2	z_1	z_2
12	26	16	59	19	70
13	22	17	45	20	60
14	20	18	36	21	42
15	19	19	31	22	40
16	18	20	29	23	36
17	17	21	27	24	33
		22	26	25	32
		23	25	26	30
		24	24	27	29
				28	28

＜参考＞

クラウンギヤ（平歯車におけるラックに相当する歯車）の歯すじ曲線の種類により，まがり歯かさ歯車には図15の様な種類があります。

これらの他に，対数ら線，アルキメデスら線，エビシノイド，変形エビシノイド，延長ハイポサイクロイドなどがありますが，ここでは説明を省略します。



※グリーソン式大形まがりばかさ歯車は直線歯に近いが，修正ローリングによりわずかなスパイラル歯すじとなっている。

図15　まがり歯かさ歯車の種類（クラウンギヤの歯すじ曲線）

ウォームギヤ

ウォームギヤは，ねじ条の歯車であるウォームとかみ合うウォームホイールからなる一対の歯車のことをいい，高減速比を得る場合に用いられます。効率があまり良くないことから，発熱するため潤滑油の選定が重要なポイントとなります。また，歯がねじれていることでスラスト（軸方向）力が発生するため，軸受けにはスラスト対策が必要です。（スラストについては，第2章をご覧ください。）

ウォームでは歯のねじれを進み角で表します。一方，ウォームホイールは，はすば歯車と同様に，ねじれ角で表します。一般に，ウォームとウォームホイールは軸角が90°の食い違い軸でかみ合い，例えば，右の進み角をもつウォームと同じねじれ角を持つ右のウォームホイールがかみ合います。

ウォームの歯数（条数）が2枚（2条）以上になったものを多条ウォームと呼び，これとかみ合うウォームホイールは多条ウォームの進み角にあったねじれ角で製作します。

当社のギヤの場合，表10のウォームとウォームホイールの組み合わせになります。

表10　KGギヤの組み合わせ（モジュールは一対で同じ）

	ウォーム	かみ合うウォームホイール
カタログ記号とねじれ方向と条件を表す記号	R1 （右1条） R2 （右2条） L1 （左1条） L2 （左2条）	R1 （右ねじれ，1条用のねじれ角で製作） R2 （右ねじれ，2条用のねじれ角で製作） L1 （左ねじれ，1条用のねじれ角で製作） L2 （左ねじれ，2条用のねじれ角で製作）

はすば歯車と同様に歯直角方式と軸直角方式のウォームギヤがありますが，経済的に製作できる歯直角方式が一般的に使われています。しかし，中心距離を計算する場合，tanγによる端数が発生します。進み角が小さい場合，ウォームホイールを負転位して所定の中心距離に合わせる方法が行われます。

＜参考＞

JIS B 1723円筒ウォームギヤの寸法では，次の4種類をウォームギヤの歯形として規定しています。

1）1形歯形

ウォームの軸心を含む断面，すなわち軸平面上の歯形が台形で，ねじ面は直線となります。軸直角平面上の歯形におけるネジ面は，アルキメデスのうず巻き曲線となります。DIN規格のA形ウォーム，バッキンガムの台形ウォームがこれにあたります。軸直角平面で所定の圧力角に研いだバイトを用いて，旋盤でねじ切りをすると1形となります。

2）2形歯形

ウォームの歯直角平面における歯形が台形で，ねじ面は直線となります。DIN規格のN形ウォームの一部及びバッキンガムのバイト切りウォームがこれにあたります。バイトの直線切刃を歯直角平面に取付けて，旋盤でねじ切りをすると2形となります。

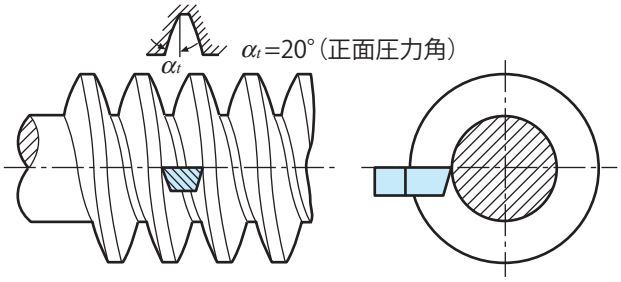
3）3形歯形

ウォームの歯直角平面，軸直角平面とも，歯形のねじ面は直線ではなく，工具の軸平面上の歯形が台形になります。DIN規格のK形ウォームや研削といしの軸をウォーム軸に対して進み角だけ傾けて，ねじ面を加工します。製作されたウォームの歯直角圧力角α_nは，工具圧力角α_oよりも僅かに小さくなりますが，3形ウォームが最も一般的に製作され，当社においても3形を採用しています。

4）4形歯形

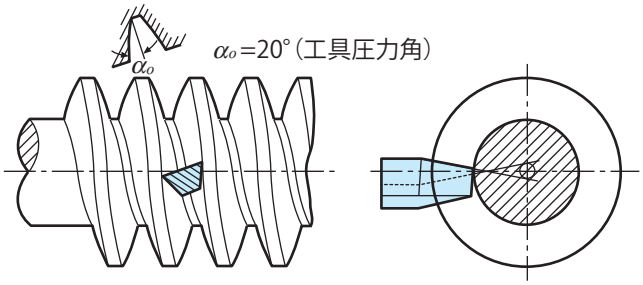
歯直角平面上ではインボリュート曲線，基礎円筒に接する平面上では直線となります。DIN規格のE形ウォーム、バッキンガムのインボリュートウォームおよびBS規格の標準歯形がこれにあたります。

進み角の大きなものは，平歯車の歯切りに用いるホブで製作されることがあります。



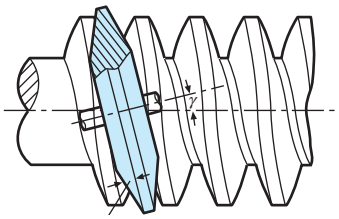
(I) 1形ウォーム

軸平面上にバイトの切刃を取り付け旋盤等で加工したねじ面。軸平面上で直線歯形,軸直角平面上でアルキメデスうずまき線。研削可能。



(II) 2形ウォーム

バイト中心をウォーム軸心に合わせ直線切刃を歯直角平面に取付け旋盤等で加工したねじ面。研削可能。



3形ウォームの工具圧力角α_oと歯直角圧力角α_nの差（AGMA）

$$\alpha_0-\alpha_n\ (分) \fallingdotseq \frac{5400}{z_w}\bullet\frac{r}{r_0\cos^2\gamma+r}\bullet\sin^3\gamma$$

ただし

z_w ：ウォール条数

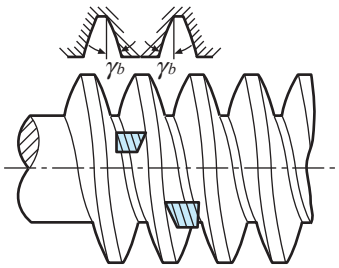
r ：ウォームピッチ円半径　r_0が大きくなると4形ウォームに近づく

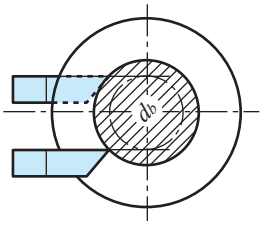
r_0 ：工具歯先半径　r_0が小さくなると2形ウォームに近づく

γ ：ウォーム進み角

(III) 3形ウォーム

最も一般的なウォーム。切刃が描く面が円すい面のフライスまたは,といしの回転軸を進み角r_0だけ傾けて,万能フライス盤,ねじ切り盤,ウォーム専用ねじ切り盤等で加工したねじ面。歯直角圧力角は,工具圧力角α_0より小さくなる。2形ウォームと4形ウォームの中間的なウォーム。



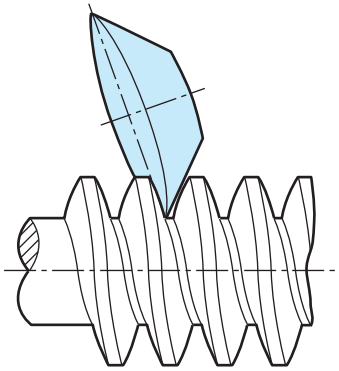


d_b ＝基礎円直径

γ_b ＝基礎円筒進み角

(IV) 4形ウォーム

インボリュートヘリコイド面であり,軸直角平面上でインボリュート曲線,基礎円筒に接する平面上で直線となる。切刃が描く面が平面のフライスまたは,といしで加工でき,図のように基礎円筒に接する平面上にバイトを取り付けても加工できる。また,インボリュートホブで切削することもできる。



(V) 4形ウォームの研削

4形ウォームは平面といしで研削すると最も正確に仕上がると言われ,一般的には,切削状態で使用せず、研削仕上げを施すことが多い。

図16　ウォームの加工法と歯形による分類（JGMA 131-02）

1.7 バックラッシ

バックラッシとは，歯車をかみ合わせたときの“**歯面間の遊び**”または“**すき間**”のことです。

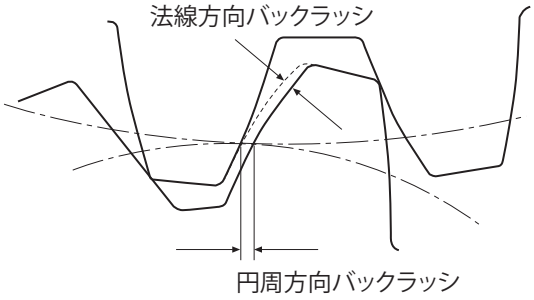


図17　バックラッシ

歯車を慎重に作っても，工作上または熱処理上から起こる製作誤差を完全に0にすることはできません。歯車は歯形誤差，ピッチ誤差，歯みぞの振れ，歯厚誤差，歯すじ誤差などの製作上の誤差を必ずもっています。

歯車箱にも工作上の誤差があり，中心距離が所定寸法よりも小さくなったり，軸の平行度や直角度に誤差があったりします。

歯車装置の運転が始まると，負荷による発熱で歯車や歯車箱が変形を起こすようになります。運転を続けることにより温度が上昇し，各部に膨張が生じて歯車の歯がせりあって，振動や騒音の原因となるばかりでなく，やがて歯や軸受の焼き付きや破損を起こすおそれがあります。

歯車がなめらかに，騒音や振動を起こさないように回転させるためには，“**歯車間の遊び**”によってこの様な誤差を吸収するバックラッシが必要です。

歯車の組立に際しては，必ず歯面にバックラッシを与えてください。

バックラッシを与える方法として，

1) 中心距離（かさ歯車では組立距離）を離す方法。

この方法は歯厚に修正(歯厚減少)を与えないで，中心距離を離すだけで歯面に適度なバックラッシを与える方法です。

2) 歯切り時の切り込みを深くする方法。

この方法は歯車製作時に切り込みを深くし歯厚を減少させるもので，所定の中心距離に歯車を組み立てれば，適度なバックラッシを得ることができます。

当社のギヤのバックラッシ

当社のギヤは，2）の方法を採用していますので，歯車箱などの中心距離は，所定の設計値とすれば，適度なバックラッシが得られます。当社のギヤを所定の中心距離で組み立てた時のバックラッシを表11 ～ 13に示します。

表11　平歯車のバックラッシ（同材質での一対のかみ合い）

モジュール（m）	材質	バックラッシ（mm）
モジュール0.9以下の商品のバックラッシは0.02～0.06		
m＝0.9を超え m＝3以下	D、SU、BS	0.06×m ～ 0.12×m
	S	0.04×m ～ 0.10×m
	SCM	0.04×m ～ 0.08×m
m＝3を超え m＝5以下	S	0.06×m ～ 0.12×m

D：ポリアセタール，SU：SU304，S：S45C，BS：黄銅
SCM：SCM435（歯研品）

表12　m＝1以上のウォームギヤのバックラッシ（一対のかみ合い）

かみ合い中心距離	バックラッシ（mm）
モジュール0.8以下の商品のバックラッシは0.06～0.15	
50以下	0.08 ～ 0.20
50を超え150以下	0.15 ～ 0.30
150を超え300以下	0.30 ～ 0.50

m＝0.8以下のバックラッシは0.06 ～ 0.15（mm）

表13　かさ歯車のバックラッシ（一対のかみ合い）

モジュール（m）	バックラッシ（mm）	
	SCM, S, SU, BS	D
m＝0.9以下	0.02 ～ 0.08	0.03 ～ 0.10
1を超え2以下	0.05 ～ 0.12	0.05 ～ 0.16
2を超え4以下	0.06 ～ 0.15	-
4を超え6以下	0.08 ～ 0.20	-
6を超え7以下	0.10 ～ 0.22	-

バックラッシの測り方

(1) 平歯車及びはすば歯車

平歯車とはすば歯車のバックラッシの測り方にはいろいろな方法がありますが、次の2つの方法について説明します。

a) 円周方向のバックラッシ j_t

一対の歯車を所定の中心距離に組み立てて，一方の歯車を固定し，相手歯車のピッチ円付近にインジケータ（ダイヤルゲージなど）を当て，左右に回転させてインジケータの読みを採る方法です。はすば歯車では軸に直角な断面上でのピッチ円周上の大きさをいいます。

JISでは円周方向バックラッシと呼び，**JIS B 1703 平歯車及びはすば歯車のバックラッシ**では，円周方向バックラッシが規定されています。

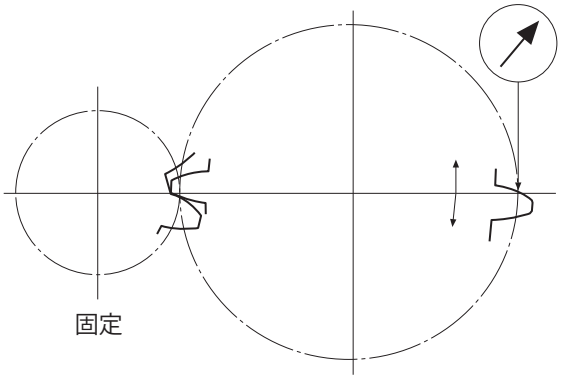


図18　円周方向バックラッシの測り方

b) 歯面に垂直な方向のバックラッシ j_n

歯面に垂直にインジケータを当て，a）と同様にインジケータの読みを採る方法です。

この他に，鉛のような軟かい金属を歯面間に挟んでかみ合わせ，押しつぶされた金属の厚さをマイクロメータなどで測定する方法があります。この時には，軸受けの遊びやその他も影響しますので，単にインジケータを当てて測る方法とは違った値を示すことがあります。JISでは法線方向バックラッシと呼びます。

平歯車の場合，圧力角をαとすると，j_tとj_nの間には次のような関係があります。

$$j_n = j_t \cos\alpha \qquad j_t = j_n / \cos\alpha$$

α＝20°のとき，cos20°＝0.93969となりますので，j_tとj_nは，ほぼ近い値となります。

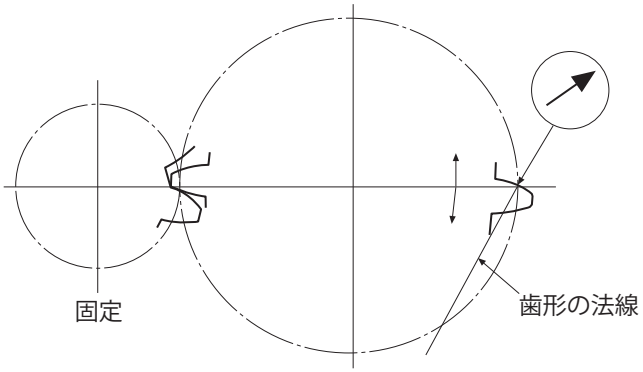


図19　法線方向バックラッシの測り方

はすば歯車の場合，歯のねじれに対して垂直にインジケータを当てて測るので，歯直角圧力角をα_n，ねじれ角をβとするとj_tとj_nの間には次のような関係があります。

$$j_n = j_t \cos\alpha_n \cos\beta \qquad j_t = j_n / \cos\alpha_n \cos\beta$$

インジケータでバックラッシを測るときに，大小歯車のどちらかの歯車を固定し，どちらの歯車をねじ歯車として食い違い軸に利用する場合，どちら歯車を固定するかによってインジケータの読みが違ってきますので，普通，小歯車を固定し，大歯車の歯面にインジケータを当てます。

(2) かさ歯車

かさ歯車のバックラッシを測る方法には，平歯車やはすば歯車と同様に，円周方向バックラッシj_tと法線方向バックラッシj_nを測る2つの方法があります。

小歯車を固定し，大歯車の外端にインジケータを当てて測定します。

歯直角圧力角をα_n，まがり歯かさ歯車の歯の中央（平均）ねじれ角をβ_mとすると，j_tとj_nの間には次のような関係があります。

$$j_n = j_t \cos\alpha_n \cos\beta_m \qquad j_t = j_n / \cos\alpha_n \cos\beta_m$$

（上記の式は，まがり歯かさ歯車の式ですが，すぐ歯かさ歯車では$\cos\beta_m = 1$です。）

JISでは，円周方向バックラッシを**JIS B 1705 かさ歯車のバックラッシ**で規定しています。

これとは別な方法として，かさ歯車を所定の位置決め距離に組立て，小歯車を軸方向に動かせて，その移動量をインジケータで読みとる方法が用いられます。

円周方向バックラッシj_tと位置決め方向のバックラッシj_xの間には次のような関係があります。

$j_x = j_t / 2\tan\alpha_n \sin\delta_1$　すぐ歯かさ歯車

$j_x = j_n / 2\tan d_t \sin\delta_1$　まがり歯かさ歯車

ここに，

j_n:正面における円周方向のバックラッシ

$j_n = j_t / \cos\alpha_t$

α_t:正面圧力角　$\alpha_t = \tan^{-1}(\tan\alpha_n / \cos\beta)$

例えば，圧力角20°歯数比1：1のすぐ歯かさ歯車において，円周方向バックラッシj_tを1mmとすると，位置決め方向バックラッシj_xは1.94mmとなります。すなわち，微小なバックラッシを約2倍に拡大して測ることができます。

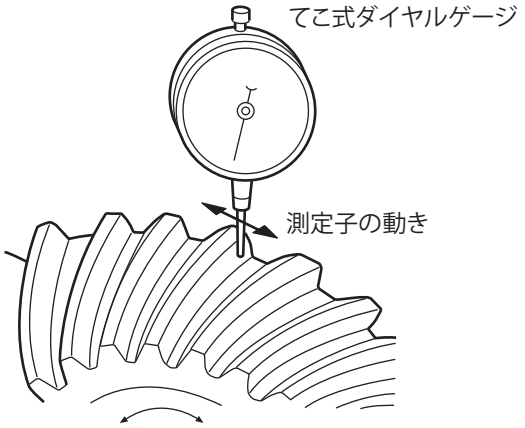


図20　かさ歯車のバックラッシ測定方法（円周方向）

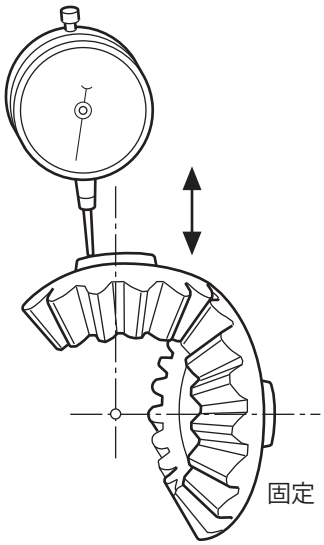


図21　小歯車を軸方向に移動させてバックラッシを測る

(3) ウォームギヤのバックラッシ

平歯車とはすば歯車と同様の方法で測定します。一般にはウォームを固定し，ウォームホイールの歯面にインジケータを当てて測定する方法が用いられます。

ウォームギヤに関するバックラッシのJIS規格はまだ制定されていないため，表12に示す値は当社ギヤを所定の中心距離に組み立てた場合に，設定されるバックラッシです。

精密な位置決めや角度割り出しに用いるウォームギヤのバックラッシは，慎重に小さくする必要がありますが，動力伝達に用いる場合は，発熱による膨張を考慮し，大きめに設定されることをおすすめします。バックラッシが大きくてもウォームギヤの性能はほとんど同じです。

バックラッシによるウォームの空転角度が問題視される場合があります。ここでは，ウォームギヤのバックラッシ計算よりもウォームの空転角度の計算例を挙げて説明します。

図22の様に，ウォームホイールの歯面にインジケータを当て，円周方向のバックラッシを測定します。

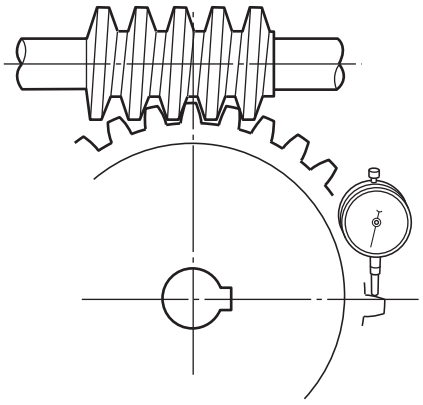


図22　ウォームギヤのバックラッシの測り方（円周方向）

例えば，モジュール2，歯数比1：30
ウォームの基準円直径31mm
ウォームの進み角3° 42′
リード＝6.2963
のウォームギヤで，円周方向バックラッシ測定値が0.2mmであった場合，以下の式で求めます。

（リード）：（360°）＝（測定した円周方向バックラッシ）：（ウォームの空転角）より，

$$\text{ウォームの空転角} = \frac{360° \times \text{円周バックラッシ}}{\text{リード}} = 360° \times 0.2 / 6.2963$$

$$= 11°27′$$

となり，ウォームが11° 27′ 空転することになります。

（ウォームのリード：ウォームが一回転するときに，歯面のある一点が軸方向に進む距離）

1.8 歯車の転位

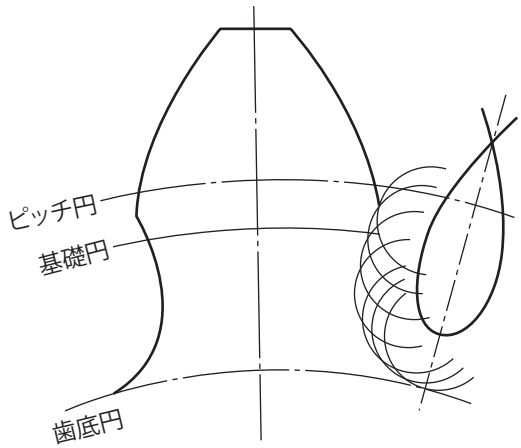
切下げ

図23に示すように，歯車の歯数が少ない場合には，歯元部分はインボリュート曲線ではなくなり，工具の刃先でえぐり取られた形となります。図のように，基礎円から上の（歯先側の）インボリュート曲線がえぐり取られる現象となったとき，これを**切下げ**といいます。切下げがある歯車は，歯元強度が低下し，インボリュート曲線も短くなっているため，かみ合いに悪い影響を与えることになります。

切下げが起きない最小歯数zは，次式により求められます。

$$z=\frac{2}{\sin^2\alpha_0} \qquad (\alpha_0: \text{工具圧力角})$$

圧力角が20°の場合，17枚以下になると切下げが起こることになりますが，DINではかみ合いに影響の無い程度の切下げを認めて14枚を最小歯数としています。



（右のトロコイド曲線はラック形工具の刃先丸みの中心の軌跡（丸み半径γ_f=0.375m=7.5））

図23　切下げ

転位歯車

(1) 転位歯車の概要

歯車の転位の主な目的は，ラック状工具（例えばホブカッタ）を用いて，次のような目的に適する歯車を作ることです。

1) 歯数の少ない歯車の切下げを防ぐ。
2) 中心距離に誤差や間違いがある場合，その中心距離で正しくかみ合う歯車を作る。
3) 大小歯車の歯厚の分配を調節することにより，両歯車の歯の強さを等しくする。
4) 騒音やポンプ歯車の閉じ込みを少なくするために，かみあい率などを適当な大きさにする。
5) 歯面の磨耗を考慮し，すべり率を調整する。（すべり率と磨耗とは比例しないという説もあります。）

これらの内，2）については，はすば歯車としてねじれ角を操作することにより，目的の達成が可能ですが，はすば歯車は軸方向力（スラスト力）が発生するため，軸受けのスラスト対策が必要となります。また，2軸間に歯数比の違った歯車を2種類以上組み合わせる場合（例えば，減速機など），2）が役に立ちます。

一般に，ラック状工具の基準ピッチ線を歯車の基準ピッチ円から外側半径方向に$x\cdot m$，すなわちモジュールのx倍ずらせて歯切りすることを正（+）転位，反対に内側半径方向にずらせて歯切りすることを負（−）転位といい，$x\cdot m$を**転位量**，xを**転位係数**といいます。（図24をご覧ください。）

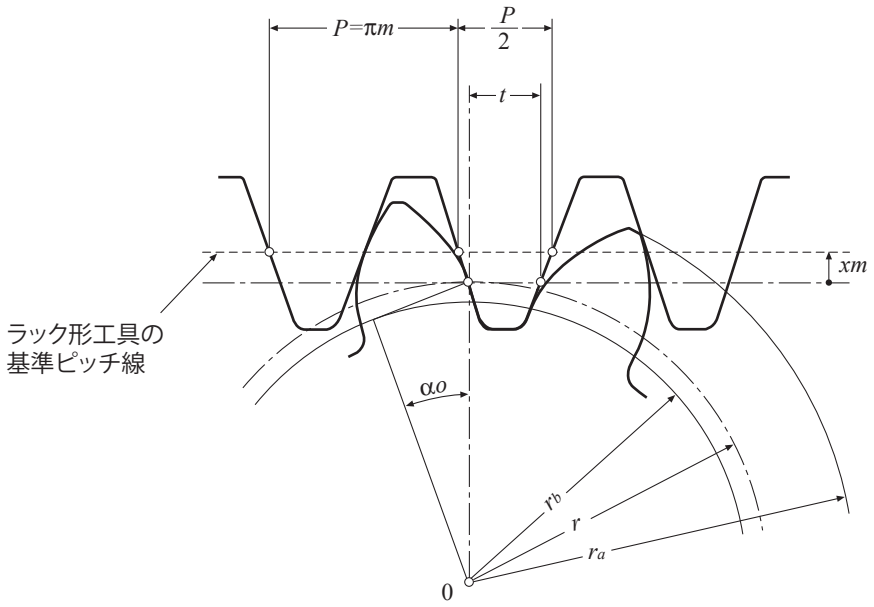


図24　転位平歯車

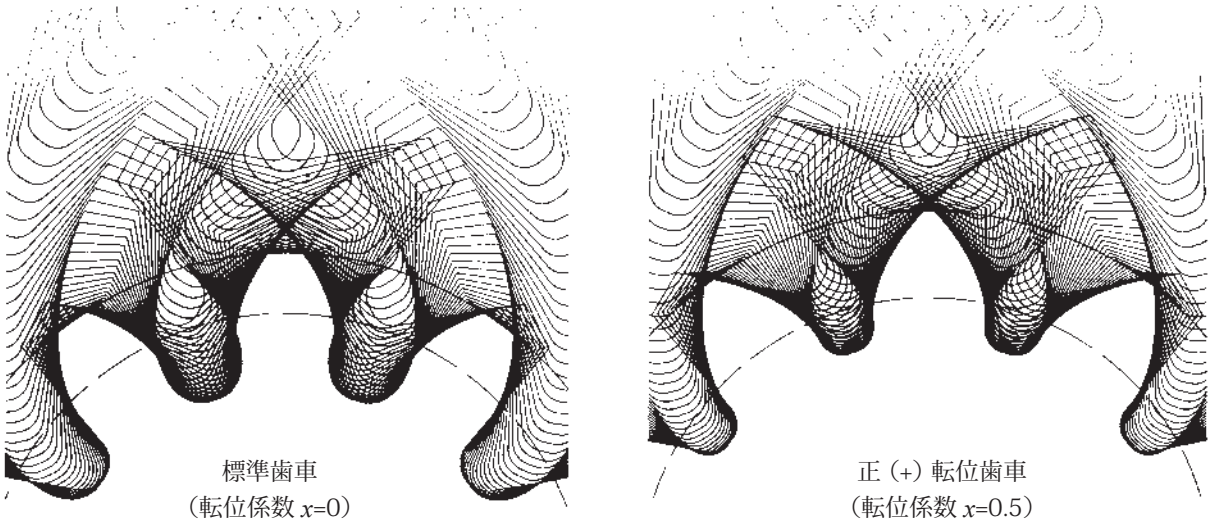


図25　転位歯車（負転位と正転位歯車の一例　歯数12枚）

注（1）旧歯車用語を採用

歯先尖り限界

歯車の正の転位量を大きくしていくと，歯先幅（トップランドの幅）が除々になくなっていき，やがては尖った歯形になります。尖った歯形は，歯たけが十分ではないため，相手歯車の歯先が歯元に干渉し，組立及び回転不可能になることがあります。したがって，歯先幅が0になるまでの転位は避けなければなりません。

平歯車の場合において，歯先幅sを求める計算式は，

$$s = m(z+2+2x)\cdot\left\{\left(\frac{\pi}{2}+2x\tan\alpha_0\right)\cdot\frac{1}{z}-(\mathrm{inv}\,\alpha_a-\mathrm{inv}\,\alpha_0)\right\}$$

となりますが，計算に時間がかかりますので，表14の圧力角20°の場合の歯車成立域グラフをご覧ください。

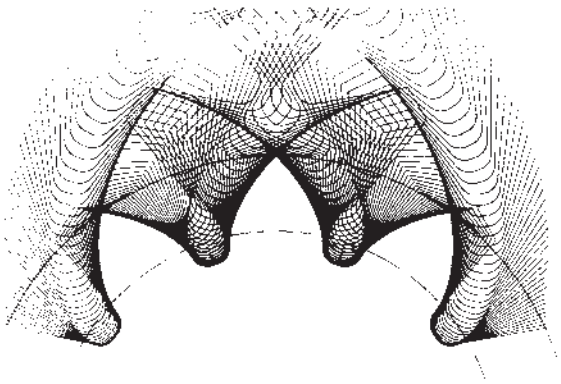


図26　歯先尖り

転位係数の選び方

(1) 切下げ防止の転位係数

圧力角20°の歯車では，歯数17枚以下になると切下げが起きますので，切下げを発生させない理論上の転位係数は次式で求められます。

$$x=\frac{17-z}{17}\qquad(z:\text{実用する歯数})$$

DINでは，歯数14枚までが実用できるとして，以下の式を規定しています。

$$x=\frac{14-z}{17}\qquad(z:\text{実用する歯数})$$

例えば圧力20°の平歯車で歯数10枚の理論上の転位係数は，

$$x=\frac{17-10}{17}=0.412$$

（表14から歯先尖りでないかを確認する必要があります。）

実用上の転位係数は，

$$x=\frac{14-10}{17}=0.235$$

となります。

(2) 中心距離を調節するための転位係数

以下，例を挙げて説明します。

例えば，圧力角20°モジュール2mm，小歯車歯数20，大歯車歯数60の平歯車において，中心距離を80.5でかみ合わせたい場合の転位係数を求める。（正規の中心距離80mm）

中心距離修正係数

$$y=(a'-a)/m$$
$$=(80.5-80)/2$$
$$=0.25$$

$$y=\frac{z_1+z_2}{2}\left(\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_w}-1\right)\ \text{より}$$

$$\cos\alpha_w=\frac{\cos\alpha_0}{\frac{2\cdot y}{z_1+z_2}+1}=\frac{\cos20°}{\frac{2\cdot0.25}{20+60}+1}$$
$$=0.933856$$
$$\alpha_w=20.955894°$$
$$\mathrm{inv}\,\alpha_w=\tan\alpha_w-\alpha_w$$
$$=\tan20.955894°-20.955894°\cdot\pi/180$$
$$=0.0172317$$

$$\mathrm{inv}\,\alpha_w=2\cdot\tan\alpha_0\cdot\left(\frac{x_1+x_2}{z_1+z_2}\right)+\mathrm{inv}\,\alpha_0\ \text{より}$$

転位係数の和

$$x_1+x_2=\left(\frac{\mathrm{inv}\,\alpha_w-\mathrm{inv}\,\alpha_0}{2\cdot\tan\alpha_0}\right)\cdot(z_1+z_2)$$
$$=\frac{0.0172317-0.0149044}{2\cdot\tan20°}=0.2557$$

a'　：実際の中心距離（mm）
a　：正規の中心距離（mm）
z_1　：小歯車の歯数
z_2　：大歯車の歯数
α_0　：工具の圧力角（°）
α_w　：かみ合い圧力角（°）
y　：中心距離増加係数
x_1　：小歯車の転位係数
x_2　：大歯車の転位係数
$\mathrm{inv}\alpha_0$：工具圧力角のインボリュート関数
$\mathrm{inv}\alpha_0=\tan\alpha_0-\alpha_0$
$\mathrm{inv}20°=0.0149044$
（最後のα_0はラジアン単位）

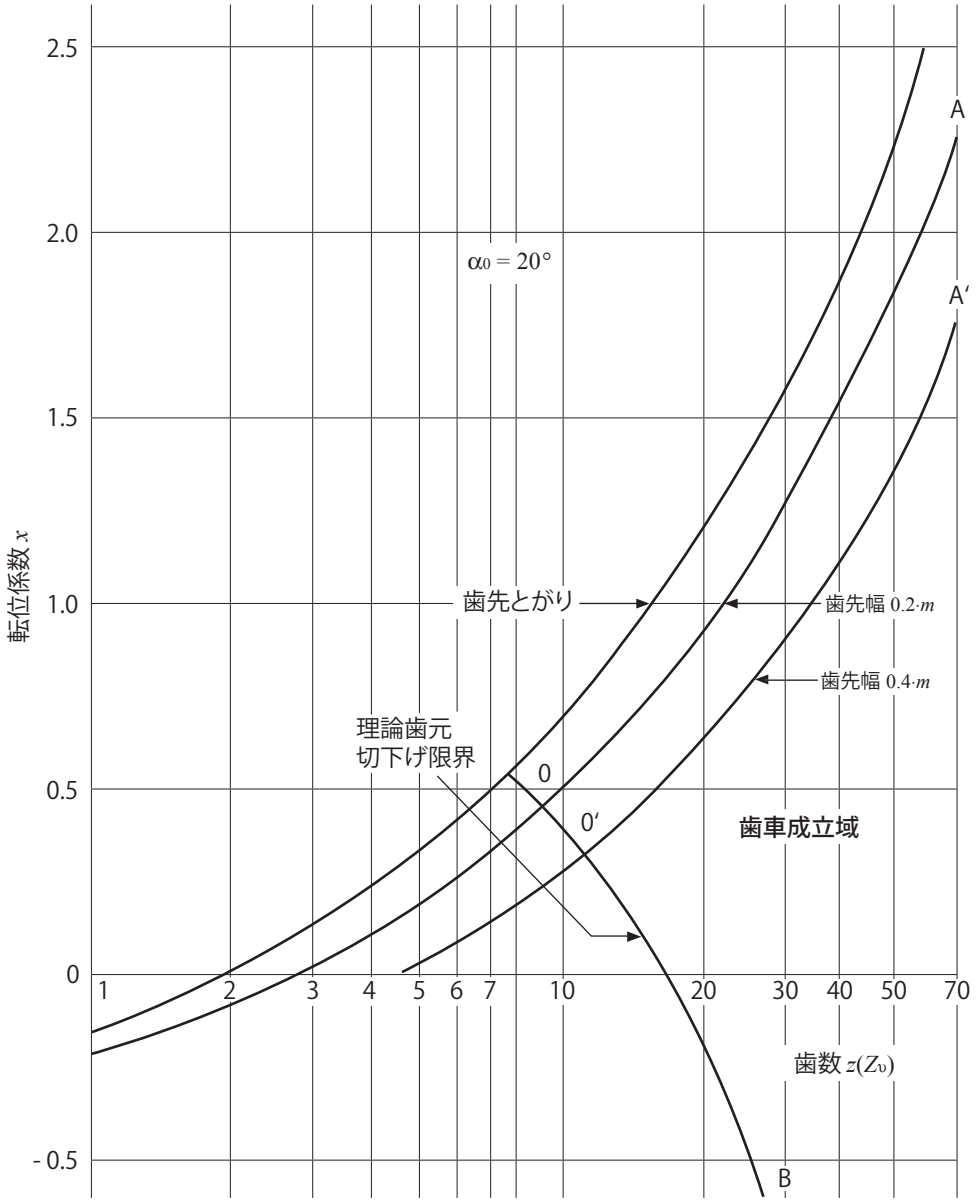
この転位係数の和（0.2557）を小歯車だけに付加することも，大歯車と小歯車に分配することもできます。

(3) 転位係数を決定する場合の注意点

正転位する場合は，一般には小歯車が転位されることが多く，計算により求めた転位係数で歯先が尖らないかを確認する必要があります。もし，歯先が尖ってしまうようなら小歯車の転位係数を小さくし，小さくした分を大歯車に分配します。

負転位する場合は，切下げの確認を行います。もし，一方の歯車が切下げを起こすようなら，負転位係数を相手歯車にも分配します。

表14に圧力角20°の場合の歯車成立域のグラフを示します。



曲線A　：歯先幅が0.2・mになる転位係数と歯数
曲線A’：歯先幅が0.4・mになる転位係数と歯数
曲線B　：理論歯元切下げ限界のになる転位係数と歯数
※はすば歯車の場合は相当平歯車歯数 (1) Z_vを横軸に用います。

$$Zv = Z / \cos^3\beta$$

表14　歯車成立域（圧力角20°）

注（1）旧歯車用語を採用

05 歯形

当社の規格平歯車（歯数8 ～ 11）は，DIN規格の05歯形を採用しています。05歯形とは，転位係数を+0.5に固定したものです。頂げきが少なくなる傾向にあるため，歯末のたけ短縮係数×モジュール（$k \cdot m$）だけ外径を小さくしてあります。

以下に当社の規格平歯車（歯数8 ～ 11）の転位の計算方法について説明します。

かみ合い圧力角α_wは，

$$\mathrm{inv}\,\alpha_w = 2\tan\alpha\left(\frac{x_1+x_2}{z_1+z_2}\right)+\mathrm{inv}\,\alpha$$

ここに，

z_1=小歯車の歯数

z_2= 大歯車の歯数

x_1=小歯車の転位係数

x_2=大歯車の転位係数

α_w= 圧力角（工具圧力角）

inv= インボリュート関数　$\mathrm{inv}\alpha=\tan\alpha-\alpha$

（インボリュート関数表は164 ～ 167ページ参照）

中心距離修正係数yは，

$$y=\frac{z_1+z_2}{2}\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w}-1\right)$$

です。

中心距離a_xは，

$$a_x=\left(\frac{z_1+z_2}{2}+y\right)m$$

ここに，

m＝モジュール

かみ合いピッチ円直径はd'_1，d'_2は，

$$d'_1=2\,a_x\left(\frac{z_1}{z_1+z_2}\right)$$

$$d'_2=2\,a_x\left(\frac{z_2}{z_1+z_2}\right)$$

となります。

次に基準円直径d_1，d_2は，

$d_1=z_1m$

$d_1=z_2m$

歯先円直径d_{ax}は，

$$d_{ax}=2m\left(\frac{z+3}{2}-\kappa\right)$$

ここに，

k＝歯末のたけ短縮係数

$$\kappa m=\left[x_1+x_2-\frac{z_1+z_2}{2}\left(\frac{\cos\alpha}{\cos\alpha_w}-1\right)\right]m$$

工具の歯末のたけが1.25mのとき，頂げき（最小値）は0.21mとなります。

歯数8と8がかみ合う場合の中心距離は

（転位係数　x＝0.5）

$$a_x/m=8.7788\text{mm}$$

歯数10と10がかみ合う場合の中心距離は

（転位係数　x＝0.5）

$$a_x/m=10.8043\text{mm}$$

となります。

上の計算例はモジュール1mmの場合です。例えばモジュール2mmの歯数8と8がかみ合う場合は上記のa_x/m＝8.7788mmより，中心距離a_xは，

$a_x=8.7788\times2$

$=17.5576\text{mm}$

となります。

その他の標準歯車と組合わせて使用することができます。

歯車工業　第54号「ドイツ歯車規格」より引用

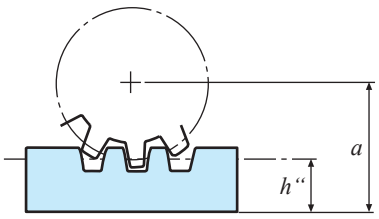
（DIN 3994，3995）

当社の転位平歯車とかみ合う平歯車の中心距離

中心距離a_x/モジュールmの表，m＝1のとき，モジュール倍してご使用ください。

歯数 ＼ 歯数	8	9	10	11
8	8.779	9.286	9.792	10.298
9	9.286	9.792	10.299	10.804
10	9.792	10.299	10.804	11.310
11	10.299	10.804	11.310	11.815
12	10.437	10.939	11.441	11.943
13	10.939	11.441	11.943	12.445
14	11.441	11.953	12.445	12.946
15	11.943	12.445	12.946	13.448
16	12.445	12.946	13.448	13.949
17	12.946	13.448	13.949	14.451
18	13.448	13.949	14.451	14.952
19	13.949	14.451	14.952	15.453
20	14.451	14.952	15.453	15.954
21	14.952	15.453	15.954	16.455
22	15.453	15.954	16.455	16.956
23	15.954	16.455	16.956	17.457
24	16.455	16.956	17.457	17.958
25	16.956	17.457	17.958	18.459
26	17.457	17.958	18.459	18.960
27	17.958	18.459	18.960	19.461
28	18.459	18.960	19.461	19.962
29	18.960	19.461	19.962	20.463
30	19.461	19.962	20.463	20.963
32	20.463	20.963	21.464	21.965
34	21.464	21.965	22.465	22.966
35	21.965	22.465	22.966	23.467
36	22.465	22.966	23.467	23.967
38	23.467	23.967	24.468	24.968
40	24.468	24.968	25.469	25.969
42	25.469	25.969	26.470	26.970
44	26.470	26.970	27.471	27.971

歯数 ＼ 歯数	8	9	10	11
45	26.970	27.471	27.971	28.472
46	27.471	27.971	28.472	28.972
48	28.472	28.972	29.473	29.973
50	29.473	29.973	30.473	30.974
52	30.473	30.974	31.474	31.974
54	31.474	31.974	32.475	32.975
55	31.974	32.475	32.975	33.475
56	32.475	32.975	33.475	33.976
58	33.475	33.976	34.476	34.976
60	34.476	34.976	35.477	35.977
62	35.477	35.977	36.477	36.977
64	36.477	36.977	37.478	37.978
65	36.977	37.478	37.978	38.478
66	37.478	37.978	38.478	38.979
68	38.478	38.979	39.479	39.979
70	39.479	39.979	40.879	40.979
72	40.479	40.979	41.480	41.980
75	41.980	42.480	42.980	43.480
80	44.481	44.981	45.481	45.981
84	49.482	46.982	47.482	47.982
85	46.982	47.482	47.982	48.482
90	49.483	49.983	50.483	50.983
95	51.983	52.483	52.984	53.484
96	52.483	52.984	53.484	53.984
100	54.484	54.984	55.484	55.985
105	56.985	57.485	57.985	58.485
108	58.485	58.985	59.485	59.985
110	59.485	59.985	60.485	60.986
112	60.485	60.986	61.486	61.986
115	61.986	62.486	62.986	63.486
120	64.486	64.987	65.487	65.987



当社の転位平歯車とかみ合うラックの組立距離

$$a = h'' + \frac{m \times z}{2} + xm$$

ここに，

a　：組立位置距離（ラック底面から平歯車の中心までの距離）

h''：ラックのかみ合い高さ（カタログ258ページ参照）

m　：モジュール

x　：転位係数

z　：歯数

（モジュール1以上　歯数8 ～ 11はx＝0.5　12以上はx＝0）

1.9 かみ合い率とすべり率

かみ合い率

(1) かみ合い率の考え方

歯車の円周上には多数の歯が製作されていますが，かみ合いの部分で実際にかみ合っているのは数枚の歯数です。このかみ合いの状態を表現するためのに**かみ合い率**が有ります。かみ合い率は，歯車の振動，騒音，強度，回転むらなどに影響を与える要素の一つです。一般に，かみ合い率は大きいほうが良いとされています。以下，平歯車同士のかみ合いを例に挙げて説明します。

図27に示すように、インボリュート歯車は両歯車の基礎円の接線 $\overline{I_1I_2}$ 上でかみ合いが行われています。この線のことを**かみ合い線**または**作用線**と呼びます。

この線上で実際にかみ合いが行われているのは，互いの歯先円で区切られたA_1からA_2までの範囲です。

いま，小歯車を駆動側とすると，まず小歯車の歯元部と大歯車の歯先がA_1で接触し，かみ合いが始まります。回転が進むと接触点はP点（ピッチ点）を通過し，大歯車の歯元部と小歯車の歯先がかみ合うようになり，やがてA_2点でかみ合いを終了し互いに離れていきます。回転が連続的に行われるためには，一組のかみ合いが終了する前に，次の一組の歯がかみ合っていなければなりません。

図27において，$\overline{A_1A_2}=g_a$を**かみ合い長さ**と呼び，A_1点からP点までの距離を**近寄りかみ合い長さ**g_a，P点からA_2点までの距離を**遠のきかみ合い長さ**g_βと呼びます。

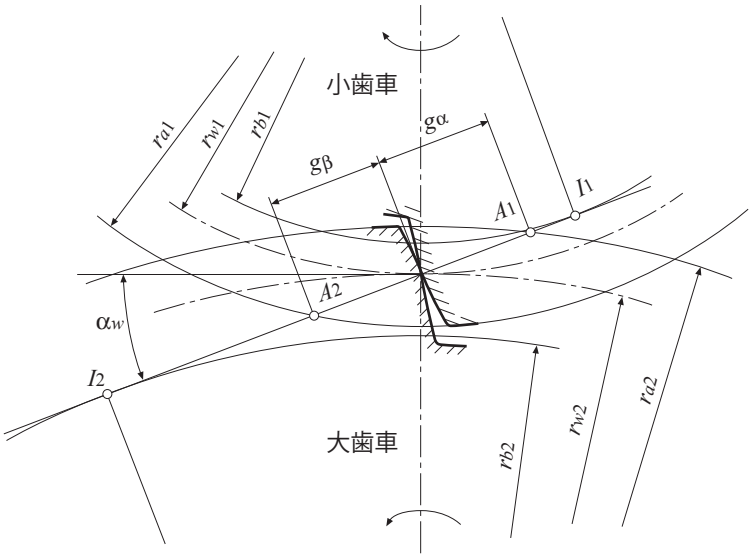


図27　かみ合い長さ

かみ合いの長さgは次式により求められます。

$$g_\alpha = \overline{A_1P} = \overline{A_1I_2} - \overline{PI_2} = \sqrt{\gamma_{a2}{}^2 - \gamma_{b2}{}^2} - \gamma_{w2} \bullet \sin\alpha_w$$

$$g_\beta = \overline{A_2P} = \overline{A_2I_1} - \overline{PI_1} = \sqrt{\gamma_{a1}{}^2 - \gamma_{b1}{}^2} - \gamma_{w1} \bullet \sin\alpha_w$$

$$a_x = \gamma_{w1} + \gamma_{w2} \quad より$$

$$g_a = g_\alpha + g_\beta = \sqrt{\gamma_{a2}{}^2 - \gamma_{b2}{}^2} + \sqrt{\gamma_{a1}{}^2 - \gamma_{b1}{}^2} - \alpha_x \bullet \sin\alpha_w$$

ここに，

γ_a :歯先円半径

（添え字の1，2は，それぞれ小歯車，大歯車を表す。）

γ_b : 基礎円半径

α_w : かみ合い圧力角

α_x : 中心距離（転位歯車）

かみ合い線上の歯の間隔は，法線ピッチp_bで，**かみ合い率**はかみ合い長さを法線ピッチp_bで除した値であり，連続的にかみ合いを続けるためには，かみ合い長さが常に法線ピッチよりも大きくなければなりません。

すなわち，かみ合い率εは，

$$\varepsilon = \frac{\text{かみ合い長さ}}{\text{法線ピッチ}} = \frac{g_a}{\rho_b} \quad (\rho_b = \pi m \cos\alpha_0)$$

となり，εは1以上でなければなりません。

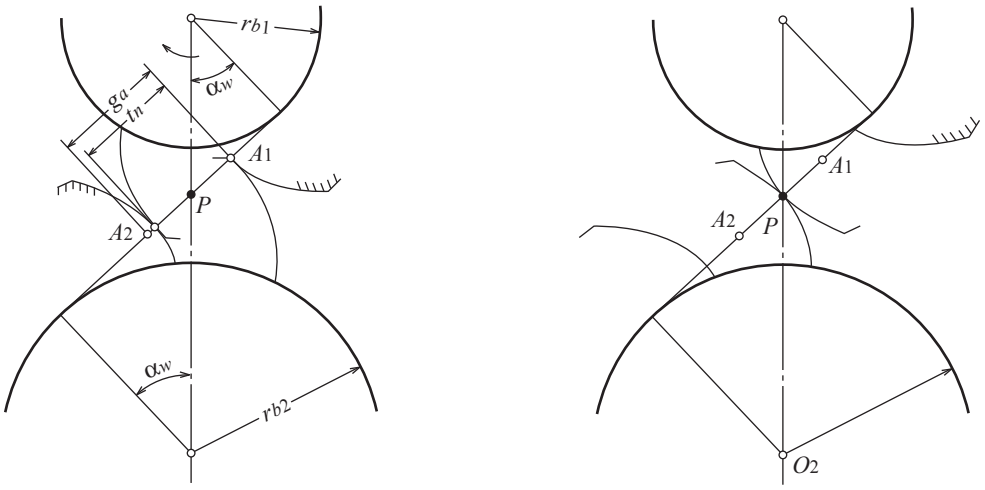


図28　2歯かみ合いと1歯かみ合い

いま，かみ合い率1.487の平歯車のかみ合いを考えます。この内容について検討すると，図28より，かみ合い初めには2組の歯がかみ合っていて，回転が進みピッチ点近傍になると一組の歯のかみ合いになります。さらに回転が進むとまた2組の歯のかみ合いとなり，始めの状態の繰り返しになります。そこで，かみ合い率1.487の持つ意味は，かみ合い始めと終わり付近でかみ合い長さの48.7％の範囲で2組の歯がかみ合っていて，残りの51.3％の範囲では一組の歯だけがかみ合っていることになります。

圧力角20°の歯車では,僅か1枚の歯車に全負荷が加わるときと,2枚の歯に全負荷が分配されるときをくりかえしながら回転しています。一歯かみ合いの場合と2歯かみ合いの場合とでは歯車のたわみ量が異なり,これが振動,騒音の原因となります。

かみ合い率は,ピッチ円直径,圧力角,歯数,転位係数及び歯先円直径などにより決まる値となるため,次のようなことがいえます。

1）圧力角が大きくなると,かみ合い率は減少します。
2）転位係数の和（x_1+x_2）が大きくなるとかみ合い率は減少します。
3）圧力角とモジュールは同一で並歯の場合,歯数が増えるとかみ合い率は増加します。逆に歯数が少なくなり切下げが起こると,かみ合い率が極端に減少し,圧力角が小さいほどこの傾向は顕著になります。
4）高歯（歯の高さが標準よりも高い）にすると,歯先円直径が増加しますが,特別の工具が必要となります。

(2) 平歯車のかみ合い率

表15に平歯車のかみ合い率を求める式を示します。大歯車がラックの場合, $ga=(ha_2-x_1m)/\sin\alpha_w$となります。ここに,

ha_2: ラックの歯末のたけ

x_1 : 平歯車の転位係数

(3) はすば歯車のかみ合い率

はすば歯車の正面におけるかみ合い率は,平歯車と同じ考えで求めることができますが，歯がねじれているため幅bを歯直角ピッチで除した値（この値を重なりかみ合い率と呼びます。）を正面かみ合い率に加算します。

すなわち,

はすば歯車の全かみ合い率ε_γ＝正面かみ合い率ε_α+重なりかみ合い率ε_βとなります。表16にはすば歯車のかみ合い率を求める式を示します。

表15　平歯車のかみ合い率と計算例

共通諸元：モジュール m=2, 工具圧力角 α_0=20°

歯車1	歯車2		かみ合い率 ε	計算例
平歯車 $z_1=12$ $x_1=0.5$	平歯車	$z_2=40$ $x_2=0$	$\varepsilon=\dfrac{\sqrt{\gamma_{a1}^2-\gamma_{b1}^2}+\sqrt{\gamma_{a2}^2-\gamma_{b2}^2}-\alpha_x\sin\alpha_w}{\pi m\cos\alpha_0}$	ε=1.399
	ラック	$x_2=0$	$\varepsilon=\dfrac{\sqrt{\gamma_{a1}^2-\gamma_{b1}^2}+\dfrac{h_{a2}-x_{1m}}{\sin\alpha_0}-\gamma_1\sin\alpha_0}{\pi m\cos\alpha_0}$	ε=1.475
	内歯車	$z_2=100$ $x_2=0$	$\varepsilon=\dfrac{\sqrt{\gamma_{a1}^2-\gamma_{b1}^2}+\sqrt{\gamma_{a2}^2-\gamma_{b2}^2}+\alpha_x\sin\alpha_w}{\pi m\cos\alpha_0}$	ε=1.515

表16　はすば歯車のかみ合い率

共通諸元：歯直角モジュール m_n=2, ねじれ角 β=15°, 工具圧力角 α_0=20°, 歯幅 b=20

歯車 1	歯車2	かみ合い率 ε	計算例
$z=20$ $x_{n1}=0$	$z=40$ $x_{n2}=0$	正面かみ合い率 $\varepsilon_\alpha=\dfrac{\sqrt{\gamma_{a1}^2-\gamma_{b1}^2}+\sqrt{\gamma_{a2}^2-\gamma_{b2}^2}-\alpha_x\sin\alpha_{wt}}{\pi m_t\cos\alpha_t}$ 重なりかみ合い率 $\varepsilon_\beta=\dfrac{b\bullet\sin\beta}{\pi m_n}$ 全かみ合い率 $\varepsilon_\gamma=\varepsilon_\alpha+\varepsilon_\beta$	ε_α=1.561 ε_β=0.824 ε_γ=2.385

(4) かさ歯車のかみ合い率

すぐ歯かさ歯車は,背円すい上に想定される相当平歯車 (1) を用いて,平歯車と同じ考えでかみ合い率を求めることができます。まがり歯かさ歯車は，歯がねじれているために,相当平歯車 (1) より求めた正面かみ合い率に重なりかみ合い率に加算します。

表17にかさ歯車のかみ合い率を求める式を示します。

表17　かさ歯車のかみ合い率

共通諸元：モジュール m=2, 軸角 Σ=90,
歯幅 b=13（まがり歯）　ピッチ円直径 d_1=36　ピッチ角 δ_1=26° 33′ 54″
d_2=72　δ_2=63° 26′ 06″

歯車 1	歯車 2	かみ合い率 ε	計算例
z=18	z=36	背円すい距離 $R_v = \dfrac{d}{2 \cdot \cos\delta}$	R_{v1}=20.125 R_{v2}=80.499
		相当平歯車 (1) の基礎円半径 （すぐ歯）　$R_{vb} = R_v \cdot \cos\alpha_0$ （まがり歯）　$R_{vb} = R_v \cdot \cos\alpha_t$	R_{vb1}=18.911 R_{vb2}=75.644 R_{vb1}=18.391 R_{vb2}=73.564
		相当平歯車 (1) の基礎円半径 $R_{va} = R_v + h_a$	（すぐ歯） R_{va1}=22.815 R_{va2}=81.809 （まがり歯） R_{va1}=22.410 R_{va2}=81.614
		かみ合い率（すぐ歯） $\varepsilon = \dfrac{\sqrt{R_{va1}^2 - R_{vb1}^2} + \sqrt{R_{va2}^2 - R_{vb2}} - (R_{v1} + R_{v2})\sin\alpha_0}{\pi m \cos\alpha_0}$	ε=1.610
		正面かみ合い率（まがり歯） $\varepsilon_\alpha = \dfrac{\sqrt{R_{va1}^2 - R_{vb1}^2} + \sqrt{R_{va2}^2 - R_{vb2}^2} - (R_{v1} + R_{v2})\sin\alpha_t}{\pi m \cos\alpha_t}$ 重なりかみ合い率 $\varepsilon_\beta = \dfrac{b\tan\beta_m}{\pi m} \cdot \dfrac{R_e}{R_e - 0.5b}$ 全かみ合い率 $\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$	ε_α=1.270 ε_β=1.728 ε_γ=2.998

注（1）旧歯車用語を採用

すべり率の考え方（参考）

かみ合っている歯車の歯面は,ピッチ点以外では滑りながら回転を伝達するため,この滑りの状態を表現するために**すべり率**があります。

いま，図29のように一対の歯形がc点で接触している場合,これが微小時間のあとに接触する点をそれぞれc_1, c_2として,$cc_1 = ds_1$, $cc_2 = ds_2$とおけば, すべり率δは,

$$\delta_1 = \frac{ds_1 - ds_2}{ds_1} \qquad \delta_2 = \frac{ds_2 - ds_1}{ds_2}$$

で表されます。

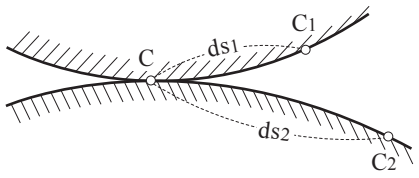


図29　すべり

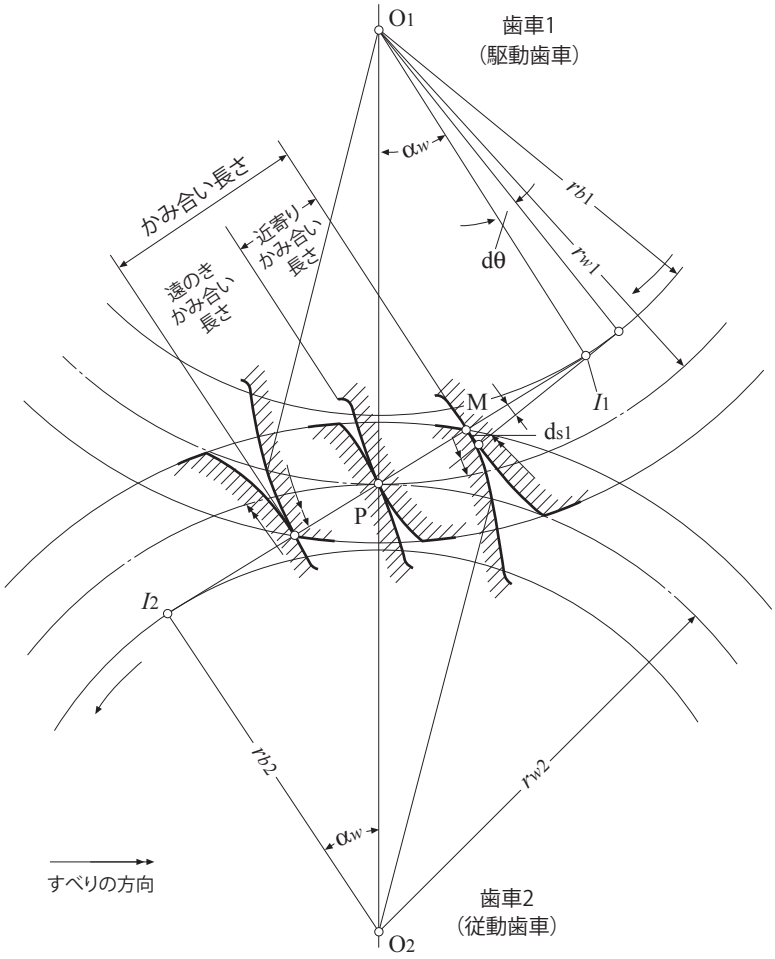


図30　インボリュート歯形の歯面のすべりの方向

インボリュート歯車の場合,図30において,歯車1が$d\theta$回転した場合,歯車2は$\gamma_1 \cdot d\theta/\gamma_2$回転します。この場合,歯形上を接触点が移動した長さds_2, ds_1はそれぞれ,

$$ds_1 = (\overline{I_1M})d\theta \qquad ds_1 = (\overline{I_2M})\frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}d\theta$$

となります。 $\overline{PM} = L$ とすると

$$\overline{I_1M} = \overline{PI_1} - \overline{PM} = \gamma_{w1} \cdot \sin\alpha_w - L$$

$$\overline{I_2M} = \overline{PI_2} + \overline{PM} = \gamma_{w2} \cdot \sin\alpha_w + L$$

$$L = \sqrt{{\gamma_{a2}}^2 - {\gamma_{b2}}^2} - \gamma_{w2} \cdot \sin\alpha_w$$

となります。
歯形の各部分のすべり率を表18に示します。

表18　インボリュート歯車のすべり率

	歯末面のすべり率	歯元面のすべり率
歯車1	$\delta_{a1} = \dfrac{1+\frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}}{\frac{\gamma_{w1}}{L}\sin\alpha_w + 1}$	$\delta_{f1} = \dfrac{1+\frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}}{\frac{\gamma_{w1}}{L}\sin\alpha_w - 1}$
歯車2	$\delta_{a2} = \dfrac{1+\frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}}{\frac{\gamma_{w1}}{L}\sin\alpha_w + \frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}}$	$\delta_{f2} = -\dfrac{1+\frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}}{\frac{\gamma_{w1}}{L}\sin\alpha_w - \frac{\gamma_{w1}}{\gamma_{w2}}}$

すなわち,インボリュート歯車では図31のように,かみ合いピッチ点以外はすべり接触となり,そのすべり率はピッチ点から遠ざかるにつれて大きくなります。
インボリュート歯形は,かみ合い率を大きくするとすべり率の条件が悪くなる傾向にあります。

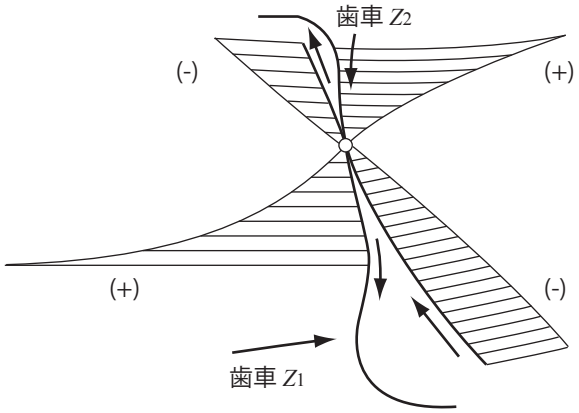


図31　すべり率の分布

1.10 歯形修正

歯形修正

歯形修正とは，歯先または歯元すみ肉部に近い部位において，歯形をインボリュートからずらせる（主に凹にする）ように修正することをいいます。

歯形修正は負荷による歯のたわみやピッチ誤差による歯先の干渉を避けるためだけではなく，なめらかに歯車が回転することを目的に施されます。

しかし，必要以上に歯形修正量を大きくすると，歯形誤差とおなじことになり，かみあい率を低下させて好ましくありません。歯形の修正量は十分に検討して決定されることをおすすめします。

一般には，駆動側歯車の歯元すみ肉部が修正され，従動側歯車は歯先部分が修正されます。

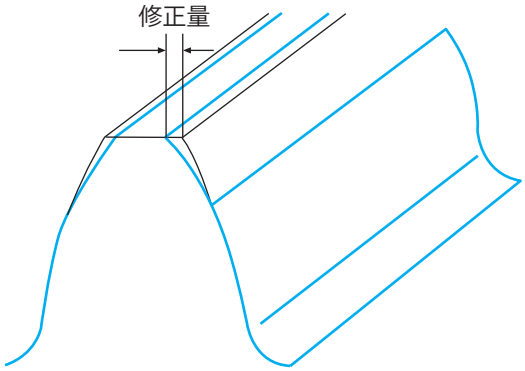


図32　歯形修正
（従動側歯車歯先部）

歯すじ修正
（クラウニングとレリービング）

図33のように，クラウニングとは歯すじの中央部から歯すじ端に向かって，歯厚を連続的に減少させることをいいます。

また，図34のレリービングは，歯すじの端部の少部分において歯厚を連続的に減少させることをいいます。

これら両者の目的は，片当たりによる応力集中を避けるためのものですが，両者の違いは，クラウニングはこれを施されているのに対して，レリービングは単に歯すじの端部を逃がしたものであるため，片当たりの防止だけのために施されます。

これら両者を歯すじ修正と呼ぶことがあります。歯すじ修正量が大きいと，歯当たり面積を小さくしてしまうため，好ましくありません。

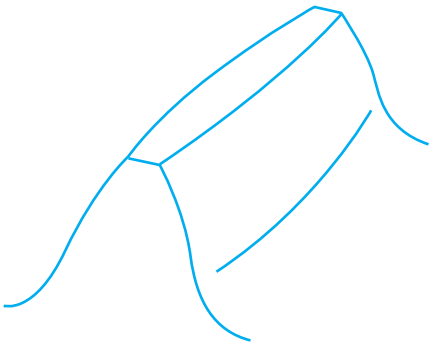


図33　クラウニング

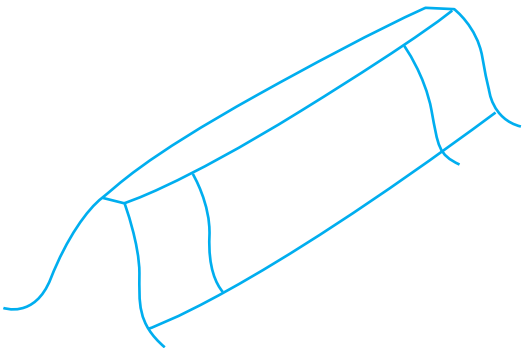


図34　レリービング

トッピングとセミトッピング

歯切り工具による歯面の歯切り時に，歯車外径を同時に切削することをトッピングといい，歯先面取り加工を行うことをセミトッピングといいます。

トッピングは，歯車のモジュールが小さく，またぎ歯厚法で歯厚が管理できない場合，歯車外径を外側マイクロメータなどで測り，歯厚を管理します。歯切り工具は，歯車が所定の外径になれば歯厚も所定寸法になるように設計されています。また，外径を同時に切削するので，外径の振れを少なくできる効果があります。

セミトッピングは,歯先に発生しやすい打痕やバリを防止したり,小さな打痕ならば発生してもかみ合いに参加しないため､振動や騒音に効果が期待できます。

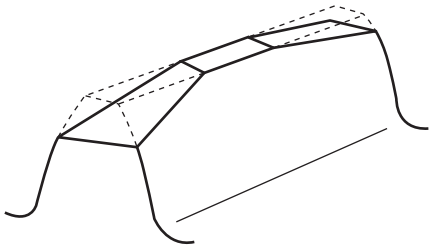
セミトッピングは，大きすぎるとかみ合い率が低下するために好ましくありません。

歯形整形

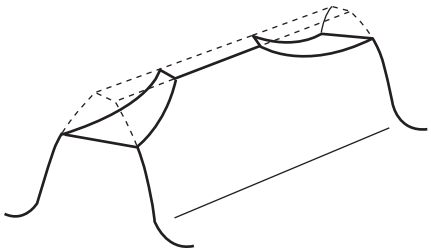
歯車外径の歯すじ方向両端を僅かに削ったもので，直線整形と曲線整形の2種類があります。歯のばねこわさの変動を小さくできるため，振動騒音の低減に効果があるとされています。

ニーマン教授は，歯すじ方向片側を削り，歯車外周を僅かにテーパ状（ベベルギヤほど極端ではない。）としたものや，歯車外周を円弧に削り太鼓の胴としたものを発表していますが, ここでは説明を省略します。

また，かさ歯車の内側での干渉を防止するため，かさ歯車内端の外周部を僅かに削ったものがあります。



直線整形



円弧整形

第 2 章　歯車使用上の注意

2.1 はすば歯車の使用上の注意

① 理想的なかみ合いをさせるために，それぞれのねじ歯車の軸角90°はできるだけ正確に取付けをしてください。
② ご使用の際，軸方向のスラストを生じますので，軸方向スラストを十分ささえるように軸受を定めてください。
③ はすば歯車のスラスト荷重について
　はすば歯車は平歯車に比較して，かみ合いがなめらかになる長所がありますが，歯すじがねじれているために軸方向のスラストを生じる欠点があります。したがって，軸方向スラストを十分ささえるように軸受の設計をしてください（図1参照）。
④ はすば歯車に作用する荷重（図2参照）。

(a) 接線荷重

$$F = \frac{1.432H \times 10^6}{dn}$$

ここに，
H ：伝達動力（PS）
n ：毎分回転数（rpm）
d ：ピッチ円直径（mm）

(b) 軸方向スラスト

$$F_\alpha = F\tan\beta \ \text{(kgf)}$$

ここに，
β ：ねじれ角

(c) 軸を開かせようとする荷重

$$F_s = F\tan\alpha_t \ \text{(kgf)}$$
$$= \frac{F\tan\alpha_n}{\cos\beta}$$

ここに，
α_t ：正面圧力角
α_n ：歯直角圧力角

(d) 法線荷重（歯面に垂直な方向）

$$F_n = \frac{F}{\cos\beta\cos\alpha_n} \ \text{(kgf)}$$

軸受に作用する荷重は，①歯車の接続方向に,Fを2つの軸受に分けたもの，②それに直角な半径方向に，F_sを2つの軸受に分けたもの，③なおF_aによる偶力に基づくもの（F_aの作用する面中でそれと直角をなす方向に働く）。

以上，3つの荷重のベクトル和が各軸受に作用します。

「歯車の設計と製作」和栗明著より。

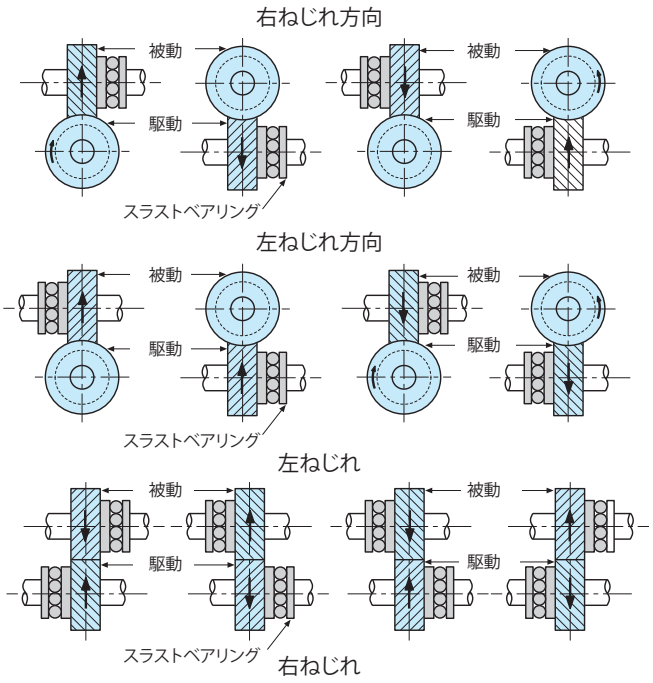


図1　はすば歯車の軸方向にかかるスラスト

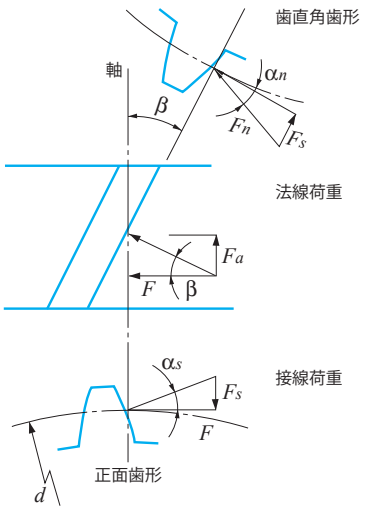


図2

2.2 かさ歯車の使用上の注意

① 理想的なかみ合いを得るためには，かさ歯車の軸角は，できるだけ正確に，バックラッシも十分あたえて組立ててください。

② かさ歯車の場合，特に注意することはその取付方法です。多くの場合に，かさ歯車の軸受は片持ちとなりますから，荷重を受けると軸がたわみやすい欠点があります。そのために，歯当たりが片当たりとなって悪くなります。
歯車軸および軸受は十分にがんじょうにして，歯車に接近させて軸受を設けるようにしてください。
　組立の際に，かさ歯車を軸方向に調整できるようにして，歯当たりを良くするために，ハブの端面にシムを入れると，歯当たりの調整が簡単にできます。

③ 機械切りをした，すぐばかさ歯車のピッチ円周速度は328m/min程度以内とし，それ以上の周速度で使用する場合は，まがりばかさ歯車をご使用くださるようおすすめします。
　グリーソン社では，ピッチ円周速度が5.5m/s以上か，または毎分回転数が1,000以上のときは，まがりばかさ歯車を，そして周速度が40m/s以上では研削をした，まがりばかさ歯車を推奨しています。

④ まがりばかさ歯車は，すぐばかさ歯車よりも，同時かみ合い歯数が多く，常になん枚かの歯がピッチ円すい上において接触をしていますので，円滑な回転を伝達することができます。
　また，歯と歯の接触線はピッチ円すい母線に対して同時かみ合い歯数が多いことと，1枚の歯先に荷重が集中しないで，非常にじょうぶなため，より小さく設計することができ，高速度回転に使用できる長所があります。
　短所としては，歯すじが曲がっているために，スラストが発生します。したがって，スラストを十分ささえるように軸受を設けてください。（図3参照）

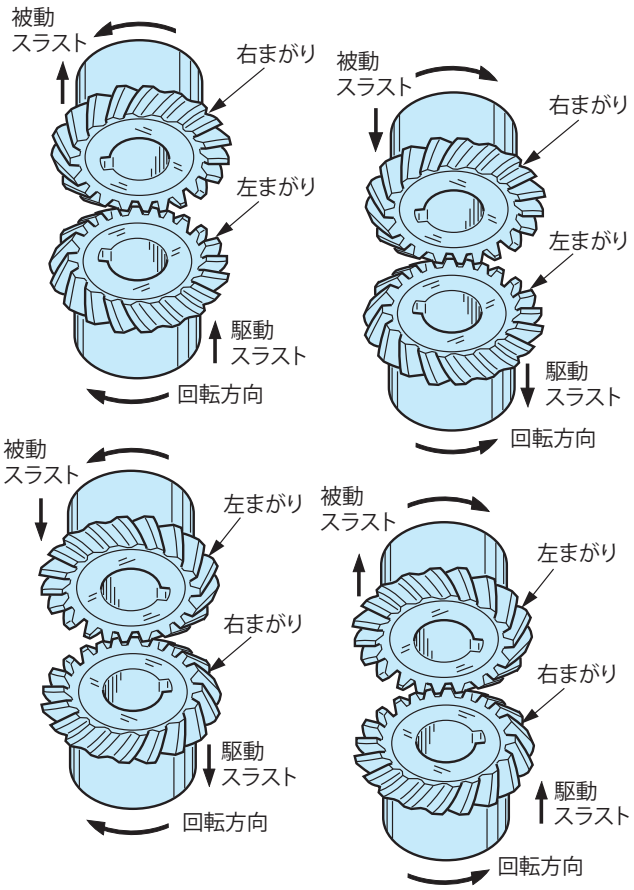


図3　かさ歯車に働くスラスト

⑤ すぐばかさ歯車に作用する荷重（図4参照）

(a) 接線荷重

$$F=\frac{1.432H\times10^{6}}{d_m n}\ \text{(kgf)}$$

ここに，

H ：伝達動力（PS）

n ：毎分回転数（rpm）

d_m ：平均ピッチ円直径（mm）

(b) 軸方向スラスト

$$F_\alpha=F\tan\alpha\sin\delta\ \text{(kgf)}$$

ここに，

α ：圧力角

δ ：ピッチ角

(c) 軸を開かせようとする荷重

$$F_s=F\tan\alpha\cos\delta\ \text{(kgf)}$$

(d) 法線荷重

$$F_n=\frac{F}{\cos\alpha}\ \text{(kgf)}$$

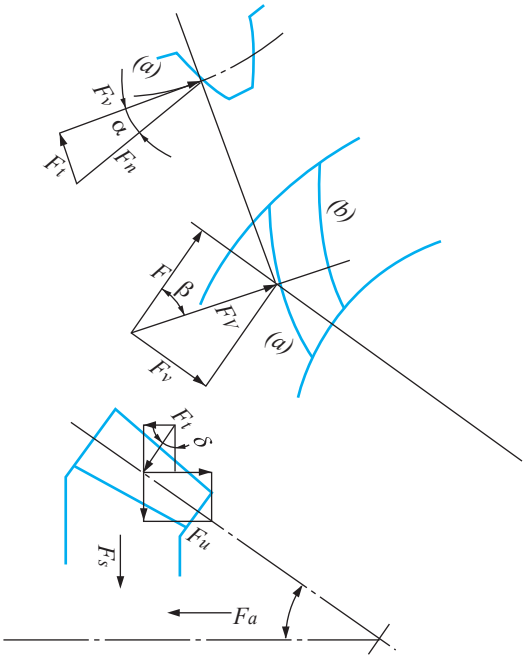


図5

⑥ まがりばかさ歯車に作用する荷重（図5参照）

(a) 接線荷重

$$F=\frac{1.432H\times10^{6}}{d_m n}$$

ここに，

H ：伝達馬力（PS）

n ：毎分回転数（rpm）

d_m ：平均ピッチ円直径（mm）

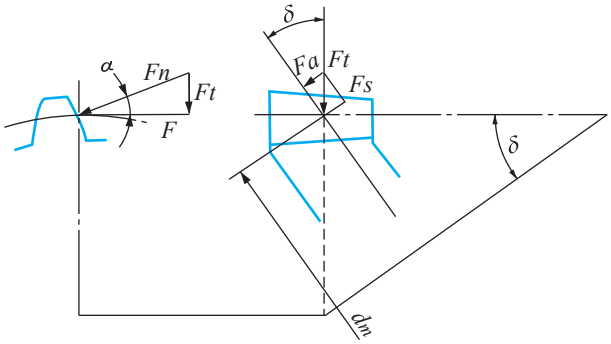


図4

(b) とつ（凸）側が駆動するとき

(b.1) 軸方向スラスト

駆動歯車

$$F_a=F\{\tan\alpha\left(\frac{\sin\delta}{\cos\beta}\right)-\tan\beta\cos\delta\}\cdot9.80665\,[\text{N}]$$

被動歯車

$$F_a=F\{\tan\alpha\left(\frac{\sin\delta}{\cos\beta}\right)+\tan\beta\cos\delta\}\cdot9.80665\,[\text{N}]$$

ここに，

α :圧力角

δ :ピッチ角

β ：まがり角

ただし，$F_a>0$のときは頂点からはなれる方向に$F_a<0$のときは頂点へ向かいます。図5の場合です。

一般に，小歯車はピッチ角δ が小さく，$F_a<0$となりますから，とつ（凸）側に力が働かないようにします。

(b.2) 軸を開かせようとする荷重

$$F_s=F\{\tan\alpha\left(\frac{\cos\delta}{\cos\beta}\right)+\tan\beta\sin\delta\}\ \text{(kgf)}\cdot9.80665\,[\text{N}]$$

(b.3) 法線荷重

$$F_n=\frac{F}{\cos\beta\cos\alpha}$$

(c) おう（凹）側が駆動するとき

荷重が歯面（b）に作用するときは，F_u は図と反対の方向に向かいますから，

(c.1) 軸方向スラスト（頂点からはなれる方向）

駆動歯車

$$F_a=F\{\tan\alpha\left(\frac{\sin\delta}{\cos\beta}\right)+\tan\beta\cos\delta\}\cdot9.80665\,[\text{N}]$$

被動歯車

$$F_a=F\{\tan\alpha\left(\frac{\sin\delta}{\cos\beta}\right)-\tan\beta\cos\delta\}\cdot9.80665\,[\text{N}]$$

(c.2) 軸を開かせようとする荷重

$$F_s=F\{\tan\alpha\left(\frac{\cos\delta}{\cos\beta}\right)-\tan\beta\sin\delta\}\cdot9.80665\,[\text{N}]$$

以下，はすば歯車と同じです。

2.3 ウォームギヤの使用上の注意

① 理想的なかみ合いをえるためにはウォームとウォームホイールを組立てるときに，正確に直角度をだしてください。
② ウォームとウォームホイールのかみあいにおける歯面の摩擦が大きいので，できるだけ潤滑油の中で運転するような方法でご使用ください。
③ ウォームとウォームホイールのねじれ方向および条数は同じ（右1条のウォームと右1条のウォームホイールと）組合せで，ご使用ください。
④ ウォーム軸およびウォームホイール軸はたわまないように，軸受はできるだけ近いところに，そして，がんじょうに設計してください。
⑤ ウォームに働く軸方向スラストはかなり大きくなりますから注意してください。右ねじれ，左ねじれの場合の軸方向スラストについては図6を参照してください。

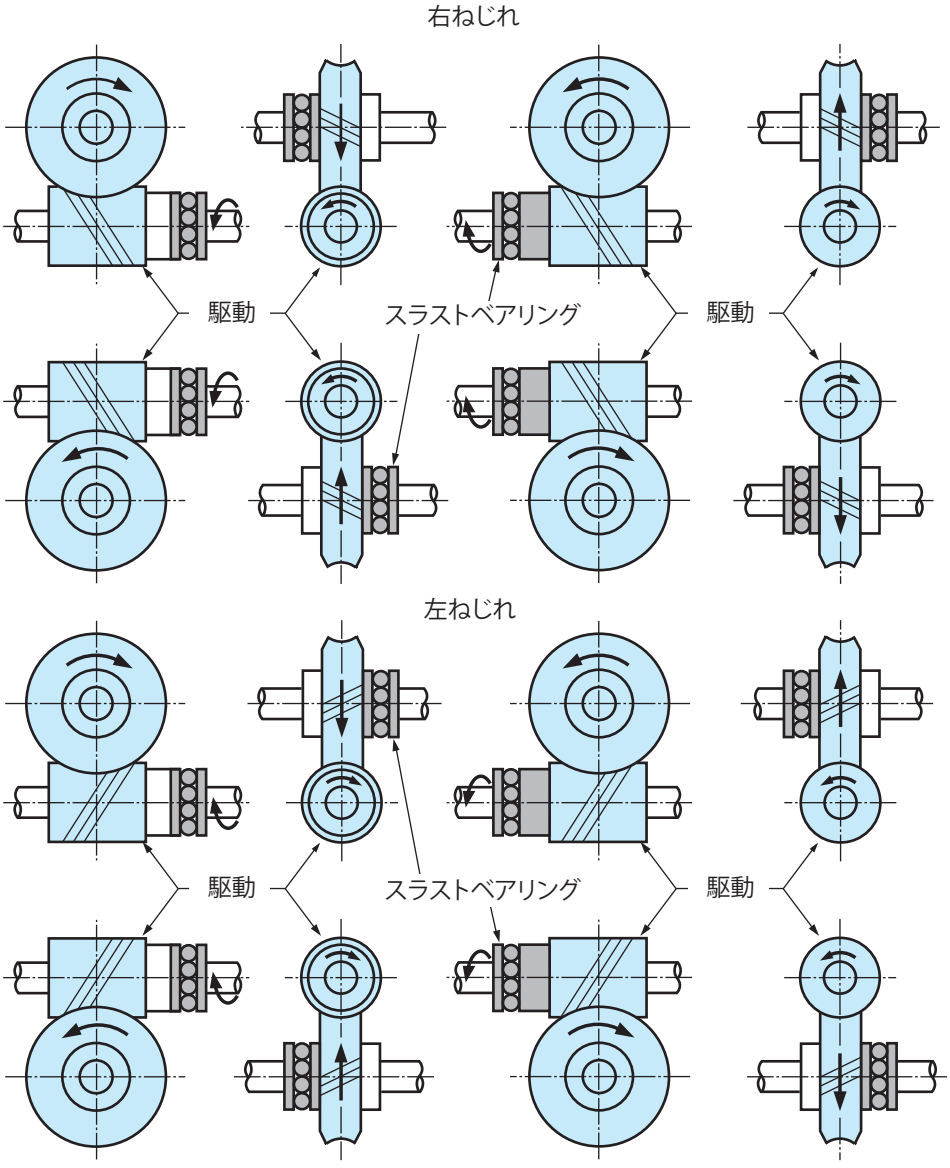


図6　ウォームに働く軸方向スラスト

⑥ 組立て及びなじみ運転するときに，歯当たりが検査できるように，そして組立の位置が多少，調整できるような設計にすれば，組立が容易にできます。

⑦ ウォームギヤ自動締り（セルフロック）は進み角が，約4°以下であります。確実に止めたいときは別に安全装置を設けてください。

⑧ ウォームギヤに作用する荷重（図7参照）

ウォームを駆動するモーメントを$F_1d_1/2$，それによってウォームホイールを回そうとする力をF_2 とすれば，

$$F_1 = F_2\tan(\gamma+\rho) = \frac{4.5H\times10^6}{\pi d_1 n_1}\cdot 9.80665\ (\mathrm{N})$$

(a) F_2 はウォームの軸方向のスラスト

$$F_2 = \frac{F_1}{\tan(\gamma+\rho)} = \frac{1.432H\times10^6}{\tan(\gamma+\rho)\times d_1 n_1}\cdot 9.80665\ (\mathrm{N})$$

F_1 はウォームホイールの軸方向スラスト

$$F_1 = \frac{1.432H\times10^6}{(d_1 n_1)}\cdot 9.80665\ (\mathrm{N})$$

ここに，

H ：ウォームに作用する正味の動力（PS）

γ ：進み角

$$\tan\rho = \frac{\mu}{\cos\alpha_n}$$

μ ：歯面における摩擦係数

α_n ：歯直角圧力角

d_1 ：ウォームのピッチ円直径（mm）

n_1 ：ウォームの毎分回転速度（$\mathrm{mm^{-1}}$）

ρ ：歯面のみかけ摩擦角

注意: ウォームホイールから出される動力をH_2PS，効率を η_R とすると，

$$H = \frac{H_2}{\eta_R}$$

となる。

(b) 軸を開かせようとする荷重

$$F_s = \frac{F_1\tan\alpha_n\cos\rho}{\sin(\gamma+\rho)}\ (\mathrm{N})$$

あるいは，　$= F_n\sin\alpha_n$

(c) 法線荷重

$$F_n = \frac{F_1\cos\rho}{\sin(\gamma+\rho)\cos\alpha_n}\ (\mathrm{N})$$

参考文献：和栗明他「歯車の設計と製作」30
日本機械学会

ウォームギヤの基礎となる関係式

1. すべり速度 υ_s（m/s）

$$\upsilon_s = \frac{\pi d_1 n_1}{60\times1000\times\cos\gamma}$$

ここに，

d_1 ：ウォームのピッチ円直径（mm）

n_1 ：ウォームの回転速度（$\mathrm{min^{-1}}$）

γ ：基準ピッチ円筒進み角（度）

2. トルクおよび効率（ウォームから駆動される場合）

$$T_2 = \frac{F_t d_2}{2000}\cdot 9.80665\ (\mathrm{N\cdot m})$$

ここに，

T_2 ：ウォームホイールの呼びトルク（N・m）

F_t ：ウォームホイールの呼び円周力（N）

d_2 ：ウォームホイールのピッチ円直径（mm）

$$T_1 = \frac{T_2}{u\eta_R} = \frac{F_t d_2}{2000u\eta_R}$$

ここに，

T_1 ：ウォームの呼びトルク（N・m）

u ：歯数比（$u=z_2/zw$）

η_R ：ウォームから駆動される場合のウォームギヤの伝道効率

$$\eta_R = \frac{\tan\gamma\left(1-\tan\gamma\dfrac{\mu}{\cos\alpha_n}\right)}{\tan\gamma+\dfrac{\mu}{\cos\alpha_n}}$$

ここに，

μ ：摩擦係数

α_n ：歯直角基準圧力角（度）

参考として，当社のウォームギヤの概略の効率は，次の通りです。

ウォーム　1条　45%～55%

　　2条　55%～65%

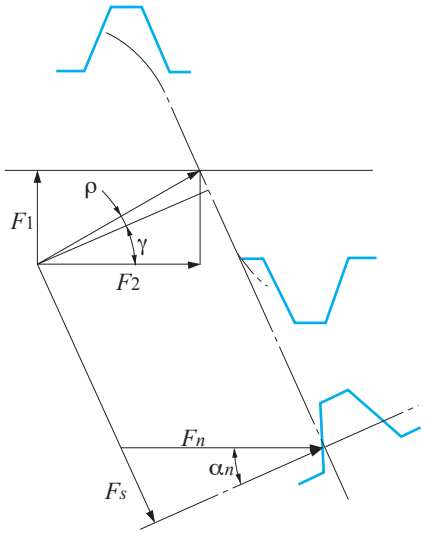


図7　ウォームギヤに作用する荷重

2.4 ノーバックラッシギヤの使用上の注意

ノーバックラッシギヤとは

ノーバックラッシギヤは一組の歯車がかみ合うときに本来必要なバックラッシを取り除く事ができる歯車です。

当社規格品ノーバックラッシギヤの原理は古くから用いられている手法であり一組の歯車軸に作用する軸トルクよりも大きなトルクが発生するようにノーバックラッシギヤに取り付けられたバネの発生荷重を設定することにより許容トルクを決定します。

ノーバックラッシギヤに取り付けられたバネは歯車Aと歯車Bが互いに引き合いハサミのように相手歯車の歯を挟み込む機構となっています。

これにより，回転方向が切り替わる時でもノーバックラッシギヤは設定したトルクで相手歯車の歯を挟み続けるためバックラッシを取り除く事ができます。

又，ノーバックラッシギヤと相手歯車とのかみ合いにおいて各歯車が持つ歯車誤差による干渉が発生する場合はノーバックラッシギヤの歯車Aと歯車Bを引っ張り合うバネが歪む事により干渉を緩和します。

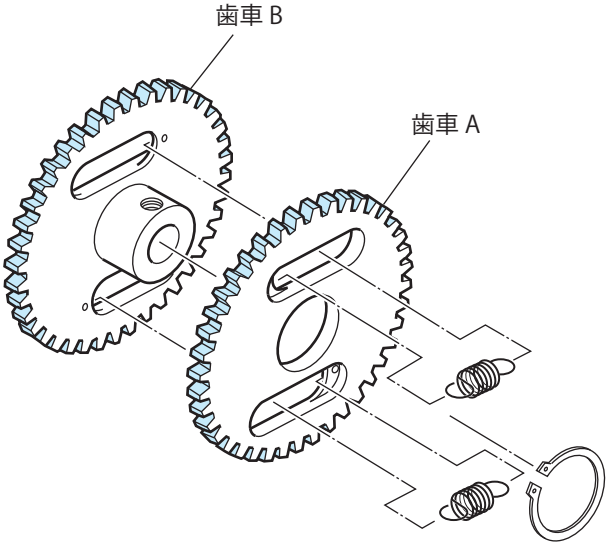


図8　ノーバックラッシギヤの機構例

ノーバックラッシギヤの相手歯車について

ノーバックラッシギヤの相手歯車には当社規格品歯研平歯車及び規格品平歯車よりお選びください。

歯合わせ原点n 0（0枚目）の設定方法

ノーバックラッシギヤに取り付けられているバネが自由状態（バネに荷重を与えていない状態）のとき，歯車Aと歯車Bの歯の山の位置は一致しておりません。

歯合わせ原点n0（0枚目）の設定方法は，歯車Bを固定し，BS形の場合は歯車Aの側面に刻印されている矢印の方向へ，又，BW形の場合は取り付けられている引っ張りバネが引っ張られる方向へ徐々に回転させ全てのバネが張り初めて歯車Aと歯車Bの歯の山が一致したところを原点n0（0枚目）とします。

希望の許容トルクへの設定方法

1　ピッチずらし量の選択方法

NS，NSGシリーズよりご使用条件に合うノーバックラッシギヤの商品記号を選択します。次に許容伝達トルク表より選択した商品記号の欄から希望するトルク値以上の許容伝達トルク値となるピッチずらし量：nの数値を選択します。

NSUシリーズの場合は，ピッチずらし量：nの数値をn＝2（2枚ずらし）にてご使用ください。

NSUシリーズページの許容伝達トルク表の値にてご使用いただけます。

2　希望の許容トルクの設定方法

「歯合わせ原点n0（0枚目）の設定方法」にて歯車Aと歯車Bの歯の山を一致させた原点n0（0枚目）から許容伝達トルク表より選択したピッチずらし量：nのピッチ数だけ歯車Aの歯の山を更にずらし相手歯車とかみ合わせる事により希望の許容トルク値にてご使用いただけます。

3　希望の許容トルク値が得られない場合

(1)「希望の許容トルク値の設定方法」にてピッチずらし量：nを設定しご使用になった結果，ノーバックラッシ状態にて運転できない場合は再度希望のトルク値をご検討ください。歯車に作用するトルクの内理論的に求めたトルク値に対し，予想以上のトルクが実際に作用する場合があります。

(2)「希望の許容トルク値の設定方法」にてピッチずらし量：nの設定を検討した結果，許容伝達トルク表より希望の許容トルクに対するピッチずらし量：nが選べないときは当社へご相談ください。

ノーバックラッシギヤの追加工について

ノーバックラッシギヤの追加工は極力避けてください。歯車の変形の原因となりノーバックラッシギヤの機能を損なうおそれがあります。

必要により追加工を行う場合は歯車Aと歯車Bを分解し，別々に追加工を行ってください。ノーバックラッシギヤのハブ部に取り付けてある軸用止め輪を外す事により分解する事ができます。

追加工及び分解を行う場合打痕等にご注意ください。

追加工を行った後は追加工面のバリを完全に除去してください。

追加工後再度組み立てる場合は，異物の混入に注意してください。

規格品以外のノーバックラッシギヤの製作を希望する場合

ノーバックラッシギヤの設計を行う場合，次に示す情報が必要となります。

1　歯車の諸元及び歯車形状
2　使用最大トルク［N・m］
3　使用回転数［min^{-1}］
4　歯車の材質
5　使用する環境（空気中，水中，真空中　等）
6　潤滑状態
7　歯車の周囲の干渉物の有無

以上の内容およびお客様の図面を添えてお問い合わせください。

2.5 B-BOX の使用上の注意

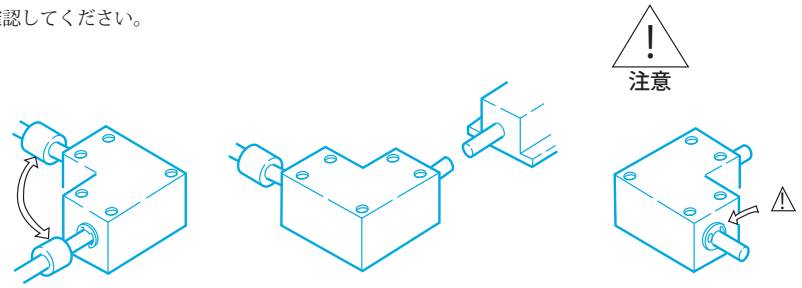
本商品は絶対に分解しないでください。
許容伝達能力表以下の条件でご使用ください。
各軸にオーバーハング荷重が作用する様な使用方法は行わないでください。また，各軸にオーバーハング荷重，スラスト荷重が作用する場合は本機とは別に荷重を受ける機構を設けてください。(図9参照)
各軸およびボディーへの衝撃を与えないよう注意してください。

取り付ける前に（機能を有効にお使いいただくために）

◇ 歯車軸どうしが直角になるように相手軸と連結し取り付けてください。軸が破損する場合があります。
◇ 運転前に必ず各軸が正常に回転することを手回しにて確認してください。

◇ 歯車軸と相手軸は平行でかつ軸心が一致するように取り付けてください。軸が破損する場合があります。(同軸度φ0.05以下を推奨致します)

◇ 軸用止め輪に巻き込まれないように注意してください。異物の巻き込みにも注意してください。



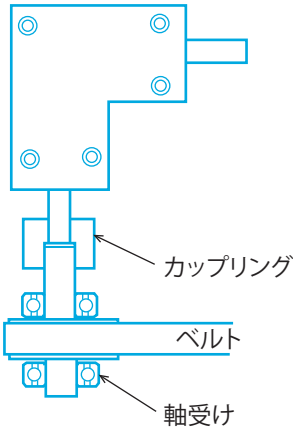


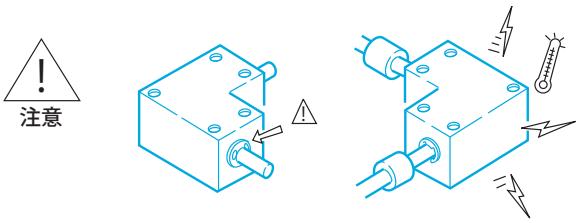
図9　オーバーハング荷重対策例

ご使用になる前に無負荷状態で運転し，異音のチェックを行ってください。
異音がある場合には直ちに運転を中止し当社までご連絡ください。
歯車軸と相手軸との連結には，フレキシブルなカップリングをご使用ください。
本商品は完全シールタイプではありません。水，油，薬品等がボディーにかかるような環境でのご使用は避けてください。レシオ2：1で増速にてお使いになる場合は，等速または減速に比較して騒音および温度上昇が高くなる傾向があります。また，伝達動力は小さくなります。

ご使用中に（安全のため特に注意が必要です）

◇ 運転中は危険ですから手を触れないでください
◇ ボディ背面部に露出している軸用止め輪への異物の巻き込みなどに注意してください。

◇ 運転中に異常音の発生や異常に温度が上昇した場合は直ちに運転を中止してください。異常原因の改善後再運転してください。



追加工をする場合に　（機能を損ねる場合がありますので注意して追加工してください。）
追加工についてご不明な点 は当社までご相談ください。

軸受部に切り屑が入らないように防塵処理をしてから行ってください。
軸部へ追加工を行う場合は軸が歪まないように注意してください。
ボディーへの追加工は極力避けてください。内部機構を破損させるおそれがあります。

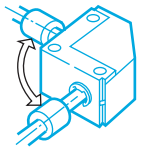
2.6 B-SET の使用上の注意

許容伝達能力以下の条件でご使用ください。

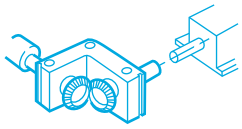
各軸にオーバーハング荷重が作用するような使用方法は行わないでください。又，各軸にオーバーハング荷重が作用する場合は本機とは別に荷重を受ける機構を設けてください。（図10参照）

取り付ける時に（機能を有効にお使いいただくために）

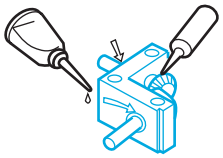
◇ 歯車軸どうしが直角になるように相手軸と連結し取り付けてください。
◇ 運転前に必ず各軸が正常に回転する事を手回しにて確認してください。



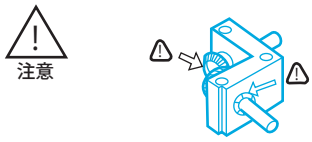
◇ 歯車軸と相手軸は平行でかつ軸心が一致するように取り付けてください。軸が破損する場合があります。



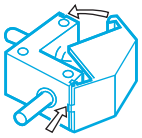
◇ 歯部にはグリースを定期的に塗布してください。軸受部には潤滑油の給油を推奨致します。また油切れを起こさないようにしてください。



◇ 歯車部や軸用止め輪などに指を挟まないように注意してください。異物の巻き込みにも注意してください。



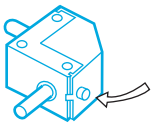
◇ 運転可能な状態のときは必ず付属のカバーを本体に確実にセットしてください。
◇ カバーの取り付け①②の順序でカバーを破損させないように行ってください。



② カバーのツメがボディーのみぞへ確実に入るまで押し込んでください。

① カバーの横ずれ防止ストッパー凸部をボディの凹部に合わせてください。

◇ 運転中にカバーが外れる可能性がある場合にはネジなどを使用し，確実に固定してください。

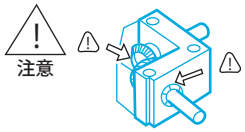


ボディへのネジ加工の際には軸受部に傷が付かないようにしてください。

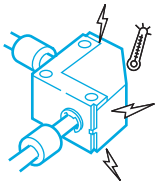
ご使用になる前に無負荷状態で運転し歯当たり，異音のチェックを行ってください。
歯車軸と相手軸との連結にはできるだけフレキシブルなカップリングをご使用ください。
軸受部や歯部にホコリ・ゴミ等が入らないようにしてください。
レシオ2：1で増速にてお使いになる場合は，等速または減速に比較して騒音および温度上昇が高くなる傾向があります。また，伝達動力は小さくなります。

ご使用中に（安全のため特に注意が必要です）

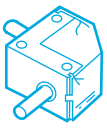
◇ 運転中は危険ですから手を触れないでください
◇ ボディ背面部に露出している軸用止め輪への異物の巻き込みなどに注意してください。



◇ 運転中に異常音の発生や異常に温度が上昇した場合は直ちに運転を中止してください。異常原因の改善後再運転してください。



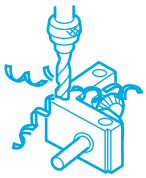
◇ 付属のカバーが破損または経年劣化した場合は新しいカバーと交換してください。（別売しております）



追加工をする場合に

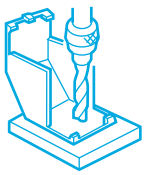
（機能を損ねる場合がありますので注意して追加工してください。）
追加工についてご不明な点は当社までご相談ください。

◇ 軸受部及び歯車部に切り屑が入らないように防塵処理をしてから行ってください。
◇ 取り付け用ボトル穴を追加工する場合は追加工許容最大穴径以下の寸法で行ってください。

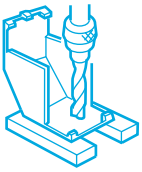


◇ カバーのキリ穴追加工は必ず背板をあてて加工を行ってください。

背板をあててください。



カバーが破損します。



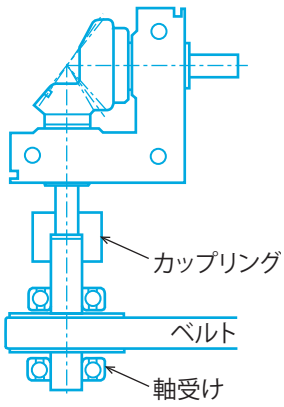


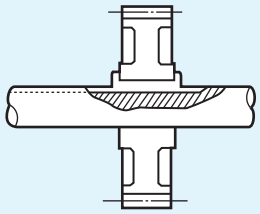
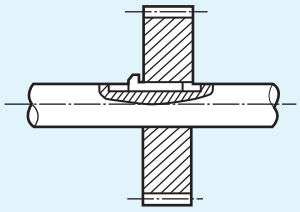
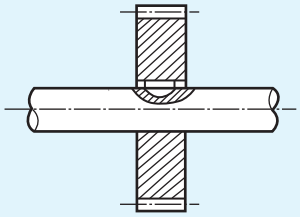
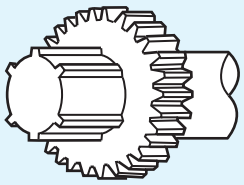
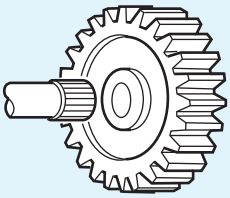
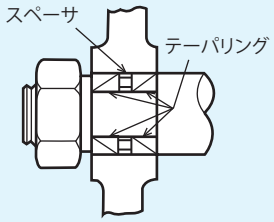
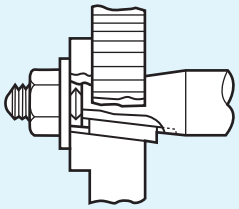
図10
オーバーハング荷重対策例

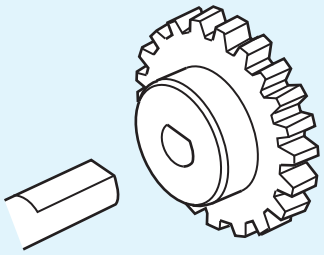
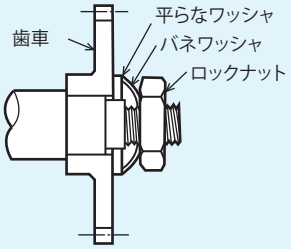
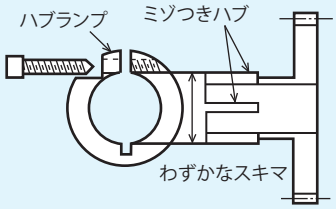
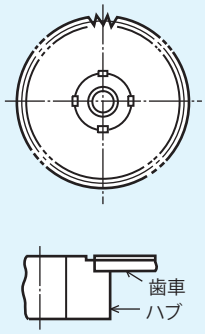
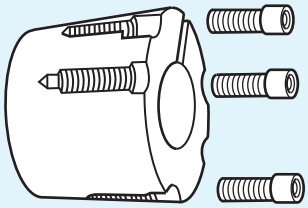
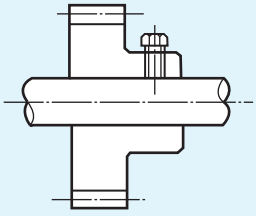
商品記号の末尾の記号A,Bの違いは軸径寸法の違いです。

A: 標準軸径タイプ
B: 太軸径タイプ

2.7 各種歯車の軸締結方法

解説（1）

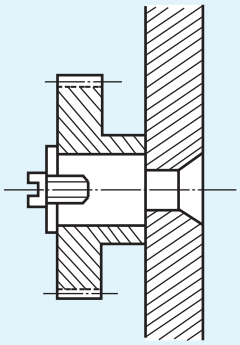
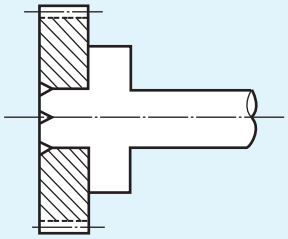
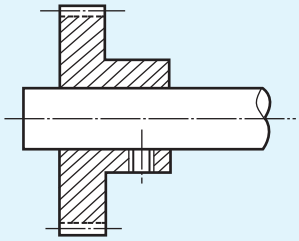
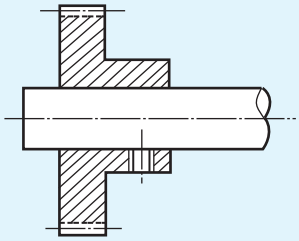
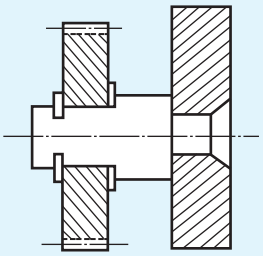
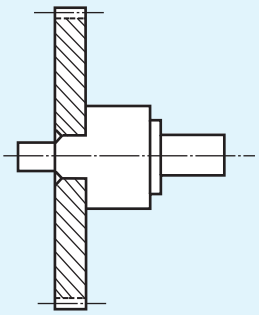
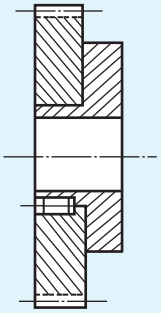
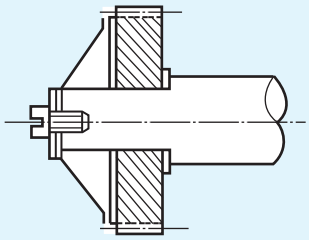
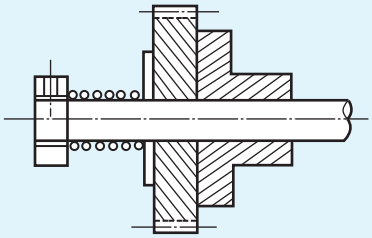
1		**フェザーキー** 歯車が軸方向に移動することができる。 軸のキーのみぞは動く範囲を切っておく。
2		**平行キー** 歯車を任意の位置で固定。
3		**半月キー** 歯車を任意の位置で固定。
4		**スプライン** 角形スプラインとインボリュートスプラインがある。歯車が軸に対して，滑動する場合と固定する場合がある。 スプラインはキーと比較すると伝達トルクが大きいものに使用する。
5		**ローレット** 軸は歯車の穴に圧入する。 特定の荷動が加わった場合，すべるように設計すれば安全装置として作用する。
6		**テーパリング** 歯車を固定するために締付けられるとき，インターロックで広がる。 取り扱いが簡単で軸と穴の寸法の許容差はうるさくない。
7		**テーパー軸** テーパー軸とテーパー穴の組み合せで大きいトルクを伝達する場合はキーと，歯車をテーパー軸に固定するためにナットが必要である。 歯車の同心度及び分解の容易なことが重要な場合に適当である。

8		**D穴** D穴とD軸の組み合わせ D穴は一面取り丸ブローチで加工をする。
9		**ばねワッシャ** ロックナットを適当に調整しておけば歯車に対する保持力が生ずる。 大きい荷重が加わると歯車はスリップする。
10		**クランプ** 計器用歯車に使用される。穴と軸のはめあいのすきまが偏よらないから。
11		**かしめ**
12		**テーパーブッシュ** ϕ12.7mm以上の穴径に使用することができる。
13		**ボルト止め** 簡単なため一般によく使われているが，運転中にゆるむおそれがあり，偏心を生ずることもある。

仙波正荘，小形歯車（昭和44年）日刊工業新聞より一部引用

解説（2）

小モジュール歯車の場合

① ワッシャーびす止め	② かしめ	③ ぴん止め
		
④ セットびす止め	⑤ 緊定ワッシャー止め	⑥ 圧力ポンチ止め
		
⑦ 圧力ぴん止め	⑧ 板ばね止め	⑨ コイルばね止め
		

第３章　歯車材料と熱処理

3.1 歯車材料の選び方

歯車の歯面にかかる荷重が大きいものには，歯面摩耗（ピッチングなど）を起こしやすいので，歯面強さの大きい材料を選ぶことが必要です。これには，歯面硬度が高くなる浸炭焼入れのできる材料を使います。

また，回転中に衝撃が歯面にかかる歯車では歯が折損しやすいため，曲げ強さの大きい材料を選ぶことが必要です。これには，歯面硬度よりも心部硬さに重点をおき，焼入れ焼戻し（調質）後高周波焼入れのできる材料を使います。

歯車の製造費，生産性などを考えながら材料を選ぶには，次のことが挙げられます。

1）歯車に必要な強さとして，歯面強さと曲げ強さのいずれを重視するかを考えます。一般には，歯が折損しないような靭性と負荷に耐え得る十分な歯面固さを備えている材料を選びます。

2）切削性にすぐれた材料。

切削性が良くても，快削鋼はピッチングを起こしやすく，表面硬化を施しても歯車には不適当とされています。

3）熱処理が容易で，変形が少なく，変形してもその量が安定している材料。

4）材料費が安価で，入手しやすい材料。

主として動力を伝達する歯車に使う鉄鋼材の主なものを表１に示します。

表１　歯車に使う鉄鋼材

規格名称	JIS規格番号	材料記号
ねずみ鋳鉄品	G5501	FC200, 250, 300, 350
球状黒鉛鋳鉄品 (1)	G5502	FCD400, 450, 500
炭素鋼鋳鋼品	G5101	SC410, 450, 480
構造用高張力炭素鋼 および低合金鋼鋳鋼品	G5111	SCC3A, 3B SCCrM1, 3, SCNCrM2
機械構造用炭素鋼鋼材	G4051	S38C ～ 58C, S09CK, S15CK, S20CK
ニッケルクロム鋼鋼材	G4102	SNC631, 836, 415, 815
ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材	G4103	SNCM625, 630, 439, 447 SNCM220, 415, 420, 616, 815
クロム鋼鋼材	G4104	SCr415, 420
クロムモリブデン鋼鋼材	G4105	SCM435, 440, 415, 420, 421, 822
アルミニウムクロムモリブデン鋼鋼材	G4202	SACM645
ステンレス鋼棒	G4303	SUS304, 440C

注（1）ダクタイル鋳鉄およびミーハナイトを含む。

備考　浸炭焼入れの場合はSCM415またはSNCM420が普通一般用に多く使われ、まがりばかさ歯車などにはSNC815またはSNCM815がよく使われる。表５荷重と材料および熱処理方法を参照のこと。

ポリアセタールの特性

機械要素として最近さまざまなエンジニアリングプラスチックが非常に良く使用されるようになってきました。強度や熱などに問題はありますが，当社におきましてポリアセタール—（エンジニアリングプラスチックの一種）—で商品化いたしましたのでご利用ください。

ポリアセタールには，ホルムアルデヒドの均一体と，エチレンオキジドなどを共重合させたものの２種類があり，前者はアセタール・ホモポリマー，後者をアセタール・コポリマーとそれぞれいうもので，中荷重，中速度以下の使用条件の時はご使用をおすすめいたします。

ポリアセタールには次の特徴があります。表を参照ください。

- 物理的性質—熱可塑性樹脂として広範囲の大量生産に関する加工法が適用され，諸種の樹脂の中で「ポリアセタール」は極めてすぐれた物理的性質をもっています。
- 摩耗特性—耐摩耗特性は，乾燥状態におけるポリアミドに次いで優秀であり，吸湿性が極めて小さい。
- 寸法安定性—吸湿性が極めて小さいので寸法変化がなく，また流動性が良いために，成形品の残留ひずみを最小の状態にすることが容易です。
- 耐薬品性—鉱酸を除く無機薬品はほとんどすべての有機溶剤に６ヶ月間浸漬しても外観や物性を損ないません。ただしフェノールには浸されますから，フェノールに接触する用途には不適です。アルカリには極めて強く，またモーターオイルやブレーキオイルなどのように，工業的に接触の可能性の多い油類にはまったく浸されません。また銅系金属と接触して利用しても何ら問題を生じません。
- 耐熱性は—耐熱性のすぐれていることは「ポリアセタール」の大きな特徴の一つです。

表２　ポリアセタールの物性

	試験法	単位	数値
比重	ASTMD-792	-	1.41
吸収率（24時間水浸漬） （60% RH）	ASTMD-570	%	0.22 0.16
引張強度（降伏点）	ASTMD-638	N/mm^2	61
引張伸び（切断点）	ASTMD-638	%	40
引張弾性率	ASTMD-638	N/mm^2	2,830
曲げ強度	ASTMD-790	N/mm^2	89
曲げ弾性率	ASTMD-790	N/mm^2	2,590
圧縮強度（10%変形）	ASTMD-695	N/mm^2	103
せん断強度	ASTMD-732	N/mm^2	55
アイゾット衝撃値（ノッチ付）	ASTMD-256	J/m	74
ロックウェル硬度	ASTMD-785	Mスケール	78
		R スケール	119
テーバー摩耗（1kg.CS17ホイール）	ASTMD-1044	mg/100 サイクル	14
動摩擦係数（対鋼）	ウエストオーバー式摩擦試験機	-	0.13
ポアソン比		-	0.35
融点	DSC 分析昇温 10°C/分	℃	165
荷重たわみ温度　（182.4 N/cm^2） （45.1N/cm^2）	ASTMD-648	℃	110 158
線膨張係数	-25 ～ +25℃	$\times10^{-5}$/℃	9
燃焼性	UL94	-	HB
誘電率（10^2 ～ 10^6Hz）	ASTMD-150	-	3.7
誘電正接　（10^2Hz） （10^6Hz）	ASTMD-150	-	0.001 0.007
表面抵抗	ASTMD-257	Ω	1.0×10^{16}
体積固有抵抗	ASTMD-257	Ω･m	1.0×10^{12}

上記物性は，それぞれ保証値ではありません。参考値としてご利用ください。
日本ポリペンコ株式会社　ポリペンコアセタールカタログより抜粋

ポリアセタールギヤについて

プラスチック歯車は金属製の歯車と比較しますと金属製の歯車の約$\frac{1}{6}$～$\frac{1}{8}$ぐらいになります。また，温度，湿度など自然現象の外的要因による影響がありますので，外的条件も合わせてご検討ください。

表３　周速またはすべり速度限界

潤滑		無潤滑	油潤滑
平歯車およびかさ歯車の周速	m/s	6	12
ウォームギヤのすべり速度	m/s	1	2.5

最低使用限界温度 -38°C

プラスチックス歯車のバックラッシ

プラスチックは熱伝導率が金属と比較して非常に小さく，熱膨張係数は金属よりもかなり大きいため，寸法変化しますのでプラスチック同志の歯車のかみ合いのバックラッシは，金属同士の歯車のそれよりも多くなるように歯切りをしています。

歯車材の組み合わせについて

プラスチック歯車の材料の組み合せでは，ポリアセタールと金属の組合せの時の材料係数を１とするとポリアセタールとポリアセタールの組合せの場合0.75となりポリアセタールと金属に比べて75％の強度となります。

歯車材の組み合せはポリアセタールと金属の組み合せが良いとされていますが，この組み合せのとき注意しなければならない点は、金属歯車の歯面の面粗さで，歯面粗さが粗いとポリアセタール歯車のほうが摩耗が多くなります。

したがって，ポリアセタール歯車とかみ合う金属歯車の歯面粗さは最大6Sを目安としてください。

3.2 熱処理

各種熱処理の特徴を表4に示します。

表4　各種熱処理の特徴

項目	高周波焼入れ	火炎焼入れ	浸炭焼入れ	軟窒化	窒化
適材	0.4-0.6%C炭素鋼 SCM435, SCM440 SMn443, SNC836 SNCM439など	0.4-0.6% C炭素鋼 SK5-7, ダクタイル鋳鉄 SCr435, SCr440 SCM435, SCM440など	0.23%C以下の炭素鋼 SNC415, SNC815 SCM415, SCM420 SNCM420など	① 低 中 炭素鋼 ② 炭素鋼 合金鋼 ステンレス 鋳鋼	SACM645など 窒化のためには，アルミニュームとクロームを含有していることが条件
熱処理の方法	熱処理する歯車をコイルの中に入れ，コイルに周波数の高い電流を流すと，渦電流の発生により，歯車の表面が加熱され，赤熱する。直ちに冷却水を噴出させて急冷する。加熱コイルと急冷装置を別個にし，連続的に長手方向に送ることにより長物も焼入れできる。	高周波焼入れでは高価になる（少量生産，特大物）とき，他の熱処理方法に比較して安価。硬化させたい部分だけをバーナなどで赤熱し，表面がオーステナイト組織になったとき，注水急冷すると，その部分だけが硬化する。 焼きもどしは，150°～200℃の低音もどしをする。	歯車を木炭，炭酸バリュームなどと共に鉄製ルツボの中に入れ，密封し，炉の中に入れて900°～950℃の温度で4～8時間加熱すると，表面に炭素が浸透する。多種少量生産に適する。 ガス浸炭は，浸炭炭素量，浸炭深さの調節が簡単であり，表面に付着するスケールも少ない。品質もよく，環境に適している。処理時間は固体浸炭よりも短く，大量生産向き。	①NaCNを主成分としたソルトバス（塩浴）に低・中炭素鋼を浸し，0.2mm以下の薄層を作る。処理温度750°～900℃少量生産に適し，経済的だが，塩浴は有害で，環境的に好ましくない。 ②軟窒化処理 塩浴窒化法NaCNO，またはカリ系の浴で，発生期の窒素で窒化。処理温度500°～600℃，処理時間2時間，0.015～0.02の硬化層。	材料は，焼入れ焼戻しソルバイト組織にして，仕上げ後窒化炉に入れる。 500°～600℃でアンモニアガスを注入すると，分解した窒素が歯車の表面に吸収され硬い層を作る。 処理時間は，硬化層の深さにより，数十時間から100時間と長時間を要する。
硬化層	穴の内面，断面内部まで硬化することは困難。硬化能のある鋼材を使用して急速に表面のみを加熱焼入れするので，内部はほとんど元のままの組織が保たれる。硬化表面の酸化も小，急速な加熱急冷であるので，炭素のオーステナイト内への拡散を容易にするため，調質を行い焼入温度も30°～50℃高い温度より水冷する。直接加熱で熱効率も良いが，歯車の場合，歯先ほど硬度が高くなり，歯もと部は歯さき部よりも硬度が低くなる。		固体浸炭では，浸炭深さのバラツキを0.2mm以下にすることは困難。0.7mm以下の浸炭には適さない。 品物の形状に関わらず等しい深さの硬化層を得る。 硬化の必要の無い部分は，被服して防炭する。	経済的で，処理時間も短い。軟窒化処理は自己潤滑性が有り，摩耗係数を低減できるとされている。	処理温度が低いので，熱影響による歪みが少ない。硬化層は耐摩耗，耐熱，耐食性に優れている。硬化層は窒素吸収で0.02～0.03mm程度膨張する。
生産性	局部硬化可能 熱処理時間数秒 自動化可能，大量生産向き。	局部硬化可能 熱処理時間数分 装置簡単，温度制御困難。	全体熱処理となる。 加熱時間が長い。	経済的，処理時間が短い。	全体熱処理となる。 処理時間が極めて長時間。
硬度	HS55 ～ 75 HRC41 ～ 56	HS55 ～ 75 HRC41 ～ 56	HS70-85 HRC52 ～ 62	HS88-92 HRC64 ～ 66	HS100以上 HRC68以上
歪み	ズブ焼入れよりも小さい	ズブ焼入れよりも小さい	高周波よりも大きい	極めて小さい	極めて小さい
費用	大量生産では安価	安価	高周波よりも高価	大量生産では安価	高価
硬化層深さ	0.8 ～ 7mm （ただし，4mm以上は	1 ～ 12mm （ただし，4mm以上は	固体浸炭0.7 ～ 5mm ガス浸炭0.2 ～ 5mm	0.015 ～ 0.02mm （専用鋼は0.1 ～ 0.2）	0.1 ～ 0.6mm （0.4以上は不経済）
特徴	簡単形状で大量生産可能 電気操作の自動化可能 比較的安定した焼入れ 局部焼入れ可能 焼入れ装置が高価	大きさ，形状に制限がない 局部焼入れ可能 焼入れ装置が安価 加熱温度の制御困難	炭素濃度の調節が安易（ガス） 浸炭深さが均一 浸炭深さの制御が安易	処理塩が猛毒で公害に注意 衝撃荷重に弱い	耐摩耗，耐熱，耐食性に富む 窒化後の熱処理が不要 変形が極めて小さい 焼割れが発生しない
歯車以外の適用	チェーンホイール ピン	クランクシャフト カムシャフト	軸，ピン，カム， ローラチェーンブッシュ	カムシャフト	ディーゼル噴射ノズル ゲージ類

表４で示した熱処理方法の他に、イオン窒化があります。イオン窒化は熱影響による歪みが極めて少なく，歯面の硬度も硬くなりますが，ここでは説明を省略します。特徴などは表４窒化の項を参照してください。

3.3 歯車材料と熱処理

荷重に対して適当な材料とその熱処理方法の一般的な例を表５に示し，熱処理による硬さの範囲の例を表6に示します。

表５　荷重と材料および熱処理方法

荷重		材料記号	熱処理方法
軽荷重	衝撃荷重が小さく，摩耗も少ないもの	S35C ～ S45C	調質（焼入れおよび焼もどし）
	やや耐摩耗性を必要とするもの	S15CK	浸炭，焼入れ，焼もどし（硬化層0.2～0.4mmくらい）
中荷重	中程度の強さと耐摩耗性を必要とするもの	S35C ～ S45C	調質後浅い高周波焼入れ，歯先の表面かたさHRC47～56くらい(1)。
		SCM415 SCr415	浸炭，焼入れ，焼もどし（硬化層0.6～1.0mmくらい），表面かたさHRC55~60
	疲れ強さを必要とするもの	S40C ～ S45C	調質後高周波焼入れ (2)。硬化層をいく分深目とし，歯底焼入れを施す。 歯先の表面かたさHRC47-56くらい (1)。
		SCM435 SCM440	調質後窒化処理，ガス軟窒化，イソナイトなどを施す。
高荷重	耐衝撃性をとくに必要とするもの	SNC815 SNCM420 SNCM815	浸炭，焼入れ，焼もどし，表面かたさHRC 58～ 64くらい。
	耐摩耗性を要するもの	SNCM420 SCM421 SCM822	浸炭，焼入れ，焼もどし，表面かたさHRC 62以上とする。
	耐摩耗性および疲れ強さを要するもの	S45C S48C	調質後高周波焼入れ (2)，歯底部分まで焼入れを施す。歯先の表面かたさHRC 56-60くらい (1)。
特殊の場合	耐焼付き性を要する場合	窒化鋼	調質後窒化処理を施す。
		合金鋼SCM435	調質後窒化処理を施す。
	耐食性を要する場合	オーステナイト， フェライト， マルテンサイト系 ステンレス鋼	耐食性以外に必要な性質を合わせて考慮し，最適な熱処理を選ぶ。
	耐熱性を要する場合	Fe-Cr-Ni合金	最適な熱処理を施す。

注（１）歯そこに近い歯面では，これよりHRC5-10くらい低い
（２）MG（モータゼネレータ式）で周波数の低い方法が望ましい。そして，比較的大形の歯車にはこの方法が適当である。

表６　歯車の熱処理硬さの例

鋼種	材料記号	調質かたさ Hs	全面焼入れかたさ Hs	高周波焼入れかたさ (1) HRC	浸炭焼入れ表面かたさ HRC	浸炭焼入れ心部かたさ HB
ニッケルクロム鋼	SNC631	37-40	50-55	50-55	-	-
	SNC836	38-42	50-55	50-55	-	-
	SNC415	-	-	-	55-60	217-321
	SNC815	-	-	-	58-64	285-388
ニッケルクロムモリブデン鋼	SNCM439	43-51	65-70	-	-	-
	SNCM447	45-53	65-70	-	-	-
	SNCM220	-	-	-	58-64	248-341
	SNCM415	-	-	-	58-64	255-341
	SNCM420	-	-	-	58-64	293-375
	SNCM815	-	-	-	58-64	311-375
クロム鋼	SCr415	-	-	-	58-64	217-300
	SCr420	-	-	-	58-64	235-320
クロムモリブデン鋼	SCM435	37-40	45-50	45-50	-	-
	SCM440	38-42	50-55	(50-53) (2)	-	-
	SCM415	-	-	-	58-64	235-321
	SCM420	-	-	-	58-64	262-341
	SCM421	-	-	-	58-64	285-363
炭素鋼	S15CK	-	-	-	55-62 (3)	131 (4)
	S35C	25-35	35-45	35-40	-	-
	S45C	31-40	45-55	40-45	-	-
	S55C	33-42	55-65	45-50	-	-

注
(1) 表５荷重と材料および熱処理方法を参照のこと，心部は調質硬さに等しい。
(2) 高周波焼入れをしない方が良い。
(3) 水冷の場合である。油冷の場合は50-55くらいとなる。
(4) 最大値を示す。

＜参考＞

表７　歯の大きさと浸炭深さ

モジュール mm	1をこえ1以下	1.5 をこえ 2.0以下	2 をこえ 2.75以下	2.75 をこえ4.0以下	4 をこえ6 以下	6をこえ9 以下	9をこえ12 以下
炭素深さ mm	0.2-0.5	0.4-0.7	0.6-1.0	0.8-1.2	1.0-1.4	1.2-1.7	1.3-2.0

注　浸炭深さは、ガス浸炭の場合のおよそ標準値であり，固体および液体浸炭の場合には上表の値より小さ目にする。

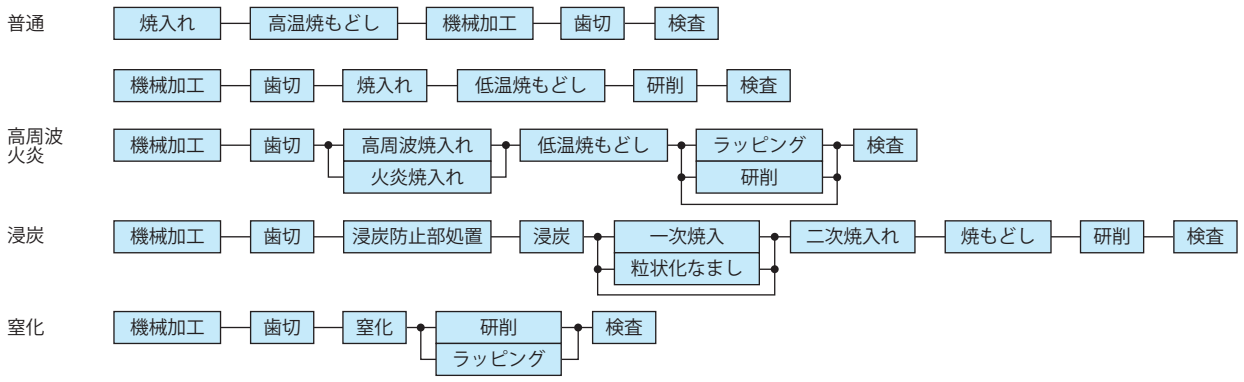


図１　普通焼入れ，熱処理歯車の作業工程

第４章　歯厚の測定

4.1 またぎ歯厚測定法

歯厚マイクロメータなどの平行な平面で，ある枚数の歯を挟み，その距離を測定します。平面ではさんだ歯数を**またぎ歯数**といいます。他の測定方法とは違って，基準測定面は不要です。

この方法は，またぎ歯数が多い場合には圧力角誤差による影響が大きく，歯車に左右の歯面に圧力角の違いがある場合も測定誤差を生じます。さらに，ピッチ誤差と歯形誤差が含まれるため，歯車の全円周にわたって，数度の測定を行いその平均値を求めるのが普通です。

工作中にまたぎ歯厚を測定し，測定寸法を簡単にカッタの工具追込み量に換算できるメリットがあるため，歯厚測定では最も一般的に用いられている方法です。

平歯車のまたぎ歯厚

(1) 標準平歯車のまたぎ歯厚 W

$$W = m\cos\alpha\{\pi(z_m - 0.5) + z\mathrm{inv}\alpha\}$$

(2) 転位平歯車のまたぎ歯厚 W

$$W = m\cos\alpha\{\pi(z_m - 0.5) + z\mathrm{inv}\alpha\} + 2xm\sin\alpha$$

(3) またぎ歯数

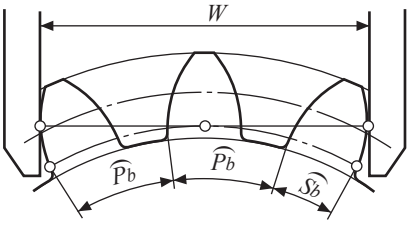
$$z_m = \frac{\alpha z}{180} + 0.5$$

またぎ歯数は，
上記計算式で計算した数値に
最も近い整数として用います。

ここに，

α　：基準圧力角
m　：モジュール
z　：歯数
x　：転位係数

表1に，モジュール1，基準圧力角20°，標準平歯車（転位係数＝0）のまたぎ歯数とまたぎ歯厚の値を示します。



$\widehat{P_b}$: 法線ピッチ
$\widehat{S_b}$:基礎円弧歯厚

図１　またぎ歯厚

表１　標準平歯車のまたぎ歯厚

モジュール1.0圧力角20° の場合（$x = 0$）

単位: mm

z	z_m	W	z	z_m	W	z	z_m	W	z	z_m	W	z	z_m	W
			41	5	13.8588	81	10	29.1797	121	14	41.5484	161	18	53.9172
			42	5	13.8728	82	10	29.1937	122	14	41.5624	162	19	56.8833
			43	5	13.8868	83	10	29.2077	123	14	41.5765	163	19	56.8973
4	2	4.4842	44	5	13.9008	84	10	29.2217	124	14	41.5905	164	19	56.9113
5	2	4.4982	45	6	16.8670	85	10	29.2357	125	14	41.6045	165	19	56.9253
6	2	4.5122	46	6	16.8810	86	10	29.2497	126	15	44.5706	166	19	56.9394
7	2	4.5262	47	6	16.8950	87	10	29.2637	127	15	44.5846	167	19	56.9534
8	2	4.5402	48	6	16.9090	88	10	29.2777	128	15	44.5986	168	19	56.9674
9	2	4.5543	49	6	16.9230	89	10	29.2917	129	15	44.6126	169	19	56.9814
10	2	4.5683	50	6	16.9370	90	11	32.2579	130	15	44.6266	170	19	56.9954
11	2	4.5823	51	6	16.9510	91	11	32.2719	131	15	44.6406	171	20	59.9615
12	2	4.5963	52	6	16.9650	92	11	32.2859	132	15	44.6546	172	20	59.9755
13	2	4.6103	53	6	16.9790	93	11	32.2999	133	15	44.6686	173	20	59.9895
14	2	4.6243	54	7	19.9452	94	11	32.3139	134	15	44.6826	174	20	60.0035
15	2	4.6383	55	7	19.9592	95	11	32.3279	135	16	47.6488	175	20	60.0175
16	2	4.6523	56	7	19.9732	96	11	32.3419	136	16	47.6628	176	20	60.0315
17	2	4.6663	57	7	19.9872	97	11	32.3559	137	16	47.6768	177	20	60.0455
18	3	7.6324	58	7	20.0012	98	11	32.3699	138	16	47.6908	178	20	60.0595
19	3	7.6464	59	7	20.0152	99	12	35.3361	139	16	47.7048	179	20	60.0736
20	3	7.6604	60	7	20.0292	100	12	35.3501	140	16	47.7188	180	21	63.0397
21	3	7.6744	61	7	20.0432	101	12	35.3641	141	16	47.7328	181	21	63.0537
22	3	7.6885	62	7	20.0572	102	12	35.3781	142	16	47.7468	182	21	63.0677
23	3	7.7025	63	8	23.0233	103	12	35.3921	143	16	47.7608	183	21	63.0817
24	3	7.7165	64	8	23.0373	104	12	35.4061	144	17	50.7270	184	21	63.0957
25	3	7.7305	65	8	23.0513	105	12	35.4201	145	17	50.7410	185	21	63.1097
26	3	7.7445	66	8	23.0653	106	12	35.4341	146	17	50.7550	186	21	63.1237
27	4	10.7106	67	8	23.0794	107	12	35.4481	147	17	50.7690	187	21	63.1377
28	4	10.7246	68	8	23.0934	108	13	38.4142	148	17	50.7830	188	21	63.1517
29	4	10.7386	69	8	23.1074	109	13	38.4282	149	17	50.7970	189	22	66.1179
30	4	10.7526	70	8	23.1214	110	13	38.4423	150	17	50.8110	190	22	66.1319
31	4	10.7666	71	8	23.1354	111	13	38.4563	151	17	50.8250	191	22	66.1459
32	4	10.7806	72	9	26.1015	112	13	38.4703	152	17	50.8390	192	22	66.1599
33	4	10.7946	73	9	26.1155	113	13	38.4843	153	18	53.8051	193	22	66.1739
34	4	10.8086	74	9	26.1295	114	13	38.4983	154	18	53.8192	194	22	66.1879
35	4	10.8227	75	9	26.1435	115	13	38.5123	155	18	53.8332	195	22	66.2019
36	5	13.7888	76	9	26.1575	116	13	38.5263	156	18	53.8472	196	22	66.2159
37	5	13.8028	77	9	26.1715	117	14	41.4924	157	18	53.8612	197	22	66.2299
38	5	13.8168	78	9	26.1856	118	14	41.5064	158	18	53.8752	198	23	69.1961
39	5	13.8308	79	9	26.1996	119	14	41.5204	159	18	53.8892	199	23	69.2101
40	5	13.8448	80	9	26.2136	120	14	41.5344	160	18	53.9032	200	23	69.2241

注　マタギ歯厚Wはモジュール倍して使用します。

はすば歯車のまたぎ歯厚

(1) 歯直角方式標準はすば歯車のまたぎ歯厚

$$W = m_n \cos\alpha_n \{\pi(z_m - 0.5) + z\,\mathrm{inv}\,\alpha_t\}$$

(2) 歯直角方式転位はすば歯車のまたぎ歯厚

$$W = m_n \cos\alpha_n \{\pi(z_m - 0.5) + z\,\mathrm{inv}\,\alpha_t\} + 2x_n m_n \sin\alpha_n$$

またぎ歯数 z_m

$$z_m = \frac{\alpha_n z_v}{180} + 0.5$$

またぎ歯数は，
上記計算式で計算した数値に
最も近い整数として用います。
ここに，

α_n ：歯直角圧力角
α_t ：正面圧力角
m_n ：歯直角モジュール
x_n ：歯直角転位係数
z_v ：相当平歯車歯数(1)
（$z_v = z/\cos^3\beta$）

はすば歯車のまたぎ歯厚を測定する場合には，歯面に直角に歯を挟むので，歯面への接触端が外れないようにするためには，歯幅が少なくとも $W\sin\beta$ 以上必要となります。

計算例

歯直角モジュール m_n=4,歯数 z=19,歯直角圧力角α_n=20°
基準円筒ねじれ角β=26°42’，歯直角転位係数 x_n=0.4 の場合

①相当平歯車歯数 (1) z_v

$$z_v = z/\cos^3\beta = 19/\cos^3 26°42' = 26.65$$

②またぎ歯数 z_m

$$z_m = \frac{\alpha_n z_v}{180} + 0.5$$

$$= \frac{20 \cdot 26.65}{180} + 0.5 = 3.46 \fallingdotseq 4 \text{（整数にする）}$$

③ 正面圧力角α_t

$$\alpha_t = \tan^{-1}(\tan\alpha_n / \cos\beta)$$
$$= \tan^{-1}(\tan 20° / \cos 26°42') = 22.16666°$$

④invα_t（α_tのインボリュート関数）

$$\mathrm{inv}\,\alpha_t = \tan\alpha_t - \alpha_t = \tan 22.16666° - 22.16666° \cdot \pi/180°$$
$$= 0.020532565$$

⑤またぎ歯厚 W

$$W = m_n \cos\alpha_n \{\pi(z_m - 0.5) + z\,\mathrm{inv}\,\alpha_t\} + 2x_n m_n \sin\alpha_n$$
$$= 4 \cdot \cos 20°\{\pi(4 - 0.5) + 19 \cdot 0.0020532565\}$$
$$+ 2 \cdot 0.4 \cdot 4 \cdot \sin 20° = 43.891 \text{ (mm)}$$

⑥またぎ歯厚測定に必要な最小歯幅 b

$$b = W\sin\beta = 43.891 \cdot \sin 26°42' = 19.72 \fallingdotseq 20 \text{ (mm)}$$

従って,20mm以上の歯幅が必要です。もし，歯幅が20mmに満たない場合は，次に述べるオーバピン（玉）法で歯厚の測定をします。

注（1）旧歯車用語を採用

4.2　オーバピン（玉）法

平歯車ではピンまたは玉を歯みぞに入れ，外歯車ではピンまたは玉の外側寸法を，内歯車では，ピンまたは玉の内側寸法を測定して歯厚を求める方法です。

はすば歯車の場合には，玉が用いられます。内歯車の測定では，他の方法に比べて有効な測定方法です。

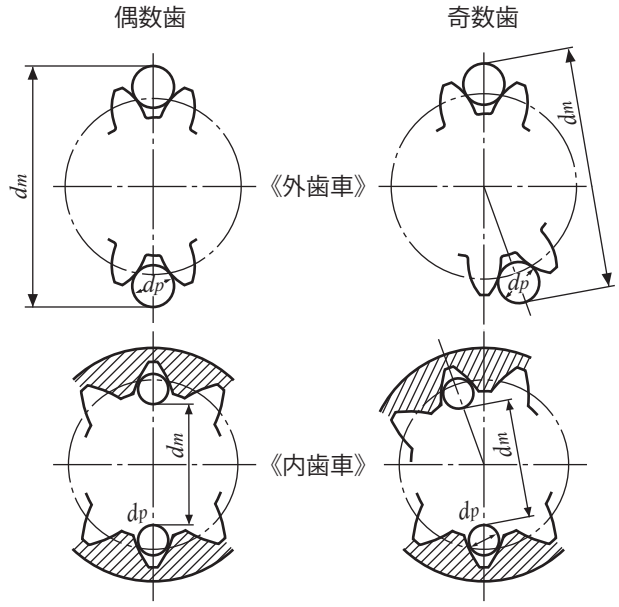


図2　オーバピン（玉）法

*特に歯数の少ない奇数歯でねじれ角が大きい場合，ピンが安定せず測定寸法が正確ではないためボール（玉）での測定をお勧めします。

オーバピン（玉）の直径

図3にピン（玉）の直径を求める線図を示します。この図からピン（玉）の直径の目安を求め，保有する一番近い直径のピン（玉）で測定します。

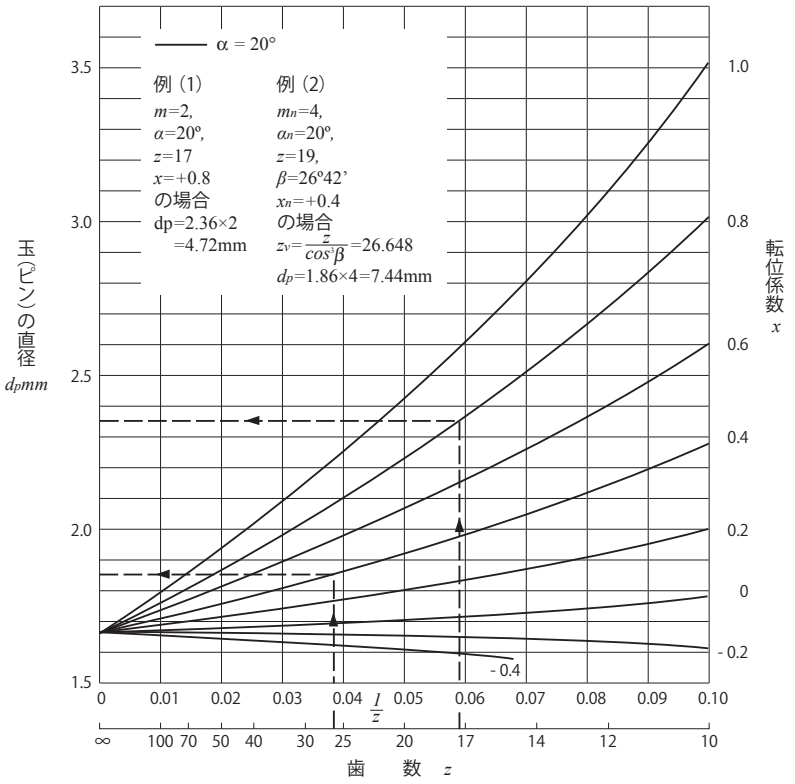


図3　ピン（玉）の直径を求める線図（モジュール m_n=1）
モジュール倍して使用します。はすば歯車の歯数は相当平歯車歯数

平歯車のオーバピン寸法

偶数歯の場合

$$d_m = \frac{zm\cos\alpha}{\cos\phi} + d_p$$

奇数歯の場合

$$d_m = \frac{zm\cos\alpha}{\cos\phi}\cos\frac{90°}{z} + d_p$$

ただし，

$$\mathrm{inv}\phi = \frac{d_p}{zm\cos\alpha} - \left(\frac{\pi}{2z} - \mathrm{inv}\alpha\right) + \frac{2x\tan\alpha}{z}$$

ここに，

d_m ：オーバーピン寸法（mm）
z ：歯数
x ：転位係数
ϕ ：ピン中心に於ける圧力角（°）
d_p ：実用するピン（玉）の直径（mm）
m ：モジュール（mm）
α ：基準圧力角（°）

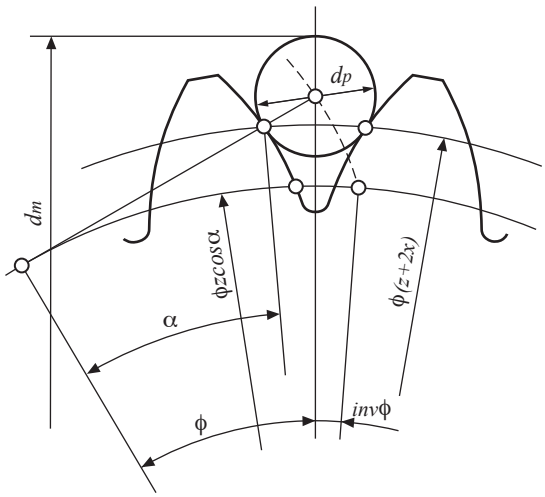


図4　平歯車のオーバピン寸法

計算例1　偶数歯数

モジュールm=2，歯数z＝30，基準圧力角α＝20°，転位係数x＝0.15の歯車のオーバピン寸法を求める。

①オーバピン寸法 d_p

図3より，d_p＝1.73・m＝3.46（mm）
保有するピンでこの値に一番近いピンd_p＝3.5（mm）を使用する。

② 歯面とピン（玉）の接点における圧力角 ϕ

$$\mathrm{inv}\phi = \frac{3.5}{30 \cdot 2 \cdot \cos 20°} - \left(\frac{\pi}{2 \cdot 30} - \mathrm{inv}20°\right) + \frac{2 \cdot 0.15 \cdot \tan 20°}{30}$$

$$= 0.0282613 \quad (\mathrm{inv}20° = 0.0149044)$$

$\phi = 24.5388°$（24°32′19″の巻末の表より）

③ オーバピン寸法 d_m

$$d_m = \frac{30 \cdot 2 \cdot \cos 20°}{\cos 24.5388°} + 3.5 = 65.48 \ (\mathrm{mm})$$

計算例2　奇数歯数

計算例1の歯数を29として計算（他の諸元は同じ）

①オーバピンの直径　d_p　d_p=3.5（mm）

② ピン中心に於ける圧力角（°）

$$\mathrm{inv}\phi = \frac{3.5}{29 \cdot 2 \cdot \cos 20°} - \left(\frac{\pi}{2 \cdot 29} - \mathrm{inv}20°\right) + \frac{2 \cdot 0.15 \cdot \tan 20°}{29}$$

$$= 0.0287218$$

$\phi = 24.6645°$（24°39′52″）

③ オーバピン寸法　d_m

$$d_m = \frac{29 \cdot 2 \cdot \cos 20°}{\cos 24.6645°} \cdot \cos\frac{90°}{29} + 3.5 = 63.39 \ (\mathrm{mm})$$

内歯車のオーバピン寸法

偶数歯の場合

$$d_m = \frac{zm\cos\alpha}{\cos\phi} - d_p$$

奇数歯の場合

$$d_m = \frac{zm\cos\alpha}{\cos\phi}\cos\frac{90^\circ}{z} - d_p$$

ただし，

$$\mathrm{inv}\phi = \left(\frac{\pi}{2z} + \mathrm{inv}\alpha\right) + \frac{2x\tan\alpha}{z} - \frac{d_p}{zm\cos\alpha}$$

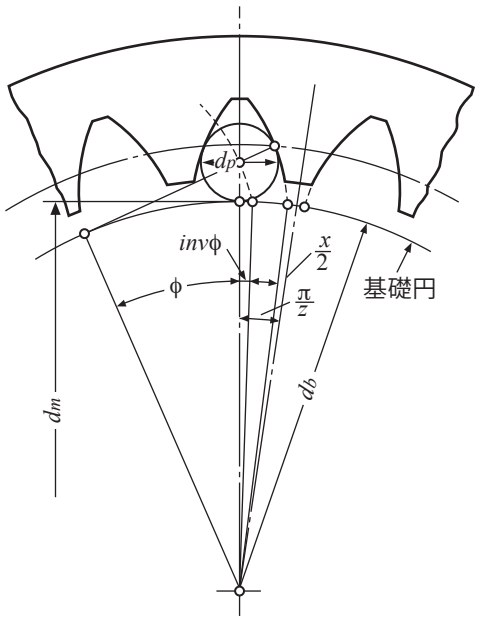


図5　内歯車のオーバピン寸法

計算例1　偶数歯数

モジュール m=1, 歯数 z=80, 基準圧力角α＝20°，転位係数 x= 0.12の歯車のオーバピン寸法を求める。

①オーバピンの直径 d_p

図3より，d_p=1.68 ・m = 1.68（mm）
保有するピンでこの値に一番近いピン d_p=1.7（mm）を使用する。

② ピン中心に於ける圧力角（°）

$$\mathrm{inv}\phi = \left(\frac{\pi}{2\cdot 80} + \mathrm{inv}20^\circ\right) - \frac{1.7}{80\cdot 1\cdot\cos 20^\circ} + \frac{2\cdot 0.12\cdot\tan 20^\circ}{80}$$

$$= 0.0130174$$

$$\phi = 19.145^\circ\ (19^\circ 8' 42'')$$

③ オーバピン寸法 d_m

$$d_m = \frac{80\cdot 1\cdot\cos 20^\circ}{\cos 19.145^\circ} - 1.7 = 77.88\ (\mathrm{mm})$$

計算例2　奇数歯数

計算例1の歯数を81として計算（他の諸元は同じ）

①オーバピンの直径　d_p　d_p=1.7（mm）

② ピン中心に於ける圧力角（°）

$$\mathrm{inv}\phi = \left(\frac{\pi}{2\cdot 81} + \mathrm{inv}20^\circ\right) - \frac{1.7}{80\cdot 1\cdot\cos 20^\circ} + \frac{2\cdot 0.12\cdot\tan 20^\circ}{81}$$

$$= 0.0130407$$

$$\phi = 19.156^\circ\ (19^\circ 9' 22'')$$

③ オーバピン寸法　d_m

$$d_m = \frac{81\cdot 1\cdot\cos 20^\circ}{\cos 19.156^\circ}\cdot\cos\frac{90^\circ}{81} - 1.7 = 78.86\ (\mathrm{mm})$$

すぐ歯ラックのオーバピン寸法

$$d_m = h'' + \frac{d_p}{2}\left(1+\frac{1}{\sin\alpha}\right) - \frac{\pi m}{4\tan\alpha}$$

ここに，

h'' : 噛み合い高さ（mm）（ラック底面から，基準ピッチ線[1]までの高さ）

はすばラックの場合，歯直角断面ですぐ歯ラックと同じとなりますので，上式が使用できます。圧力角αとモジュール mは，歯直角断面でのそれぞれα_n とm_nを用いて計算してください。

計算例

モジュールm=3，基準圧力角α=20°，噛み合い高さ h''=32のラックのオーバピン寸法を求める。

①オーバピンの直径 d_p

図3より，d_p=1.68 ・m= 5.04（mm）

保有するピンでこの値に一番近いピンd_p=5.0（mm）を使用する。

②オーバピン寸法 d_m

$$d_m = 32 + \frac{5}{2}\cdot\left(1+\frac{1}{\sin 20°}\right) - \frac{\pi\cdot 3}{4\tan 20°}$$

$$= 35.34 \ (\text{mm})$$

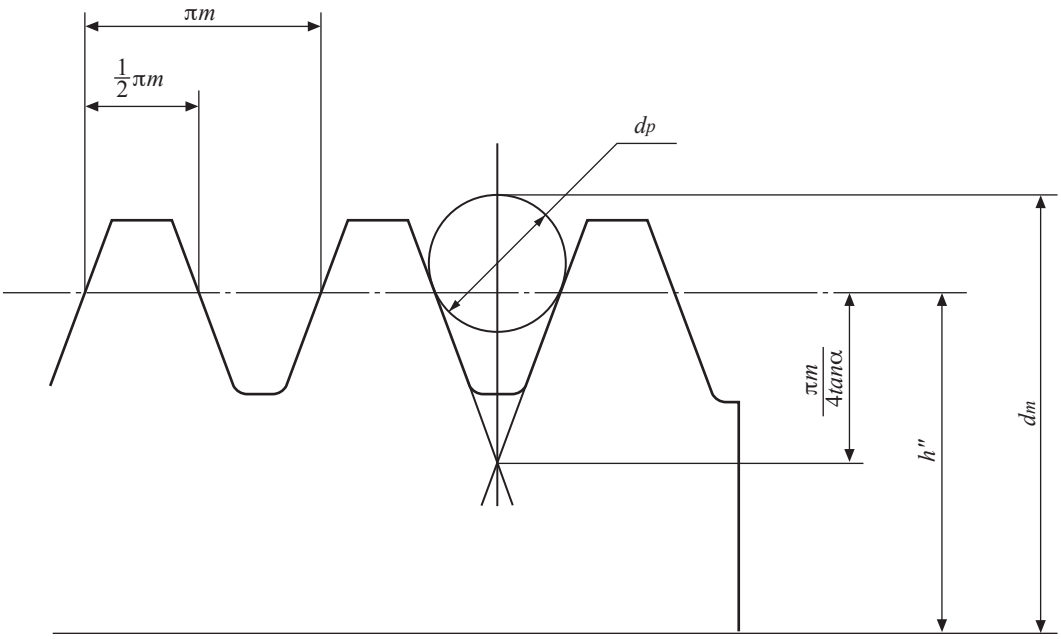


図6　すぐ歯ラックのオーバピン寸法

注（1）　旧歯車用語を採用

はすば歯車のオーバピン寸法

偶数歯の場合

$$d_m = \frac{z\, m_t \cos\alpha_t}{\cos\phi} + d_p$$

奇数歯の場合

$$d_m = \frac{z\, m_t \cos\alpha_t}{\cos\phi}\cos\frac{90°}{z} + d_p$$

ただし,

$$\mathrm{inv}\phi = \frac{d_p}{z\, m_n \cos\alpha_n} - \left(\frac{\pi}{2z} - \mathrm{inv}\,\alpha_t\right) + \frac{2\,x_n \tan\alpha_n}{z}$$

ここに,

m_n ：歯直角モジュール（mm）
α_n ：歯直角圧力角（°）
x_n ：歯直角転位係数
m_t ：正面モジュール
α_t ：正面圧力角（°）

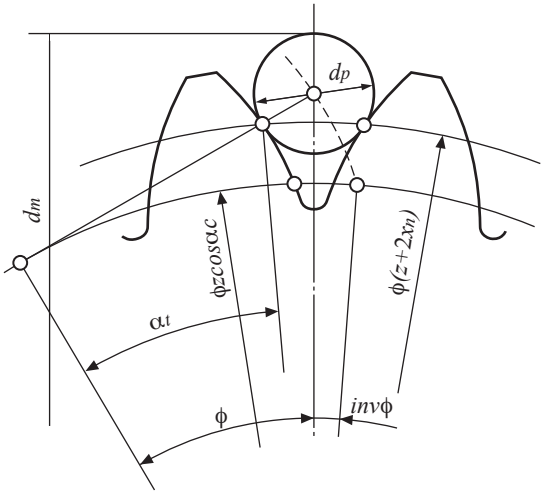


図7　はすば歯車のオーバピン寸法（図は軸直角断面）

計算例1　偶数歯数

モジュールm=2，歯数z=36,ねじれ角β=15°, 歯直角圧力角α_n=20°，歯直角転位係数x_n= 0.05の歯車のオーバピン寸法を求める。

① 相当平歯車歯数(1) z_v

$$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta} = \frac{36}{\cos^3 15°} = 39.94 \fallingdotseq 40$$

②オーバーピンの直径 d_p

図3より，d_p=1.7 ・m= 3.4 (mm)
保有するピンでこの値に一番近いピンd_p=3.5(mm) を使用する。

注：(1) 旧歯車用語を採用

③正面モジュール m_t

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta} = \frac{2}{\cos 15°} = 2.07055 \ \text{(mm)}$$

④ 正面圧力角 α_t

$$\alpha_t = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 20°}{\cos 15°}\right)$$
$$= 20.646896° \ (20°38'48'')$$

⑤ピン中心に於ける圧力角（°）

$$\mathrm{inv}\phi = \frac{3.5}{36 \cdot 2 \cdot \cos 20°} - \left(\frac{\pi}{2 \cdot 36} - \mathrm{inv}20.646896°\right) + \frac{2 \cdot 0.05 \cdot \tan 20°}{36}$$
$$= 0.025562 \ (\mathrm{inv}20.646896° = 0.0164533)$$
$$\phi = 23.77° (23°46'12'' \text{ 巻末の表より})$$

⑥ オーバピン寸法 d_m

$$d_m = \frac{36 \cdot 2.07055 \cdot \cos 20°}{\cos 23.77°} + 3.5 = 79.72 \ \text{(mm)}$$

計算例2　奇数歯数

計算例1の歯数を35として計算（他の諸元は同じ）

① 相当平歯車歯数(1) z_v

$$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta} = \frac{35}{\cos^3 15°} = 38.84 \fallingdotseq 39$$

②オーバピンの直径 d_p

図3により，d_p=1.7 ・m = 3.4（mm）
保有するピンでこの値に一番近いピンd_p=3.5（mm）を使用する。

③ 正面モジュールm_t

m_t=2.07055（mm）計算例1と同じ

④正面圧力角 α_t

α_t =20.646896°（20°38'48"）計算例1と同じ

⑤ ピン中心に於ける圧力角（°）

$$\mathrm{inv}\phi = \frac{3.5}{35 \cdot 2 \cdot \cos 20°} - \left(\frac{\pi}{2 \cdot 35} - \mathrm{inv}20.646896°\right) + \frac{2 \cdot 0.05 \cdot \tan 20°}{35}$$
$$= 0.025822 \ (\mathrm{inv}20.646896° = 0.0164533)$$
$$\phi = 23.8465° (23°50'47'' \text{ 巻末の表より})$$

⑥ オーバピン寸法d_m

$$d_m = \frac{35 \cdot 2.07055 \cdot \cos 20.646896}{\cos 23.8465°} \cdot \cos\frac{90°}{35}$$
$$+3.5 = 77.57 \ \text{(mm)}$$

ウォームのオーバピン寸法

ウォームのオーバピン寸法を求める方法には，
1）ネジの3針法を代用する方法
2）ウォームをラックとして，計算する方法
3）はすば歯車として，計算する方法
などがありますが，ここでは3）について紹介します。

$$d_m = d(1+A) + d_p + Ae^2\mathrm{d}\left\{\frac{1}{2(1+A)} + \frac{3}{8}e^2\right\} - A^2e^4\mathrm{d}$$

$$A = \frac{1}{d\sin\gamma_b}\left(d_p - \frac{p_x}{2}\cos\gamma_b\right) \qquad e = \frac{z\,p_x}{\pi d}\cot\gamma_b$$

$$p_x = \frac{\pi m_n}{\cos\gamma} \qquad \gamma_b = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\gamma}{\cos\alpha_t}\right)$$

$$\alpha_t = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\alpha_n}{\sin\gamma}\right)$$

ここに，
d ：ウォームのピッチ円直径（mm）
z ：ウォームの条数
p_x ：ウォームの軸方向ピッチ（mm）
γ ：基準円筒進み角（°）
γ_b ：基礎円筒進み角（°）

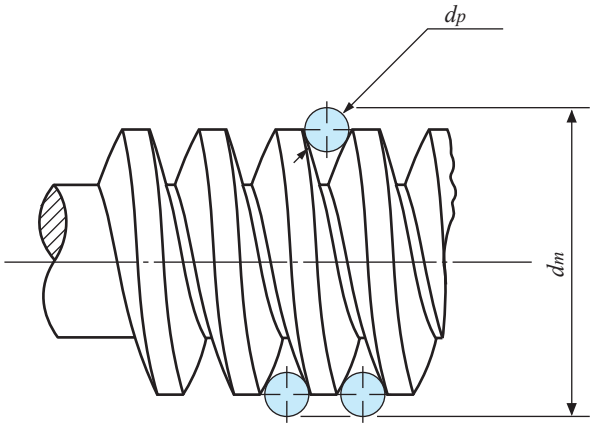


図8　ウォームのオーバピンの寸法

計算例

モジュールm_n=2，条数z=1，ウォームのピッチ円直径d = 31，歯直角圧力角α_n=20° 基準円筒進み角γ= 3°42’（3.7°），のウォームのオーバピン寸法を求める。

①オーバピンの直径　d_p

図3より∞歯数として，d_p=1.68・m= 3.36（mm）
保有するピンでこの値に一番近いピンd_p=3.4（mm）を使用する。

② 正面圧力角　α_t

$$\alpha_t = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 20°}{\sin 3.7°}\right) = 79.9459°$$

③ 基礎円筒進み角　γ_b

$$\gamma_b = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 3.7°}{\cos 79.9459°}\right) = 20.3256°$$

④ 軸方向ピッチ

$$p_x = \frac{\pi \cdot 2}{\cos 3.7°} = 6.2963$$

⑤ A

$$A = \frac{1}{31\sin 20.3256°}\left(3.4 - \frac{6.2963}{2}\cos 20.3256°\right)$$
$$= 0.04159$$

⑥ e

$$e = \frac{1 \cdot 6.2963}{\pi \cdot 31}\cot 20.3256°$$
$$= 0.17453$$

⑦オーバピン寸法

$d_m = 35.71$ (mm) (代入式省略)

4.3 歯形キャリパによる測定法

歯先円を基準として，一つの歯のピッチ円筒上の弦歯厚を測定する方法です。図9に歯形キャリパによる測定方法を示します。歯たけh の理論値に歯形キャリパをセットし，弦歯厚sを測定して理論値との差を比較します。古くから用いられてる方法ですが，外経精度，ジョウの当たり具合に左右されるため，高精度は期待できません。

平歯車の場合，

$$\bar{h} = \frac{mz}{2}\left\{1-\cos\left(\frac{\pi}{2z}+\frac{2x\tan\alpha}{z}\right)\right\}+\frac{da-d}{2}$$

$$\bar{s} = mz\sin\left(\frac{\pi}{2z}+\frac{2x\tan\alpha}{z}\right)$$

ここに，

$\bar{h}$	:キャリパ歯たけ	$\bar{s}$	:弦歯厚
m	:モジュール	z	:歯数
α	:基準圧力角	x	:転位係数
d_a	:歯先円直径	d	:基準円直径

表2にモジュールm=1，転位係数x=0の標準平歯車のキャリパ歯たけ $\bar{h}$と弦歯厚 $\bar{s}$を示します。

はすば歯車の場合は，歯直平面で測定を行い，モジュール，圧力角，転位係数は，歯直角の数値として，歯数 z は相当平歯車歯数(1)を用います。

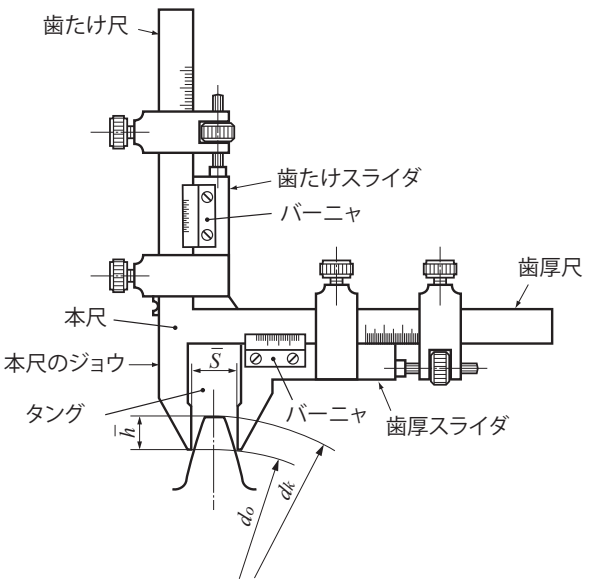


図9　歯形キャリパによる測定

表2　標準平歯車の弦歯厚

z	$\bar{h}$ mm	$\bar{s}$ mm	z	$\bar{h}$ mm	$\bar{s}$ mm
12	1.0513	1.5663	35	1.0176	1.5703
13	1.0474	1.5670	40	1.0154	1.5704
14	1.0440	1.5675	45	1.0137	1.5705
15	1.0411	1.5679	50	1.0123	1.5705
16	1.0385	1.5683	60	1.0103	1.5706
17	1.0363	1.5686	70	1.0088	1.5706
18	1.0342	1.5688	80	1.0077	1.5707
19	1.0324	1.5690	90	1.0069	1.5707
20	1.0308	1.5692	100	1.0062	1.5707
22	1.0280	1.5695	120	1.0051	1.5708
24	1.0257	1.5697	150	1.0041	1.5708
26	1.0237	1.5698	200	1.0031	1.5708
28	1.0219	1.5700	∞	1.0000	1.5708
30	1.0206	1.5701			

$\bar{h}$と$\bar{s}$の値 (m=1, x=0)

注（1）　旧歯車用語を採用

＜参考＞　歯車の解析方法

インボリュート平歯車のモジュール，圧力角及び転位係数の求め方について，

インボリュート平歯車のモジュールと圧力角を求める方法は，いろいろな求め方があります。そのうち法線ピッチを測定して求める方法を紹介します。

法線ピッチを測定する方法として，またぎ歯厚法があります。

n枚のまたぎ歯厚をE_n，1枚減らしたものをE_{n-1}とすれば，法線ピッチP_bは，

$$p_b = E_n - E_{n-1} \quad (1)$$

$$= \pi m \cos\alpha$$

となります。

表3　法線ピッチ

m \ α_0	14.5°	20°	22.5°	25°
1	3.042	2.952	2.902	2.847
1.25	3.802	3.690	3.628	3.559
1.5	4.562	4.428	4.354	4.271
1.75	5.323	5.166	5.079	4.983
2	6.083	5.904	5.805	5.695
2.25	6.843	6.642	6.531	6.406
2.5	7.604	7.380	7.256	7.118
2.75	8.364	8.118	7.982	7.830
3	9.125	8.856	8.707	8.542
3.25	9.885	9.594	9.433	9.254
3.5	10.645	10.332	10.159	9.965
3.75	11.406	11.070	10.884	10.677
4	12.166	11.809	11.610	11.389
4.5	13.687	13.285	13.061	12.813
5	15.208	14.761	14.512	14.236
5.5	16.728	16.237	15.963	15.660
6	18.249	17.713	17.415	17.084
6.5	19.770	19.189	18.866	18.507
7	21.291	20.665	20.317	19.931
8	24.332	23.617	23.220	22.778
9	27.374	26.569	26.122	25.625
10	30.415	29.521	29.025	28.473

(1) 式より求めた値と表3の法線ピッチと比較します。

例　平歯車：歯数＝12，歯先円直径＝29.9mmのモジュール，圧力角及び転位係数を求めよ。

まず，またぎ歯厚の測定結果は次の通りでありました。

2枚のまたぎ歯厚 $E_2 = 9.855$ mm

3枚のまたぎ歯厚 $E_3 = 15.758$ mm

従って，P_b の式は（1）より

$$p_b = E_3 - E_2$$

$$= 15.758 - 9.855$$

$$= 5.903\text{mm}$$

となって，法線ピッチの表より探すと圧力角20度でモジュール2mmの歯車となります。

転位係数の求め方

またぎ歯厚Wは，

$$W = m\cos\alpha\{\pi(Zm - 0.5) + z\text{inv}\alpha\} + 2xm\sin\alpha$$

20度の標準平歯車のW''は，

$$W' = m\cos\alpha\{\pi(Zm - 0.5) + z\text{inv}\alpha\}$$

$$= m(0.01400554z + 2.95213zm - 1.47606)$$

20度の転位平歯車のW'は，

$$W'' = W'[\text{標準}] + 2xm\sin\alpha$$

$$W'' = W'[\text{標準}] + 0.68404xm \quad (2)$$

[標準]は標準平歯車の略

（2）式より転位係xは

$$x = \frac{W'' - W'}{0.68404m} \quad (3)$$

となる。

従って（3）式より W''=9.855, W' = 9.193

$$x = \frac{9.855 - 9.193}{2 \times 0.68404}$$

$$= 0.484$$

となり，転位係数xは 0.484となります。

第５章　歯車の誤差とその測定方法

5.1 誤差の相関

歯車の誤差は，個別誤差と総合誤差に分類されます。個別誤差とは，図1の様に，

1）歯形の形状，歯たけの寸法に関係する歯たけ方向

2）歯すじのかたむき，凹凸に関係する歯すじ方向

3）歯の厚みと歯の間隔に関係する歯厚方向

の立体的（3次元的）な誤差であると考えられます。

これら３種類の個別誤差は，3次元的なものを2次元に分解して測定します。しかし，互いに独立した誤差ではなく，必ず相関が生じていて，加工法や測定法により相関の度合いが異なると考えられます。これらの個別誤差の相関を図2に示します。この図より，みぞの振れは他の誤差との相関が強いことがわかります。

これに対し，3次元について同時に測定する方法が，総合誤差を求める測定法です。

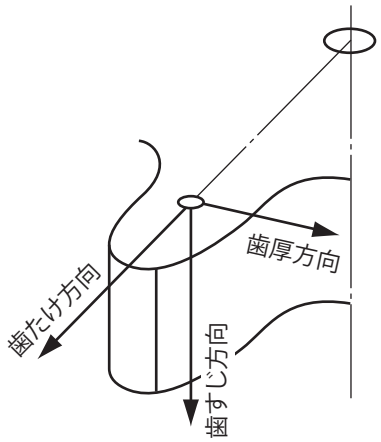


図1　誤差の立体的考え方

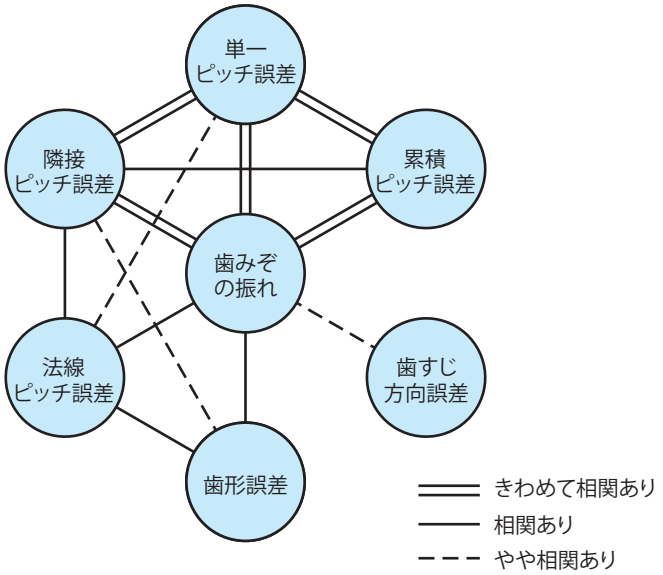


図2　個別誤差の相関（歯研歯車）

5.2 歯形誤差

旧JIS B 1702**平歯車及びはすば歯車の精度**では，「実際の歯形と，ピッチ円の交点をとおる正しいインボリュートを基準とし，これに垂直な方向に測った歯形検査範囲内における正（＋）側誤差及び負（－）側誤差の和」と定義しています。ここでいう歯形誤差とは，軸直角歯形についてのものです。

この定義のうち，歯形検査範囲内とは相手歯車とかみ合う歯形曲線の範囲のことです。つまり，歯たけのうち全部が相手歯車とかみ合うわけではなく，歯先，歯元部分を除いた，実際に働く部分をいいます。

ただし，歯形修正部分については歯形誤差としては取り扱いません。図3に歯形誤差についての図を示します。

歯形誤差には，圧力角誤差と凹凸誤差があり，通常この二つが一緒になって現れます。

歯形誤差は，歯形検査範囲内での最大値で表します。一つの精度等級における許容誤差は，旧JIS B 1702に規定されています。測定方法については，旧JIS B 1752**平歯車およびはすば歯車の測定方法**に次の3種類が規定されています。

1）**基礎円板方式**：歯車仕様に応じ，その基礎円に等しい直径を持つ基礎円板を使用して測定する方法。（図4）
2）**基礎円調節方式**：基礎円を用いますが，測定子が固有の基礎円と歯車の基礎円の直径比に応じて，拡大または縮小する機構を備えている方法。（図5）
3）**演算方式**：歯車の歯形の座標をディジタル的に測定し，これをインボリュート歯形の理論値と比較して誤差を算出する方法。これらの他に，ピッチ円板方式やマスターカム方式及び光学的方法などがありますが，ここでは説明を省略します。

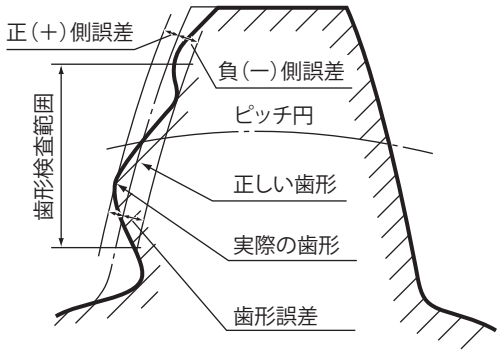


図3　歯形誤差

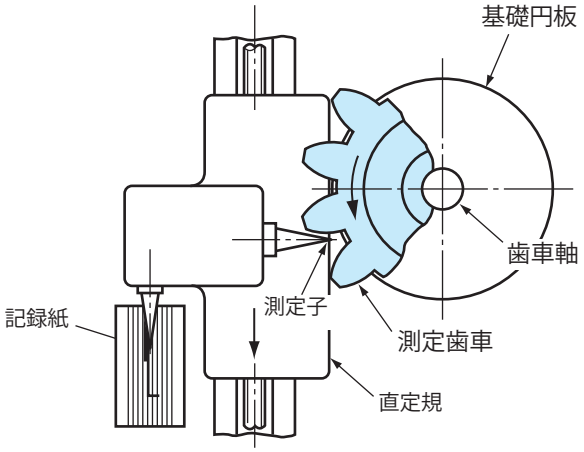


図4　基礎円板方式の測定方法

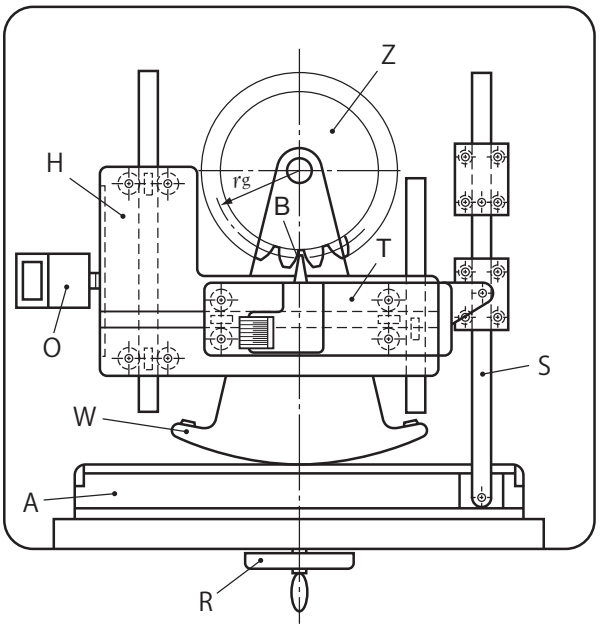


図5　基礎円調節方式の機構

5.3　歯すじ方向誤差

旧JIS B 1702では，「ピッチ円筒上において必要な検査範囲内の歯幅に対応する実際の歯すじ曲線と，理論上の曲線との差。ピッチ円筒上の寸法をもって表す。」と定義されています。

歯車精度のうち，歯すじ方向誤差だけがモジュールやピッチ円直径による区別がなく，歯幅による区別が有ります。平歯車の場合は，測定子が軸方向に移動して測定しますが，はすば歯車の場合は，測定子の軸方向の移動に合わせて，その歯のねじれ角に応じて歯車が回転します。

図9は，はすば歯車の歯すじ方向誤差の測定を表しています。

旧JIS B 1702では，次の2種類の測定方法を規定しています。

1）**歯すじ創成方式**：図9に示す方法で，測定機に取り付けた歯車を回転させ，ピッチ円筒上の理論上歯すじ相当距離だけ歯車または測定子を移動させて測定する方法。

2）**演算方式**：歯車の歯すじの座標をディジタル的に測定し，これを理論上の歯すじと比較して誤差を算出する方法。

これらの他に，リード規範を用いる比較測定法等があります。

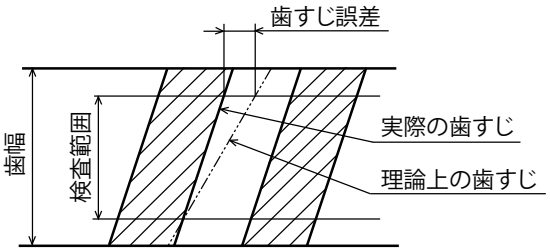


図6　歯すじ誤差

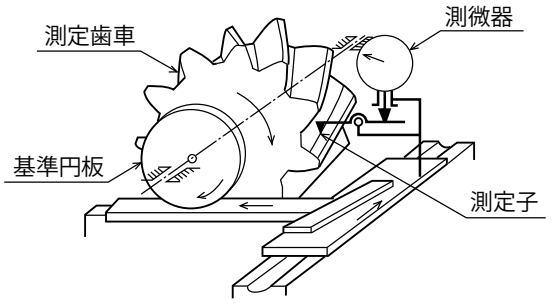


図9　歯すじ方向誤差の測定

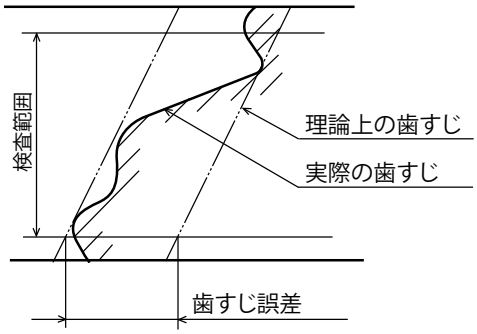


図7　歯すじ誤差（うねりがある場合）

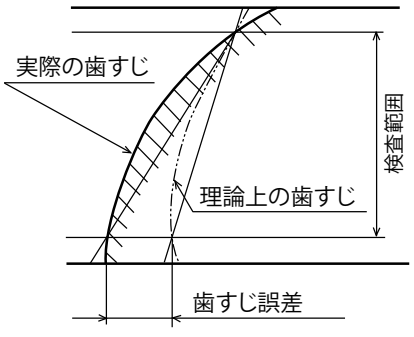


図8　歯すじ誤差（クラウニングした歯）

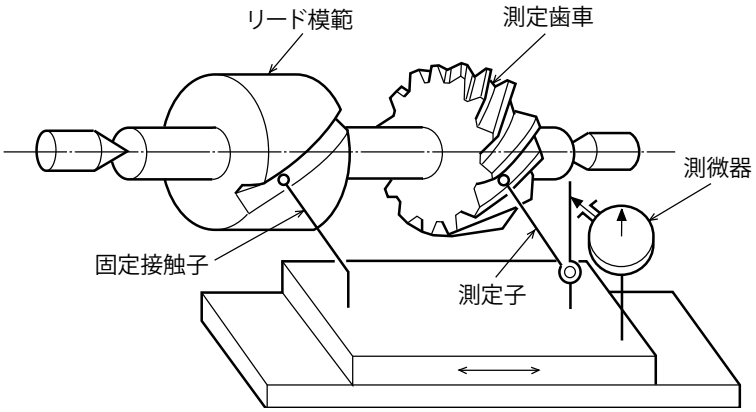
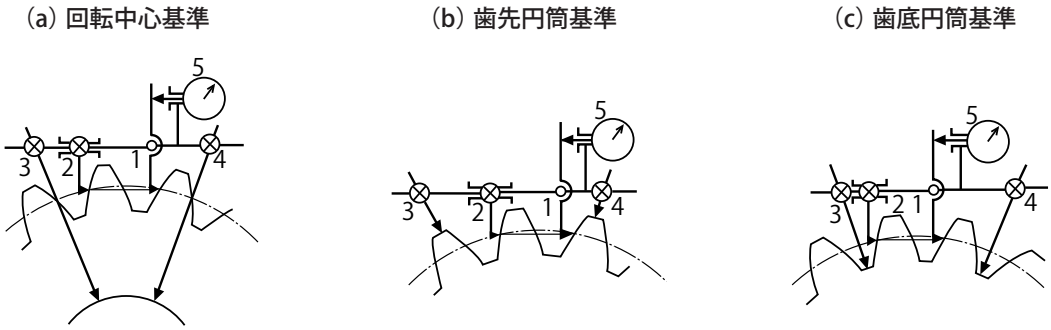


図10　比較測定法の機構

5.4 ピッチ誤差

高速運転する歯車では，ピッチ精度が問題となります。JIS B 1702-1では，単一ピッチ誤差，累積ピッチ誤差，法線ピッチ誤差を定義し，一つの精度等級におけるそれぞれの許容ピッチ誤差を規定しています。

また，旧JIS B 1752では，ピッチ誤差の測定方法について数多く規定しています。例えば，円ピッチの測定には，直線距離測定法（図11）と角度測定法とが有り（図12），法線ピッチの測定法には，手持ち式と回転中心基準とがあります。（図13）



1：測定子　2：固定接触子 (3)　3, 4：位置決め接触子　5: 測微器

注（3）固定接触子には，測微器などで0位置を測定する場合も含む。

図11　円ピッチの測定方法（直線距離測定法）

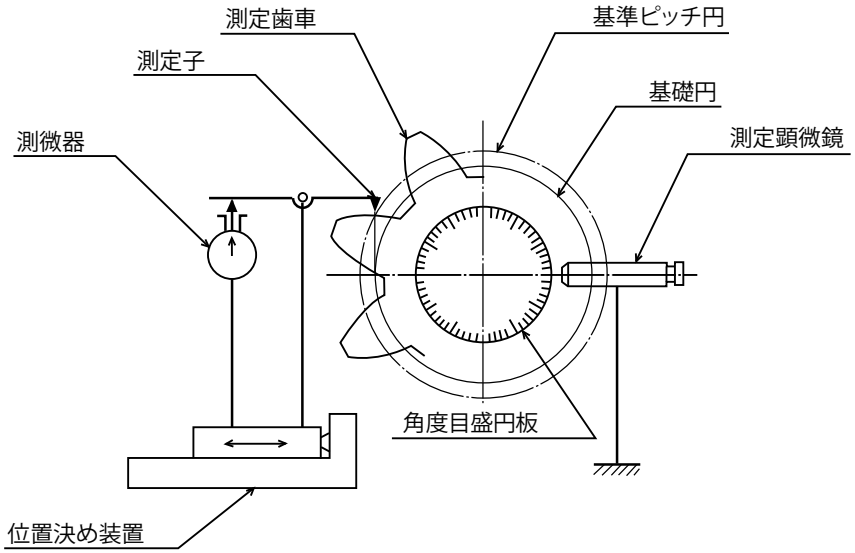
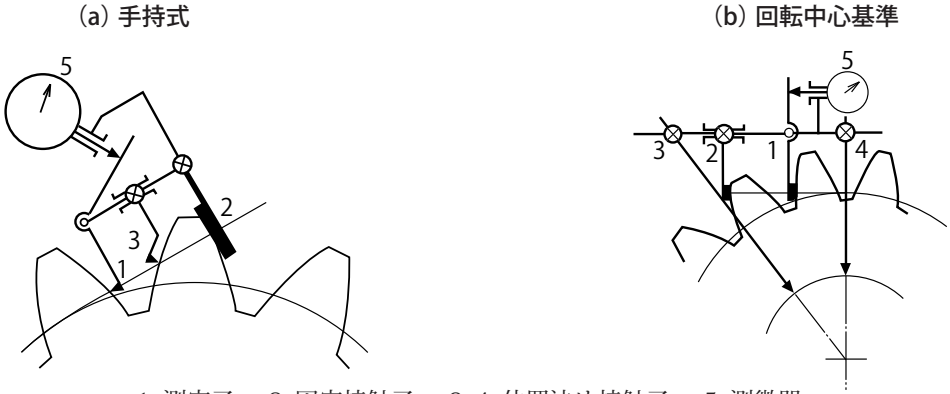


図12　円ピッチの測定方法（角度測定法）



1: 測定子　2: 固定接触子　3, 4: 位置決め接触子　5: 測微器

図13　法線ピッチの測定方法

5.5 歯みぞの振れ

JIS B 1702では，「玉又はピンなどの接触片を，歯みぞの両側歯面にピッチ円付近で接触させたときの，半径方向位置の最大差」と定義されています。簡単にいうと，軸心に対して歯がどれだけ偏心しているかの測定です。歯みぞの振れは，ピッチ，圧力角，歯形などの誤差にも影響し，歯みぞが触れていればこれらの誤差のうち，何かに誤差があると考えられます。歯みぞの振れを小さく保つには，歯車穴の精度（ハメアイ）を上げ，歯切り盤などへの取付けに十分に注意を払う必要があります。

旧JIS B 1752では，

1）玉又はピンによる測定

2）ピッチ測定による測定

の二種類を規定しています。図14には，玉又はピンによる測定方法を示します。

玉又はピンの直径は，測定する歯車の有効歯たけの中央付近に接するように選びます。第4章の図3ピン（玉）の直径を求める線図を参照して下さい。

測定位置は，歯幅の中央で測定します。

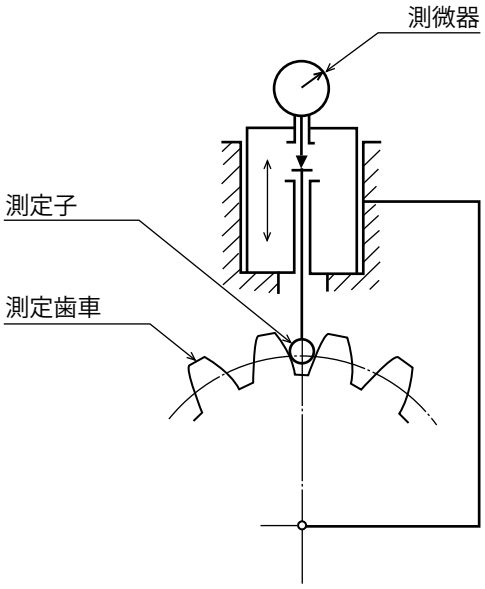


図14　歯みぞの振れの測定

5.6 両歯面かみ合い誤差

5.2～5.5までに紹介した歯車の誤差とその測定法は，その歯車の個別誤差であり，2次元に分解して測定する方法です。これに対して，かみ合い試験は，測定する歯車を相手歯車または検査用親円筒歯車（マスタギヤ）とかみ合わせて回転させて，歯車の“調子”を見るものです。歯車単体の精度を良くても，実際にかみ合わせてみないと歯車の問題点が現れないことがあるため，かみ合わせにより歯車の性能を見るものです。

旧 JIS B 1752では，両歯面かみ合い誤差を，

(a) **歯車単体の場合**：歯車を検査用親円筒歯車とバックラッシなしでかみ合わせて回転させたときの中心距離の変動。

(b) **歯車対の場合**：一対で用いる二つの歯車（以下，特定歯車対という。）をバックラッシなしでかみ合わせて回転させたときの中心距離の変動。

と定義しています。図15に両歯面かみ合い誤差の例を，図16に両歯面かみ合い誤差測定方法の図を示します。

両歯面かみ合い誤差の他に，1歯面かみ合い誤差がありますが，ここでは説明を省略します。

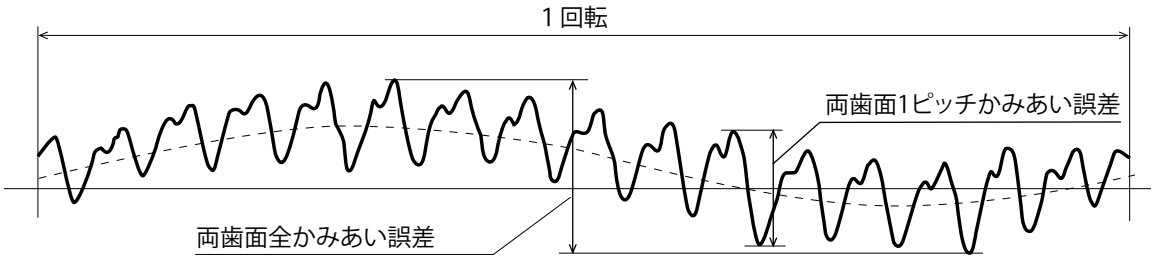


図15　両歯面かみあい誤差の例（歯車単体の場合）

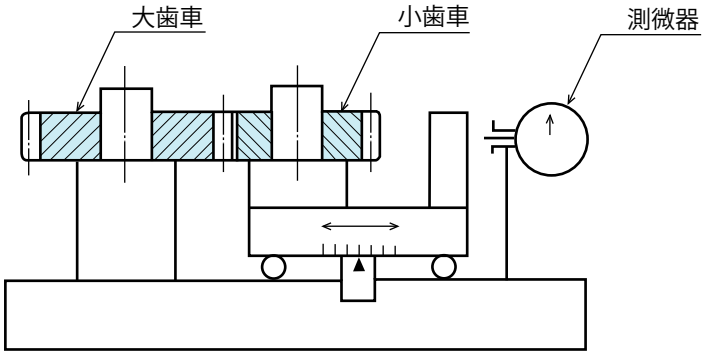


図16　両歯面かみあい誤差測定方法

5.7　平歯車およびはすば歯車の精度

1.　はじめに

JIS規格のISO規格への整合化のため，これまで永年にわたり用いてきたJIS B 1702:1995確認（平歯車及びはすば歯車の精度）が廃止され，JIS B 1702-1:1998（円筒歯車－精度等級　第1部：歯車の歯面に関する誤差の定義及び許容値）及びJIS B 1702-2:1998（円筒歯車－精度等級　第2部：両歯面かみ合い誤差及び歯溝の振れの定義並びに精度許容値）の2つの規格に分割されて制定されました。

これらの内容について旧JIS B 1702と比較すると，モジュールや基準円直径（旧JISでは基準ピッチ円直径）の区分が異なっているために，例えば，旧JIS 4級が新JISでは何級に相当するかについて詳細に対応させることはできません。

おおよその目安として，

新JIS精度等級＝旧JIS精度等級＋4（級）

と言われていますが，比較的歯数の小さい範囲または比較的歯数の大きい範囲では，上記の目安が適用できない部分があります。

また，旧JIS B 1702に基づき制定されている多くのJIS規格及びJGMA規格があり，新JIS規格に基づき見直しされなければならないのですが，すぐに対応することは不可能とされています。

このカタログでは，新旧の歯車精度の比較を一覧表として示します。まず，旧JIS歯車精度に対応する新しいJIS歯車精度を見つけ，次に，この新旧対応を他のJISまたはJGMA規格にも適用させ，歯車に関する総合の各規準値（または許容値）を求めるためにご利用ください。

なお，このカタログに示す範囲以外の歯車についてその精度を調べる必要がある場合，上記に示す2つの新しいJIS規格でご確認ください。

2.　新旧を比較する誤差の許容値の種類

JIS B 1702-1:1998およびJIS B 1702-2:1998より抜粋（表1～11参照）

(1) 単一ピッチ誤差
(2) 累積ピッチ誤差
(3) 全歯形誤差
(4) 歯溝の振れ
(5) 両歯面全かみ合い誤差
(6) 両歯面1ピッチかみ合い誤差

上記6種類の各誤差について，当社規格品のモジュール毎に新旧対比を行い，各表に示しました。

なお，新旧のJISの混乱をさけるため，新JISの精度等級には接頭Nをつけ，N○級と呼称表示することが推奨されています。

3.　はすば歯車を比較する場合の注意事項

新JISでは，歯直角モジュールを用いて各誤差の許容値が設定されているのに対して，旧JISでは，正面モジュールが用いられています。もし，歯直角方式のはすば歯車について新旧精度の比較を行う場合には，歯直角モジュールm_nと基準円筒ねじれ角βから，次の式によって正面モジュールm_tを計算します。

$$m_t = m_n / \cos\beta$$

4. 全歯すじ方向誤差（旧：歯すじ方向誤差）

全歯すじ方向誤差については，JIS B 1702-1: 1998を抜粋して表12に示します。

5. 円筒歯車素材の精度

円筒歯車素材の精度を表13～19に示します。

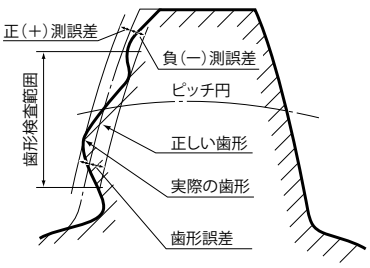


図17　歯形誤差

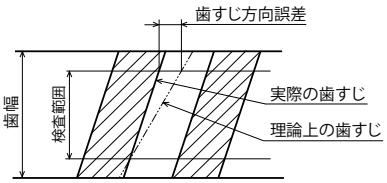


図18　歯すじ方向誤差

表1　モジュール0.5の各誤差の許容値

単位: μm

	JIS B 1702-1 および 2（1998）の精度等級								旧 JIS B 1702及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	10 - 40	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	7 - 12	2	3	5	7	9	13	19
	41 - 100	3.5	5	7	10	14	20	28	13 - 24	3	4	5	7	10	14	20
	101 - 250	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	25 - 50	3	4	6	8	11	16	22
									51 - 100	3	4	6	9	13	18	25
									101 - 200	4	5	7	10	14	20	29
累積ピッチ誤差	10 - 40	8	11	16	23	32	45	64	7 - 12	9	13	19	26	37	52	75
	41 - 100	10	14	20	29	41	57	81	13 - 24	10	14	20	29	41	57	81
	101 - 250	13	18	26	37	52	74	104	25 - 50	11	16	22	32	45	63	90
									51 - 100	13	18	25	36	50	71	100
									101 - 200	14	20	29	40	57	80	115
全歯形誤差	10 - 40	3.2	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	2	3	5	7	10	14	20
	41 - 100	3.6	5	7.5	10	15	21	29								
	101 - 250	4.1	6	8.5	12	17	23	33								
歯みぞの振れ	10 - 40	6.5	9	13	18	25	36	51	7 - 12	7	9	13	19	26	37	52
	41 - 100	8	11	16	23	32	46	65	13 - 24	7	10	14	20	29	41	57
	101 - 250	10	15	21	29	42	59	83	25 - 50	8	11	16	22	32	45	63
									51 - 100	9	13	18	25	36	50	71
									101 - 200	10	14	20	29	40	57	80
両歯面かみあい誤差全かみあい	10 - 40	7.5	11	15	21	30	42	60	7 - 12	9	12	17	24	34	48	68
	41 - 100	9.5	13	19	26	37	52	74	13 - 24	9	13	18	26	37	52	73
	101 - 250	12	16	23	33	46	66	93	25 - 50	10	14	20	28	40	56	79
									51 - 100	11	15	22	31	44	62	87
									101 - 200	12	17	24	34	48	68	96
両歯面１ピッチ	全歯数	1	2	2.5	3.5	5	7	10	全歯数	4	6	8	11	16	22	32

表2　モジュール0.75の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および 2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	7 - 26	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	8 - 16	3	4	5	8	11	15	21
	27 - 66	3.5	5	7	10	14	20	28	17 - 33	3	4	6	8	12	17	24
	67 - 166	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	34 - 66	3	5	7	9	13	19	26
									67 - 133	4	5	7	10	15	21	30
累積ピッチ誤差	7 - 26	8	11	16	23	32	45	64	8 - 16	11	15	21	30	43	60	86
	27 - 66	10	14	20	29	41	57	81	17 - 33	12	17	24	33	47	66	94
	67 - 166	13	18	26	37	52	74	104	34 - 66	13	19	26	37	53	74	105
									67 - 133	15	21	30	42	60	83	120
全歯形誤差	7 - 26	3.3	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	3	4	6	8	11	16	22
	27 - 66	3.5	5	7.5	10	15	21	29								
	67 - 166	3.8	6	8.5	12	17	23	33								
歯みぞの振れ	7 - 26	6.5	9	13	18	25	36	51	8 - 16	8	11	15	21	30	43	60
	27 - 66	8	11	16	23	32	46	65	17 - 33	8	12	17	24	33	47	66
	67 - 166	10	15	21	29	42	59	83	34 - 66	9	13	19	26	37	53	74
									67 - 133	10	15	21	30	42	60	83
両歯面かみあい誤差全かみあい	7 - 26	8	12	16	23	33	46	66	8 - 16	10	14	20	28	39	55	78
	27 - 66	10	14	20	28	40	56	80	17 - 33	11	15	21	30	42	60	84
	67 - 166	12	17	25	35	49	70	98	34 - 66	12	16	23	33	46	65	92
									67 - 133	13	18	25	36	51	72	100
両歯面１ピッチ	7 - 66	2	2.5	4	5.5	7.5	11	15	全歯数	4	6	9	13	18	25	36
	67 - 166	2	3	4	5.5	8	11	16								

表3　モジュール0.8の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702及び JGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	7 - 25	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	8 - 15	3	4	5	8	11	15	21
	26 - 62	3.5	5	7	10	14	20	28	16 - 31	3	4	6	8	12	17	24
	63 - 156	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	32 - 62	3	5	7	9	13	19	26
									63 - 125	4	5	7	10	15	21	30
累積ピッチ誤差	7 - 25	8	11	16	23	32	45	64	8 - 15	11	15	21	30	43	60	86
	26 - 62	10	14	20	29	41	57	81	16 - 31	12	17	24	33	47	66	94
	63 - 156	13	18	26	37	52	74	104	32 - 62	13	19	26	37	53	74	105
									63 - 125	15	21	30	42	60	83	120
全歯形誤差	- 20	3.2	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	3	4	6	8	11	16	22
	21 - 50	3.6	5	7.5	10	15	21	29								
	51 - 125	4.1	6	8.5	12	17	23	33								
歯みぞの振れ	7 - 25	6.5	9	13	18	25	36	51	8 - 15	8	11	15	21	30	43	60
	26 - 62	8	11	16	23	32	46	65	16 - 31	8	12	17	24	33	47	66
	63 - 156	10	15	21	29	42	59	83	32 - 62	9	13	19	26	37	53	74
									63 - 125	10	15	21	30	42	60	83
両歯面かみあい誤差全かみあい	7 - 25	8	12	16	23	33	46	66	8 - 15	10	14	20	28	39	55	78
	26 - 62	10	14	20	28	40	56	80	16 - 31	11	15	21	30	42	60	84
	63 - 156	12	17	25	35	49	70	98	32 - 62	12	16	23	33	46	65	92
									63 - 125	13	18	25	36	51	72	100
両歯面１ピッチ	7 - 62	2	2.5	4	5.5	7.5	11	15	全歯数	4	6	9	13	18	25	36
	63 - 156	2	3	4	5.5	8	11	16								

表4　モジュール1の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1 および2（1998）の精度等級								旧 JIS B 1702 及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 20	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	7 - 12	3	4	5	8	11	15	21
	21 - 50	3.5	5	7	10	14	20	28	13 - 25	3	4	6	8	12	17	24
	51 - 125	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	26 - 50	3	5	7	9	13	19	26
									51 - 100	4	5	7	10	15	21	30
									101 - 200	4	6	9	12	17	24	34
累積ピッチ誤差	- 20	8	11	16	23	32	45	64	7 - 12	11	15	21	30	43	60	86
	21 - 50	10	14	20	29	41	57	81	13 - 25	12	17	24	33	47	66	44
	51 - 125	13	18	26	37	52	74	104	26 - 50	13	19	26	37	53	74	105
									51 - 100	15	21	30	42	60	83	120
									101 - 200	17	24	34	48	68	95	135
全歯形誤差	- 20	3.2	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	3	4	6	8	11	16	22
	21 - 50	3.6	5	7.5	10	15	21	29								
	51 - 125	4.1	6	8.5	12	17	23	33								
歯みぞの振れ	- 20	6.5	9	13	18	25	36	51	7 - 12	8	11	15	21	30	43	60
	21 - 50	8	11	16	23	32	46	65	13 - 25	8	12	17	24	33	47	66
	51 - 125	10	15	21	29	42	59	83	26 - 50	9	13	19	26	37	53	74
									51 - 100	10	15	21	30	42	60	83
									101 - 200	12	17	24	34	48	68	95
両歯面かみあい誤差全かみあい	- 20	9	12	18	25	35	50	70	7 - 12	10	14	20	28	39	55	78
	21 - 50	11	15	21	30	42	60	85	13 - 25	11	15	21	30	42	60	84
	51 - 125	13	18	26	36	52	73	103	26 - 50	12	16	23	33	46	65	92
									51 - 100	13	18	25	36	51	72	100
									101 - 200	14	20	28	40	57	81	115
両歯面１ピッチ	全歯数	2.5	3.5	5	7	10	14	20	全歯数	4	6	9	13	18	25	36

表5　モジュール1.25の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1 および 2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 16	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	- 9	3	4	6	8	11	16	23
	17 - 40	3.5	5	7	10	14	20	28	10 - 20	3	4	6	9	12	18	25
	41 - 100	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	21 - 40	3	5	7	10	14	19	28
	101 - 224	4.2	6	8.5	12	17	24	34	41 - 80	4	6	8	11	16	22	31
									81 - 160	4	6	9	12	18	25	35
累積ピッチ誤差	- 16	8	11	16	23	32	45	64	- 9	11	16	23	32	45	64	91
	17 - 40	10	14	20	29	41	57	81	10 - 20	12	18	25	35	50	70	100
	41 - 100	13	18	26	37	52	74	104	21 - 40	14	19	28	39	55	77	110
	101 - 224	17	24	35	49	69	98	138	41 - 80	16	22	31	44	62	87	125
									81 - 160	18	25	35	50	71	99	140
全歯形誤差	- 16	3.2	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	3	4	6	9	13	18	25
	17 - 40	3.6	5	7.5	10	15	21	29								
	41 - 100	4.1	6	8.5	12	17	23	33								
	101 - 224	4.9	7	10	14	20	28	39								
歯みぞの振れ	- 16	6.5	9	13	18	25	36	51	- 9	8	11	16	23	32	45	64
	17 - 40	8	11	16	23	32	46	65	10 - 20	9	12	18	25	35	50	70
	41 - 100	10	15	21	29	42	59	83	21 - 40	10	14	19	28	39	55	77
	101 - 224	14	20	28	39	55	78	110	41 - 80	11	16	22	31	44	62	87
									81 - 160	12	18	25	35	50	71	99
両歯面かみあい誤差全かみあい	- 16	10	14	19	27	38	54	76	- 9	10	15	21	30	42	59	84
	17 - 40	11	16	23	32	45	64	91	10 - 20	11	16	23	32	45	64	90
	41 - 100	14	19	27	39	55	77	109	21 - 40	12	17	25	35	49	69	98
	101 - 224	17	24	34	48	68	97	137	41 - 80	13	19	27	38	54	76	105
									81 - 160	15	21	30	42	60	85	120
両歯面１ピッチ	- 40	3.0	4.5	6.5	9.0	13	18	25	全歯数	5	7	10	14	20	28	40
	41 - 224	3.0	4.5	6.5	9.0	13	18	26								

表6　モジュール1.5の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1 および 2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702 及び JGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 13	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	- 8	3	4	6	8	11	16	23
	14 - 33	3.5	5	7	10	14	20	28	9 - 16	3	4	6	9	12	18	25
	34 - 83	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	17 - 33	3	5	7	10	14	19	28
	84 - 186	4.2	6	8.5	12	17	24	34	34 - 66	4	6	8	11	16	22	31
									67 - 133	4	6	9	12	18	25	35
累積ピッチ誤差	- 13	8	11	16	23	32	45	64	- 8	11	16	23	32	45	64	91
	14 - 33	10	14	20	29	41	57	81	9 - 16	12	18	25	35	50	70	100
	34 - 83	13	18	26	37	52	74	104	17 - 33	14	19	28	39	55	77	110
	84 - 186	17	24	35	49	69	98	138	34 - 66	16	22	31	44	62	87	125
									67 - 133	18	25	35	50	71	99	140
全歯形誤差	- 13	3.2	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	3	4	6	9	13	18	25
	14 - 33	3.6	5	7.5	10	15	21	29								
	34 - 83	4.1	6	8.5	12	17	23	33								
	84 - 186	4.9	7	10	14	20	28	39								
歯みぞの振れ	- 13	6.5	9	13	18	25	36	51	- 8	8	11	16	23	32	45	64
	14 - 33	8	11	16	23	32	46	65	9 - 16	9	12	18	25	35	50	70
	34 - 83	10	15	21	29	42	59	83	17 - 33	10	14	19	28	39	55	77
	84 - 186	14	20	28	39	55	78	110	34 - 66	11	16	22	31	44	62	87
									67 - 133	12	18	25	35	50	71	99
両歯面かみあい誤差全かみあい	- 13	10	14	19	27	38	54	76	- 8	10	15	21	30	42	59	84
	14 - 33	11	16	23	32	45	64	91	9 - 16	11	16	23	32	45	64	90
	34 - 83	14	19	27	39	55	77	109	17 - 33	12	17	25	35	49	69	98
	84 - 186	17	24	34	48	68	97	137	34 - 66	13	19	27	38	54	76	105
									67 - 133	15	21	30	42	60	85	120
両歯面１ピッチ	- 33	3	4.5	6.5	9	13	18	25	全歯数	5	7	10	14	20	28	40
	34 - 186	3	4.5	6.5	9	13	18	26								

表7　モジュール2の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 10	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	26	7 - 12	3	5	7	9	13	19	27
	11 - 25	3.5	5	7	10	14	20	28	13 - 25	4	5	7	10	15	21	30
	26 - 62	3.8	5.5	7.5	11	15	21	30	26 - 50	4	6	8	12	16	23	33
	63 - 140	4.2	6	8.5	12	17	24	34	51 - 100	5	7	9	13	19	26	37
累積ピッチ誤差	- 10	8	11	16	23	32	45	64	7 - 12	13	19	27	38	53	75	105
	11 - 25	10	14	20	29	41	57	81	13 - 25	15	21	30	42	59	83	120
	26 - 62	13	18	26	37	52	74	104	26 - 50	16	23	33	46	66	92	130
	63 - 140	17	24	35	49	69	98	138	51 - 100	19	26	37	52	74	105	150
全歯形誤差	- 10	3.2	4.6	6.5	9	13	18	26	全歯数	4	5	7	10	15	21	29
	11 - 25	3.6	5	7.5	10	15	21	29								
	26 - 62	4.1	6	8.5	12	17	23	33								
	63 - 140	4.9	7	10	14	20	28	39								
歯みぞの振れ	- 10	6.5	9	13	18	25	36	51	7 - 2	9	13	19	27	38	53	75
	11 - 25	8	11	16	23	32	46	65	13 - 25	10	15	21	30	42	59	83
	26 - 62	10	15	21	29	42	59	83	26 - 50	12	16	23	33	46	66	92
	63 - 140	14	20	28	39	55	78	110	51 - 100	13	19	26	37	52	74	105
両歯面かみあい誤差全かみあい	- 10	11	16	22	32	45	63	89	7 - 12	12	17	25	35	49	70	98
	11 - 25	13	18	26	37	52	73	103	13 - 25	13	19	27	38	53	75	105
	26 - 62	15	22	31	43	61	86	122	26 - 50	15	21	29	41	58	82	115
	63 - 140	19	26	37	53	75	106	149	51 - 100	16	23	32	45	64	91	130
両歯面１ピッチ	- 62	4.5	6.5	9.5	13	19	26	37	全歯数	6	8	12	16	23	33	47
	63 - 140	4.5	6.5	9.5	13	19	27	38								

表8　モジュール2.5の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 8	3.7	5	7.5	10	15	21	29	- 10	3	5	7	9	13	19	27
	9 - 20	3.9	5.5	7.5	11	15	22	31	11 - 20	4	5	7	10	15	21	30
	21 - 50	4.1	6	8.5	12	17	23	33	21 - 40	4	6	8	12	16	23	33
	51 ～ 112	4.6	6.5	9	13	18	26	36	41 ～ 80	5	7	9	13	19	26	37
累積ピッチ誤差	～ 8	8.5	12	17	23	33	47	66	～ 10	13	19	27	38	53	75	105
	9 ～ 20	10	15	21	30	42	59	84	11 ～ 20	15	21	30	42	59	83	120
	21 ～ 50	13	19	27	38	53	76	107	21 ～ 40	16	23	33	46	66	92	130
	51 ～ 112	18	25	35	50	70	100	141	41 ～ 80	19	26	37	52	74	105	150
全歯形誤差	～ 8	4.7	6.5	9.5	13	19	26	37	全歯数	4	5	7	10	15	21	29
	9 ～ 20	5	7	10	14	20	29	40								
	21 ～ 50	5.5	8	11	16	22	31	44								
	51 ～ 112	6.5	9	13	18	25	36	50								
歯みぞの振れ	～ 8	6.5	9.5	13	19	27	38	53	～ 10	9	13	19	27	38	53	75
	9 ～ 20	8.5	12	17	24	34	47	67	11 ～ 20	10	15	21	30	42	59	83
	21 ～ 50	11	15	21	30	43	61	86	21 ～ 40	12	16	23	33	46	66	92
	51 ～ 112	14	20	28	40	56	80	113	41 ～ 80	13	19	26	37	52	74	105
両歯面かみあい誤差全かみあい	～ 8								～ 10	12	17	25	35	49	70	98
	9 ～ 20	13	18	26	37	52	73	103	11 ～ 20	13	19	27	38	53	75	105
	21 ～ 50	15	22	31	43	61	86	122	21 ～ 40	15	21	29	41	58	82	115
	51 ～ 112	19	26	37	53	75	106	149	41 ～ 80	16	23	32	45	64	91	130
両歯面１ピッチ	～ 50	4.5	6.5	9.5	13	19	26	37	全歯数	6	8	12	16	23	33	47
	51 ～ 112	4.5	6.5	9.5	13	19	27	38								

表9　モジュール3の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702及びJGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	7 - 16	3.9	5.5	7.5	11	15	22	31	8	規格範囲外のため、歯数9の許容値を準用						
	17 - 41	4.1	6	8.5	12	17	23	33	9 - 16	4	6	8	11	16	23	33
	42 - 93	4.6	6.5	9	13	18	26	36	17 - 33	4	6	9	13	18	25	36
									34 - 66	5	7	10	14	20	28	40
累積ピッチ誤差	7 - 16	10	15	21	30	42	59	84	8	規格範囲外のため、歯数9の許容値を準用						
	17 - 41	13	19	27	38	53	76	107	9 - 16	16	23	33	46	65	91	130
	42 - 93	18	25	35	50	70	100	141	17 - 33	18	25	36	51	72	100	145
									34 - 66	20	28	40	57	81	115	160
全歯形誤差	7 - 16	5	7	10	14	20	29	40	全歯数	4	6	9	13	18	25	36
	17 - 41	5.5	8	11	16	22	31	44								
	42 - 93	6.5	9	13	18	25	36	50								
歯みぞの振れ	7 - 16	8.5	12	17	24	34	47	67	8	規格範囲外のため、歯数9の許容値を準用						
	17 - 41	11	15	21	30	43	61	86	9 - 16	11	16	23	33	46	65	91
	42 - 93	14	20	28	40	56	80	113	17 - 33	13	18	25	36	51	72	100
									34 - 66	14	20	28	40	57	81	115
両歯面かみあい誤差全かみあい	7 - 16	16	22	31	44	63	89	126	8	規格範囲外のため、歯数9の許容値を準用						
	17 - 41	18	25	36	51	72	102	144	9 - 16	15	21	30	43	60	85	120
	42 - 93	21	30	43	61	86	121	172	17 - 33	16	23	32	46	65	92	130
									34 - 66	18	25	35	50	71	100	140
両歯面１ピッチ	- 93	7.5	10	15	21	29	41	58	全歯数	7	10	13	20	29	40	57

表10　モジュール4の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および2（1998）の精度等級								旧JIS B 1702 及び JGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 12	4.3	6	8.5	12	17	24	34	- 124	4	6	8	11	16	23	33
	13 - 31	4.6	6.5	9	13	18	26	36	13 - 25	4	6	9	13	18	25	36
	32 - 70	5	7	10	14	20	28	40	26 - 50	5	7	10	14	20	28	40
累積ピッチ誤差	- 12	11	15	22	31	44	62	87	- 12	16	23	33	46	65	91	130
	13 - 31	14	19	28	39	55	78	110	13 - 25	18	25	36	51	72	100	145
	32 - 70	18	25	36	51	72	102	144	26 - 50	20	28	40	57	81	115	160
全歯形誤差	- 12	6	9	12	18	25	35	50	全歯数	4	6	9	13	18	25	36
	13 - 31	6.5	9.5	13	19	27	38	54								
	32 - 70	7.5	11	15	21	30	42	60								
歯みぞの振れ	- 12	8.5	12	17	25	35	49	70	- 12	11	16	23	33	46	65	91
	13 - 31	11	16	22	31	44	62	88	13 - 25	13	18	25	36	51	72	100
	32 - 70	14	20	29	41	58	82	115	26 - 50	14	20	28	40	57	81	115
両歯面かみあい誤差全かみあい	- 12	16	22	31	44	63	89	126	- 12	15	21	30	43	60	85	120
	13 - 31	18	25	36	51	72	102	144	13 - 25	16	23	32	46	65	92	130
	32 - 70	21	30	43	61	86	121	172	26 - 50	18	25	35	50	71	100	140
両歯面１ピッチ	- 70	7.5	10	15	21	29	41	58	全歯数	7	10	13	20	29	40	57

表11　モジュール5の各誤差の許容値

単位: μm

誤差	JIS B 1702-1および2（1998）の精度等級								旧 JIS B 1702 及び JGMA 116-01の精度等級							
	歯数範囲	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	歯数範囲	0	1	2	3	4	5	6
単一ピッチ誤差	- 10	4.3	6	8.5	12	17	24	34	- 10	5	7	9	13	19	26	37
	11 - 25	4.6	6.5	9	13	18	26	36	11 - 20	5	7	10	14	20	28	40
	26 - 56	5	7	10	14	20	28	40	21 - 40	6	8	11	16	22	32	45
累積ピッチ誤差	- 10	11	15	22	31	44	62	87	- 10	19	26	37	52	74	105	150
	11 - 25	14	19	28	39	55	78	110	11 - 20	20	28	40	57	81	115	160
	26 - 56	18	25	36	51	72	102	144	21 - 40	22	32	45	63	90	125	180
全歯形誤差	- 10	6	9	12	18	25	35	50	全歯数	6	8	11	16	23	32	45
	11 - 25	6.5	9.5	13	19	27	38	54								
	26 - 56	7.5	11	15	21	30	42	60								
歯みぞの振れ	- 10	8.5	12	17	25	35	49	70	- 10	13	19	26	37	52	74	105
	11 - 25	11	16	22	31	44	62	88	11 - 20	14	20	28	40	57	81	115
	26 - 56	14	20	29	41	58	82	115	21 - 40	15	22	32	45	63	90	125
両歯面かみあい誤差全かみあい	- 10	20	28	39	56	79	111	157	- 10	18	25	35	50	70	100	140
	11 - 25	22	31	44	62	88	124	176	11 - 20	19	27	38	53	75	105	150
	26 - 56	25	36	51	72	102	144	203	21 - 40	20	29	41	58	81	115	160
両歯面１ピッチ	- 56	11	15	22	31	44	62	87	全歯数	9	13	18	26	36	51	73

表12　全歯すじ誤差

基準円直径 d mm	歯幅 b mm	基準円直径						
		N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
		μm						
5≦d≦20	4≦b≦10	4.3	6	8.5	12	17	24	35
	10<b≦20	4.9	7	9.5	14	19	28	39
	20<b≦40	5.5	8	11	16	22	31	45
20<d≦50	4≦b≦10	4.5	6.5	9	13	18	25	36
	10<b≦20	5	7	10	14	20	29	40
	20<b≦40	5.5	8	11	16	23	32	46
50<d≦125	4≦b≦10	4.7	6.5	9.5	13	19	27	38
	10<b≦20	5.5	7.5	11	15	21	30	42
	20<b≦40	6	8.5	12	17	24	34	48
	40<b≦80	7	10	14	20	28	39	56
125<d≦280	4≦b≦10	5	7	10	14	20	29	40
	10<b≦20	5.5	8	11	16	22	32	45
	20<b≦40	6.5	9	13	18	25	36	50
	40<b≦80	7.5	10	15	21	29	41	58
280<d≦560	10<b≦20	6	8.5	12	17	24	34	48
	20<b≦40	6.5	9.5	13	19	27	38	54
	40<b≦80	7.5	11	15	22	31	44	62
	80<b≦160	9	13	18	26	36	52	73

表13　素材外周の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

外径（mm）	1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え25 以下	25 を超え 50以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
0級	3	4	4	4	5	5	6	6	7	9	10
1級	5	5	5	6	6	7	8	9	10	12	14
2級	7	7	8	8	9	10	11	13	15	17	20
3級	10	10	11	12	13	14	16	18	20	24	28
4級	14	14	15	17	18	20	22	25	29	34	40
5級	19	20	22	23	26	28	31	36	41	47	56
6級	28	29	31	33	36	40	45	51	58	60	80
7級	55	58	62	67	73	80	90	100	115	135	160
8級	110	115	125	135	145	160	180	200	230	270	320

表14　0級歯車の素材側面の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

ピッチ円直径（mm）		1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え25 以下	25 を超え50 以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
歯幅（mm）	3以下	2	2	3	4	5	8	-	-	-	-	-
	3を超え6以下	2	2	3	3	5	8	13	-	-	-	-
	6を超え12以下	2	2	3	3	5	7	12	23	-	-	-
	12を超え25以下	2	2	3	3	4	7	11	20	38	-	-
	25を超え50以下	-	2	3	3	4	6	9	16	30	59	-
	50を超え100以下	-	-	2	3	3	5	7	12	22	42	82
	100を超え200以下	-	-	-	3	3	4	5	8	15	27	52
	200を超え400以下	-	-	-	-	3	3	4	6	9	17	31
	400を超え800以下	-	-	-	-	-	3	3	4	6	10	18

表15　1級歯車の素材側面の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

ピッチ円直径（mm）		1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え 25以下	25 を超え 50以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
歯幅（mm）	3以下	3	3	4	5	7	11	-	-	-	-	-
	3を超え6以下	3	3	4	5	7	11	19	-	-	-	-
	6を超え12以下	3	3	4	5	7	10	18	32	-	-	-
	12を超え25以下	3	3	4	5	6	9	16	28	53	-	-
	25を超え50以下	-	3	4	4	5	8	13	23	43	83	-
	50を超え100以下	-	-	3	4	5	7	10	17	31	59	115
	100を超え200以下	-	-	-	4	4	5	7	12	21	38	74
	200を超え400以下	-	-	-	-	4	4	6	8	13	23	44
	400を超え800以下	-	-	-	-	-	4	4	6	9	14	25

表16　2級歯車の素材側面の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

ピッチ円直径（mm）		1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え 25以下	25 を超え 50以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
歯幅（mm）	3以下	5	5	6	7	10	16	-	-	-	-	-
	3を超え6以下	5	5	6	7	10	15	26	-	-	-	-
	6を超え12以下	5	5	5	7	9	14	25	45	-	-	-
	12を超え25以下	4	5	5	6	9	13	22	40	75	-	-
	25を超え50以下	-	5	5	6	8	11	18	32	60	115	-
	50を超え100以下	-	-	5	5	7	9	14	24	44	83	160
	100を超え200以下	-	-	-	5	6	7	10	17	29	54	105
	200を超え400以下	-	-	-	-	5	6	8	11	18	33	61
	400を超え800以下	-	-	-	-	-	5	6	8	12	20	35

表17　3級歯車の素材側面の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

ピッチ円直径（mm）		1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え 25以下	25 を超え 50以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
歯幅（mm）	3以下	6	7	8	10	14	22	-	-	-	-	-
	3を超え6以下	6	7	8	10	14	22	37	-	-	-	-
	6を超え12以下	6	7	8	10	13	21	35	64	-	-	-
	12を超え25以下	6	7	8	9	12	19	31	56	105	-	-
	25を超え50以下	-	7	7	8	11	16	26	46	86	165	-
	50を超え100以下	-	-	7	8	10	13	20	34	62	120	230
	100を超え200以下	-	-	-	7	8	10	15	24	41	77	150
	200を超え400以下	-	-	-	-	7	9	11	16	26	47	88
	400を超え800以下	-	-	-	-	-	7	9	12	17	28	50

表18　4級歯車の素材側面の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

ピッチ円直径（mm）		1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え 25以下	25 を超え 50以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
歯幅（mm）	3以下	9	10	11	14	20	31	-	-	-	-	-
	3を超え6以下	9	10	11	14	19	30	52	-	-	-	-
	6を超え12以下	9	10	11	13	19	29	49	90	-	-	-
	12を超え25以下	9	9	11	13	17	26	44	79	150	-	-
	25を超え50以下	-	9	10	12	15	22	36	64	120	230	-
	50を超え100以下	-	-	10	11	13	18	28	48	87	165	320
	100を超え200以下	-	-	-	10	12	15	21	33	58	110	210
	200を超え400以下	-	-	-	-	10	12	16	23	37	66	125
	400を超え800以下	-	-	-	-	-	10	12	16	24	39	70

表19　5級歯車の素材側面の振れの許容値（旧JIS B 1702）

単位: μm

ピッチ円直径（mm）		1.5 以上 3以下	3 を超え 6以下	6 を超え 12以下	12 を超え 25以下	25 を超え 50以下	50 を超え 100以下	100 を超え 200以下	200 を超え 400以下	400 を超え 800以下	800 を超え 1,600以下	1,600 を超え 3,200以下
歯幅（mm）	3以下	13	14	16	20	28	45	-	-	-	-	-
	3を超え6以下	13	14	16	20	28	43	75	-	-	-	-
	6を超え12以下	13	14	15	19	27	41	70	130	-	-	-
	12を超え25以下	13	14	15	18	25	37	62	115	210	-	-
	25を超え50以下	-	13	14	17	22	32	52	92	170	330	-
	50を超え100以下	-	-	14	15	19	26	40	68	125	240	469
	100を超え200以下	-	-	-	14	16	21	30	47	83	155	300
	200を超え400以下	-	-	-	-	15	17	22	32	53	94	175
	400を超え800以下	-	-	-	-	-	15	18	23	34	56	190

かさ歯車の精度
JIS B 1704（抜粋）

1. 適用範囲　この規格は，かさ歯車（以下，歯車という。）の外端の正面モジュールが0.4～25mmで，外端のピッチ円直径が3～1600mmの歯車の精度について規定する。

備考　ハイポイドギヤにも準用できる。

2. 用語の意味　この規格に用いる主な用語の意味は，次の通りとする。

(1) **単一ピッチ誤差**　隣り合った歯の平均円すい距離におけるピッチ円上の実際のピッチから，その正しいピッチを引いた値。

(2) **隣接ピッチ誤差**　平均円すい距離におけるピッチ円上の隣り合った二つのピッチの差の絶対値。

(3) **累積ピッチ誤差**　平均円すい距離におけるピッチ円上の任意の二つの歯の間の実際のピッチの和から，その正しい値を引いた値。

(4) **歯みぞの振れ**　玉などの接触片を，平均円すい距離における歯みぞの両側歯面にピッチ円付近で接触させたときのピッチ円すいに垂直な方向における位置の最大差。

3. 等級　歯車の等級は，精度により次の9等級とする。ただし，使用目的に応じて，異なった誤差に対して異なった等級を組み合わすこと，又は必要な項目だけを選ぶことができる。

0級，1級，2級，3級，4級，5級，6級，7級，8級

4. 許容値　歯車の各等級に対する単一ピッチ誤差，隣接ピッチ誤差，累積ピッチ誤差及び歯みぞの振れの許容値は，付表による。

表20　正面モジュール0.4以上0.6以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）					
		3以上6以下	6を超え12以下	12を超え25以下	25を超え50以下	50を超え100以下	100を超え200以下
0	単一ピッチ誤差（±）	3	4	4	4	4	5
	隣接ピッチ誤差	4	5	5	5	6	6
	累積ピッチ誤差（±）	14	14	15	16	18	19
	歯みぞの振れ	5	7	10	14	20	28
1	単一ピッチ誤差（±）	6	6	7	7	8	8
	隣接ピッチ誤差	8	8	9	9	10	11
	累積ピッチ誤差（±）	25	26	27	29	31	34
	歯みぞの振れ	7	10	15	21	30	43
2	単一ピッチ誤差（±）	11	12	12	13	14	15
	隣接ピッチ誤差	15	15	16	17	18	20
	累積ピッチ誤差（±）	46	47	50	52	56	60
	歯みぞの振れ	11	15	22	31	45	63
3	歯みぞの振れ	16	24	33	48	67	95
4	歯みぞの振れ	25	35	50	71	100	145
5	歯みぞの振れ	37	52	75	105	150	210
6	歯みぞの振れ	56	79	110	160	230	320

表21　正面モジュール0.6を超え1以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）					
		3以上6以下	6を超え12以下	12を超え25以下	25を超え50以下	50を超え100以下	100を超え200以下
0	単一ピッチ誤差（±）	4	4	4	4	5	5
	隣接ピッチ誤差	5	5	5	5	6	6
	累積ピッチ誤差（±）	14	15	16	17	18	20
	歯みぞの振れ	5	7	10	14	20	28
1	単一ピッチ誤差（±）	6	7	7	7	8	9
	隣接ピッチ誤差	8	9	9	10	10	11
	累積ピッチ誤差（±）	25	26	28	30	32	34
	歯みぞの振れ	7	10	15	21	30	43
2	単一ピッチ誤差（±）	12	12	13	13	14	15
	隣接ピッチ誤差	15	16	16	17	18	20
	累積ピッチ誤差（±）	46	48	50	53	57	61
	歯みぞの振れ	11	15	22	31	45	63
3	歯みぞの振れ	16	24	33	48	67	95
4	歯みぞの振れ	25	35	50	71	100	145
5	歯みぞの振れ	37	52	75	105	150	210
6	歯みぞの振れ	56	79	110	160	230	320

表22　正面モジュール1を超え1.6以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）					
		3以上6以下	6を超え12以下	12を超え25以下	25を超え50以下	50を超え100以下	100を超え200以下
0	単一ピッチ誤差（±）	4	4	4	5	5	6
	隣接ピッチ誤差	5	5	6	6	7	7
	累積ピッチ誤差（±）	15	16	17	19	20	22
	歯みぞの振れ	7	10	14	20	28	40
1	単一ピッチ誤差（±）	7	7	8	8	9	10
	隣接ピッチ誤差	9	9	10	11	11	13
	累積ピッチ誤差（±）	27	29	30	32	35	39
	歯みぞの振れ	10	15	21	30	43	60
2	単一ピッチ誤差（±）	12	13	14	14	16	17
	隣接ピッチ誤差	16	17	18	19	20	22
	累積ピッチ誤差（±）	49	52	54	58	62	68
	歯みぞの振れ	15	22	31	45	63	89
3	単一ピッチ誤差（±）	23	23	25	26	28	30
	隣接ピッチ誤差	29	30	32	34	36	39
	累積ピッチ誤差（±）	90	94	98	105	110	120
	歯みぞの振れ	24	33	48	67	95	135
4	単一ピッチ誤差（±）	41	42	44	46	49	52
	隣接ピッチ誤差	53	55	57	60	63	68
	累積ピッチ誤差（±）	165	170	175	185	195	210
	歯みぞの振れ	35	50	71	100	145	200
5	歯みぞの振れ	52	75	105	150	210	300
6	歯みぞの振れ	79	110	160	230	320	450

表23　正面モジュール1.6を超え2.5以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）					
		3を超え6以下	6を超え12以下	12を超え25以下	25を超え50以下	50を超え100以下	100を超え200以下
0	単一ピッチ誤差（±）	4	4	5	5	6	6
	隣接ピッチ誤差	5	6	6	7	8	9
	累積ピッチ誤差（±）	17	18	19	21	23	26
	歯みぞの振れ	10	14	20	28	40	56
1	単一ピッチ誤差（±）	7	8	8	9	10	11
	隣接ピッチ誤差	10	10	11	12	13	14
	累積ピッチ誤差（±）	30	32	34	36	40	44
	歯みぞの振れ	15	21	30	43	60	86
2	単一ピッチ誤差（±）	13	14	15	16	17	19
	隣接ピッチ誤差	17	18	19	21	23	25
	累積ピッチ誤差（±）	54	56	60	64	69	76
	歯みぞの振れ	22	31	45	63	89	125
3	単一ピッチ誤差（±）	24	25	27	28	31	33
	隣接ピッチ誤差	31	33	35	37	40	43
	累積ピッチ誤差（±）	97	100	105	115	120	135
	歯みぞの振れ	33	48	67	95	135	190
4	単一ピッチ誤差（±）	43	45	47	50	55	57
	隣接ピッチ誤差	56	58	61	65	69	75
	累積ピッチ誤差（±）	170	180	190	200	210	239
	歯みぞの振れ	50	71	100	145	200	290
5	隣接ピッチ誤差	110	115	120	125	132	150
	歯みぞの振れ	75	105	150	210	300	430
6	隣接ピッチ誤差	210	220	240	250	270	290
	歯みぞの振れ	110	160	230	320	450	640

表24　正面モジュール2.5を超え4以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）						
		12を超え25以下	25を超え50以下	50を超え100以下	100を超え200以下	200を超え400以下	400を超え800以下	800を超え1,600以下
0	単一ピッチ誤差（±）	5	5	5	6	6	7	8
	隣接ピッチ誤差	6	6	7	7	8	9	10
	累積ピッチ誤差（±）	18	19	21	22	24	27	31
	歯みぞの振れ	10	14	20	28	40	56	79
1	単一ピッチ誤差（±）	8	8	9	10	10	12	13
	隣接ピッチ誤差	10	11	12	12	14	15	17
	累積ピッチ誤差（±）	32	33	36	38	42	46	51
	歯みぞの振れ	15	21	30	43	60	86	120
2	単一ピッチ誤差（±）	14	15	16	17	18	20	22
	隣接ピッチ誤差	18	19	20	22	24	26	29
	累積ピッチ誤差（±）	57	59	63	67	72	79	88
	歯みぞの振れ	22	31	45	63	89	125	180
3	単一ピッチ誤差（±）	25	27	28	30	32	35	38
	隣接ピッチ誤差	33	34	36	39	41	45	49
	累積ピッチ誤差（±）	100	105	110	120	130	140	150
	歯みぞの振れ	33	48	67	95	135	190	270
4	単一ピッチ誤差（±）	45	47	50	52	55	59	65
	隣接ピッチ誤差	59	61	65	67	72	77	84
	累積ピッチ誤差（±）	180	185	200	210	220	240	260
	歯みぞの振れ	50	71	100	145	200	290	400
5	隣接ピッチ誤差	115	120	125	130	135	155	170
	歯みぞの振れ	75	105	150	210	300	430	600
6	隣接ピッチ誤差	220	240	250	260	280	290	310
	歯みぞの振れ	110	160	230	320	450	640	900
7	歯みぞの振れ	250	360	500	720	1000	1450	2000

表25　正面モジュール4を超え6以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）					
		25を超え 50以下	50を超え 100以下	100を超え 200以下	200を超え 400以下	400を超え 800以下	800を超え 1,600以下
0	単一ピッチ誤差（±）	5	6	6	7	7	8
	隣接ピッチ誤差	7	7	8	9	9	11
	累積ピッチ誤差（±）	21	22	24	26	29	32
	歯みぞの振れ	14	20	28	40	56	79
1	単一ピッチ誤差（±）	9	10	10	11	12	14
	隣接ピッチ誤差	12	12	13	14	16	18
	累積ピッチ誤差（±）	36	38	41	45	49	54
	歯みぞの振れ	21	30	43	60	86	120
2	単一ピッチ誤差（±）	16	17	18	19	21	23
	隣接ピッチ誤差	21	22	23	25	27	30
	累積ピッチ誤差（±）	64	67	72	77	84	92
	歯みぞの振れ	31	45	63	89	125	180
3	単一ピッチ誤差（±）	28	30	31	34	36	40
	隣接ピッチ誤差	37	39	41	44	47	52
	累積ピッチ誤差（±）	115	120	125	135	145	160
	歯みぞの振れ	48	67	95	135	190	270
4	単一ピッチ誤差（±）	50	52	54	58	62	68
	隣接ピッチ誤差	65	67	71	75	81	88
	累積ピッチ誤差（±）	200	210	220	230	250	270
	歯みぞの振れ	71	100	145	200	290	400
5	隣接ピッチ誤差	125	130	135	150	165	175
	歯みぞの振れ	105	150	210	300	430	600
6	隣接ピッチ誤差	250	260	270	290	300	330
	歯みぞの振れ	160	230	320	450	640	900
7	歯みぞの振れ	360	500	720	1000	1450	2000

表26　正面モジュール6を超え10以下の歯車の許容誤差

単位: μm

等級	誤差	ピッチ円直径（mm）					
		25を超え 50以下	50を超え 100以下	100を超え 200以下	200を超え 400以下	400を超え 800以下	800を超え 1,600以下
0	単一ピッチ誤差（±）	6	6	7	7	8	9
	隣接ピッチ誤差	8	8	9	9	10	11
	累積ピッチ誤差（±）	24	25	27	29	32	35
	歯みぞの振れ	14	20	28	40	56	79
1	単一ピッチ誤差（±）	10	11	11	12	13	15
	隣接ピッチ誤差	13	14	15	16	17	19
	累積ピッチ誤差（±）	41	43	46	49	54	59
	歯みぞの振れ	21	30	43	60	86	120
2	単一ピッチ誤差（±）	18	19	20	21	23	25
	隣接ピッチ誤差	23	24	26	27	30	32
	累積ピッチ誤差（±）	71	75	79	84	91	100
	歯みぞの振れ	31	45	63	89	125	180
3	単一ピッチ誤差（±）	31	33	34	37	39	43
	隣接ピッチ誤差	41	42	45	48	51	56
	累積ピッチ誤差（±）	125	130	140	145	155	170
	歯みぞの振れ	48	67	95	135	190	270
4	単一ピッチ誤差（±）	54	56	59	62	67	72
	隣接ピッチ誤差	71	73	77	81	87	100
	累積ピッチ誤差（±）	220	230	240	250	270	290
	歯みぞの振れ	71	100	145	220	290	400
5	隣接ピッチ誤差	135	140	155	165	175	185
	歯みぞの振れ	105	150	210	300	430	600
6	隣接ピッチ誤差	270	280	290	310	320	340
	歯みぞの振れ	160	230	320	450	640	900
7	歯みぞの振れ	360	500	720	1000	1450	2000

表27　素材歯先角の許容差

単位：分

等級	歯幅（mm）			
	1.6以下	1.6を超え6以下	6を超え25以下	25を超えるもの
1, 2	0 +60	0 +20	0 +10	0 +8
3, 4	0 +100	0 +30	0 +20	0 +15
5, 6	0 +120	0 +40	0 +25	0 +20
7, 8	0 +150	0 +60	0 +30	0 +25

素材外径及び外端歯先円から
基準背面までの距離の許容差…省略

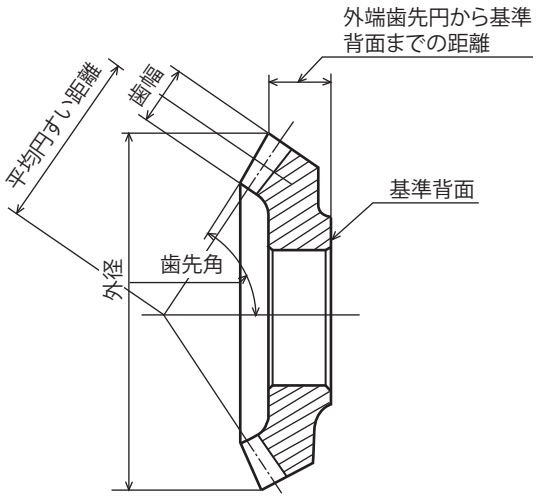


図19　かさ歯車の各部名称

1. 素材円すい面の振れ許容値

素材の歯先円すい面を歯切りまたは測定の基準面とする場合，素材円すい面の振れの許容値を表に示す。素材の背円すい面または前円すい面を基準面として使用するような場合にも，この表の値を準用することができる。

注（1） 素材円すい面の振れとは，外端部に近い面において円すい面に，垂直の方向にインジケータを当てて，素材を回転したときのインジケータの読みの最大と最小の差をいう。

表28　素材円すい面の振れの許容値

単位: μm

等級	ピッチ円直径（mm）								
	3以上 6以下	6を超え 12以下	12を超え 25以下	25を超え 50以下	50を超え 100以下	100を超え 200以下	200を超え 400以下	400を超え 800以下	800を超え 1,600以下
1, 2	14	15	17	18	20	22	25	30	34
3, 4	33	35	38	41	45	51	57	66	76
5, 6	73	77	83	91	100	110	125	145	170
7, 8	-	-	185	200	220	250	280	330	380

2. 素材側面の振れの許容値

穴のあるかさ歯車の素材または軸付かさ歯車の素材において，軸に垂直な平面を歯切りの取付基準面として使用する場合の，素材側面の振れの許容値を表に示す。

注（1） 素材側面の振れとは，取付基準側面の外周に近い面にインジケータを当てて，素材を回転したときのインジケータの読みの最大と最小の差をいう。

表29　素材側面の振れの許容値

単位: μm

等級	ピッチ円直径（mm）								
	3以上 6以下	6を超え 12以下	12を超え 25以下	25を超え 50以下	50を超え 100以下	100を超え 200以下	200を超え 400以下	400を超え 800以下	800を超え 1,600以下
1, 2	6	6	7	7	8	9	10	12	14
3, 4	16	17	19	20	22	25	28	33	38
5, 6	46	49	53	57	63	71	80	92	105
7, 8	-	-	150	165	180	200	230	260	310

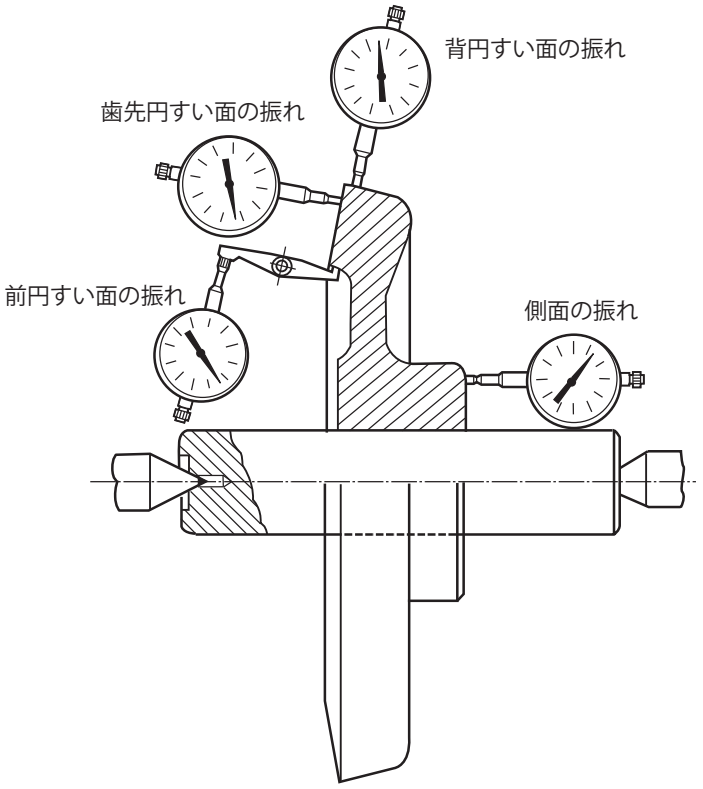


図20　穴のあるカサ歯車の振れ

第 6 章　歯車の組立

6.1 歯車組立のポイント

歯車を組立るときには，次のような点に注意しての作業をおすすめします。

(1) 歯車はていねいに取り扱い，キズや錆がつかないように心がける。
　たとえ小さなキズでも騒音の原因となる場合があります。

(2) 歯面周辺のエッジを取り除く。
　セミトッピングなどによって，歯先の面取りをしておくことが望ましいのですが，もし，セミトッピングされていなければ，歯先部分にキズやバリが無いかを確かめて，ある場合には除去してください。

(3) バックラッシの確認を行う。
　バックラッシは，大きくても小さくても騒音の原因となります。適正バックラッシが保たれているかを確認してください。もし，適正バックラッシでない場合は，中心距離の調整を行ってください。
　当社ギヤのバックラッシは，25ページをご覧ください。

(4) 歯当りの確認を行う。
　適正な歯当りが保たれていないと，振動・騒音の原因になるばかりだけでなく，歯車の寿命にも悪影響を及ぼします。歯当りについては，本章の4項をご覧ください。

(5) 適正潤滑油を適正油量用いる。
　適正潤滑油と適正油量は本章の5項及び6項をご覧ください。

(6) なじみ運転の実施。
　本運転を開始する前に，なじみ運転の実施をおすすめします。なじみ運転により歯面硬さが増し，歯面強度の向上が期待できます。
(小歯車は焼入れ，大歯車は焼入れなしの場合。)
　特に，ウォームギヤの場合，なじみ運転により歯当り面積が広くなり，歯面強度の向上が期待できます。
　ウォームギヤの歯形は他の歯車の歯形と比べて複雑な曲面であり，精度よく仕上ることは難しく歯面粗さの向上も加工したままでは限界があります。負荷運転に際していきなり全負荷またはそれに近い負荷をかけると，歯面の焼付(かじり）を起こしやすくなります。そのためなじみ運転を行う必要があります。
　なじみ運転の効果として歯面の細かい凹凸を少なくし，歯当り面積を増加させる。(単位面積当たりの負荷の減少）および接触（噛み合い）に伴う歯面の加工硬化によって耐摩耗性が向上することが考えられます。
　これらにより，歯車の寿命の延長や振動・騒音の低減が期待できます。
　なじみ運転の具体的方法として負荷運転を無負荷運転から歯当りを確認しながら徐々に負荷を増加させながら運転させます。また，潤滑油はなじみ運転後，全量交換し，その後は6 ヶ月または2500時間ごとに交換することをおすすめします。

　これらの他，歯車全体の動バランス，組立方法等にも留意することをおすすめします。

6.2 平歯車及びはすば歯車の中心距離

平歯車及びはすば歯車の中心距離は，できる限り正確に加工し，歯車を組み立てて下さい。表1に**日本歯車工業会JGMA1101-1（2000）**平歯車及びはすば歯車の中心距離の許容差の抜粋を示します。

中心距離の許容差

（1）平歯車及びはすば歯車の精度規格

JIS B 1702-1及び**JIS B 1702-2**のN3～N12級歯車（一般に，研削加工又は機械加工される範囲）に対して中心距離の許容差を示します。

（2）中心距離：平行平歯車対，又は食い違い軸をもつ歯車対の軸間の最短距離。

表1　歯車の中心距離の許容差

単位: μm

歯車の精度等級 中心距離（mm）		N3, N4	N5, N6	N7, N8	N9, N10	N11, N12
5以上	20以下	±6	±10	±16	±26	±65
20を超え	50以下	±8	±12	±20	±31	±80
50を超え	125以下	±12	±20	±32	±50	±125
125を超え	280以下	±16	±26	±40	±65	±160
280を超え	560以下	±22	±35	±55	±88	±220
560を超え	1,000以下	±28	±45	±70	±115	±280
1,000を超え	1,600以下	±39	±62	±98	±155	±390
1,600を超え	2,500以下	±55	±88	±140	±220	±550
2,500を超え	4,000以下	±84	±130	±205	±330	±825

＊上表では，各許容値が±符号となっていますが，外歯車対の中心距離ではマイナス側の許容値は推奨できません。プラス側の許容値を推奨します。反対に内歯車対の中心距離では，マイナス側の許容値を推奨します。

6.3 平歯車及びはすば歯車の軸の平行度

JGMA1102（2000）の抜粋を示します。

0. 序文　この規格は平歯車及びはすば歯車の軸の平行精度の許容値について規定する。
この規格は，基本的にはISO/TR10064-3（1996）の推奨値と一致している。

1. 適用範囲

この規格は，次のような諸元をもつ鉄鋼製インボリュート平歯車及びはすば歯車の軸の平行精度について規定する。以下この規格に適用される歯車を単に歯車という。

（1）歯直角モジュール　0.5～70
（2）基準円直径　5～10,000
（3）歯幅　4～1,000

備考 1.　やまば歯車の軸にもこの規格を適用する。
2.　この規格の引用規格を次に示す。

JIS B 0102（1999）	歯車用語－幾何学的定義
JIS B 1702-1（1998）	円筒歯車－精度等級－第1部 歯車の歯面に関する誤差の定義及び許容値
ISO/TR10064-3（1996）	Cylindrical gears-Code of inspection practice-part3

2. 用語の定義

この規格で用いる用語の定義は，JIS B 0102（1999）（歯車の歯面用語－幾何学的定義）によるほか，次による。

(1)**軸の平行精度**　軸の平行誤差と軸の食い違い誤差とによって構成される精度。

(2)**軸の平行誤差**　一方の歯車側の軸心 a 上の，測定区間 L の両端の点を A，B とし，一方の点 A と他方の軸の軸心 b とを含む平面 H と，点 A を通り b に平行で H に垂直な平面 V とを考え，点 B の H への正射影を C としたときの2点 O [(1)]，C 間の距離（図1参照）。

注（1）：点 O は，V，H 及び点Bを含み V と H に垂直な平面 S との交差である。

(3) **軸の食い違い誤差**　（2）において，点 B の V への正射影を D としたときの2点 O，D 間の距離（図1参照）

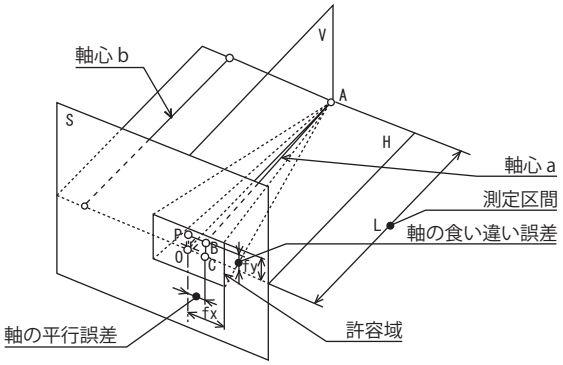


図1　軸の平行誤差と食い違い誤差

3. 許容値

歯車の軸の平行精度の誤差の許容値は、JIS B 1702-1（1998）における精度等級N0～N12に対応したものとし，次のとおりとする。

(1)　軸の平行誤差の許容値　fx

歯車軸の測定区間 L に対する fx の求めかたは次の式による。

$$fx = \frac{L}{b} fx'$$

ここに，L ：測定区間の長さ（mm）
b ：歯幅（mm）ただし，大小歯車の歯幅が異なる場合はその小さい方
fx'：表1に示す数値（μm）

(2) 軸の食い違い誤差の許容値　fy

歯車軸の測定区間 L に対する fy の求めかたは次の式による。

$$fy = \frac{L}{b} fy'$$

ここに，L ：測定区間の長さ（mm）
b ：歯幅（mm）ただし，大小歯車の歯幅が異なる場合はその小さい方
fy'：表2に示す数値（μm）

備考
使用目的によっては，軸の平行精度の誤差の許容値に，歯車の精度等級と異なる等級の値を採用することできる。

表2　歯幅当たりの軸の平行誤差の許容値　fx'

単位: μm

基準円直径 d (mm)	歯幅 b (mm)	歯車精度等級												
		N0	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
5≦d≦20	4≦b≦10	1.1	1.5	2.2	3.1	4.3	6.0	8.5	12	17	24	35	49	69
	10<b≦20	1.2	1.7	2.4	3.4	4.9	7.0	9.5	14	19	28	39	55	78
	20<b≦40	1.4	2.0	2.8	3.9	5.5	8.0	11	16	22	31	45	63	89
20<d≦50	4≦b≦10	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6.5	9.0	13	18	25	36	51	72
	10<b≦20	1.3	1.8	2.5	3.6	5.0	7.0	10	14	20	29	40	57	81
	20<b≦40	1.4	2.0	2.9	4.1	5.5	8.0	11	16	23	32	46	65	92
50<d≦125	4≦b≦10	1.2	1.7	2.4	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	27	38	53	76
	10<b≦20	1.3	1.9	2.6	3.7	5.5	7.5	11	15	21	30	42	60	84
	20<b≦40	1.5	2.1	3.0	4.2	6.0	8.5	12	17	24	34	48	68	95
	40<b≦80	1.7	2.5	3.5	4.9	7.0	10	14	20	28	39	56	79	111
125<d≦280	4≦b≦10	1.3	1.8	2.5	3.6	5.0	7.0	10	14	20	29	40	57	81
	10<b≦20	1.4	2.0	2.8	4.0	5.5	8.0	11	16	22	32	45	63	90
	20<b≦40	1.6	2.2	3.2	4.5	6.5	9.0	13	18	25	36	50	71	101
	40<b≦80	1.8	2.6	3.6	5.0	7.5	10	15	21	29	41	58	82	117
280<d≦560	10<b≦20	1.5	2.1	3.0	4.3	6.0	8.5	12	17	24	34	48	68	97
	20<b≦40	1.7	2.4	3.4	4.8	6.5	9.5	13	19	27	38	54	76	108
	40<b≦80	1.9	2.7	3.9	5.5	7.5	11	15	22	31	44	62	87	124
	80<b≦160	2.3	3.2	4.6	6.5	9.0	13	18	26	36	52	73	103	146

表3　歯幅当たりの軸の食違い誤差の許容値　fy'

単位: μm

基準円直径 d (mm)	歯幅 b (mm)	歯車精度等級												
		N0	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
5≦d≦20	4≦b≦10	0.5	0.8	1.1	1.5	2.2	3.1	4.3	6.0	8.5	12	17	24	35
	10<b≦20	0.6	0.9	1.2	1.7	2.4	3.4	4.9	7.0	9.5	14	19	28	39
	20<b≦40	0.7	1.0	1.4	2.0	2.8	3.9	5.5	8.0	11	16	22	31	45
20<d≦50	4≦b≦10	0.6	0.8	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6.5	9.0	13	18	25	36
	10<b≦20	0.6	0.9	1.3	1.8	2.5	3.6	5.0	7.0	10	14	20	29	40
	20<b≦40	0.7	1.0	1.4	2.0	2.9	4.1	5.5	8.0	11	16	23	32	46
50<d≦r125	4≦b≦10	0.6	0.8	1.2	1.7	2.4	3.3	4.7	6.5	9.5	13	19	27	38
	10<b≦20	0.7	0.9	1.3	1.9	2.6	3.7	5.5	7.5	11	15	21	30	42
	20<b≦40	0.7	1.1	1.5	2.1	3.0	4.2	6.0	8.5	12	17	24	34	48
	40<b≦80	0.9	1.2	1.7	2.5	3.5	4.9	7.0	10	14	20	28	39	56
125<d≦280	4≦b≦10	0.6	0.9	1.3	1.8	2.5	3.5	5.0	7.0	10	14	20	29	40
	10<b≦20	0.7	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.5	8.0	11	16	22	32	45
	20<b≦40	0.8	1.1	1.6	2.2	3.2	4.5	6.5	9.0	13	18	25	36	50
	40<b≦80	0.9	1.3	1.8	2.6	3.6	5.0	7.5	10	15	21	29	41	58
280<d≦560	10<b≦20	0.8	1.1	1.5	2.1	3.0	4.3	6.0	8.5	12	17	24	34	48
	20<b≦40	0.8	1.2	1.7	2.4	3.4	4.8	6.5	9.5	13	19	27	38	54
	40<b≦80	1.0	1.4	1.9	2.7	3.9	5.5	7.5	11	15	22	31	44	62

6.4 歯車の歯当たり

歯車単体の精度がどんなに良くても，歯車の歯当りが正しくないと，振動・騒音の原因になるばかりだけでなく，歯車の寿命にも悪影響を及ぼします。**旧JIS B 1741-1977歯車の歯当たり**の抜粋を示します。

旧JIS B 1741「歯車の歯当り」による歯当りの割合は次の通り規定されています。

歯すじ方向については，有効歯すじ長さ b' に対する歯当りの長さの平均値 b_c の割合（%）をいい，歯たけ方向については，かみ合い歯たけ h' に対する歯当りの幅の平均値 l_c の割合（%）をいう。

注* 歯の端部に面取りがある場合には，面取り部の寸法を差し引いた長さとする。なお，大小両歯車の有効歯すじの長さが異なる場合には小さい方をとる。

歯すじ方向の歯当たりの割合 $= \frac{b_c}{b'} \times 100(\%)$

歯たけ方向の歯当たりの割合 $= \frac{l_c}{h'} \times 100(\%)$

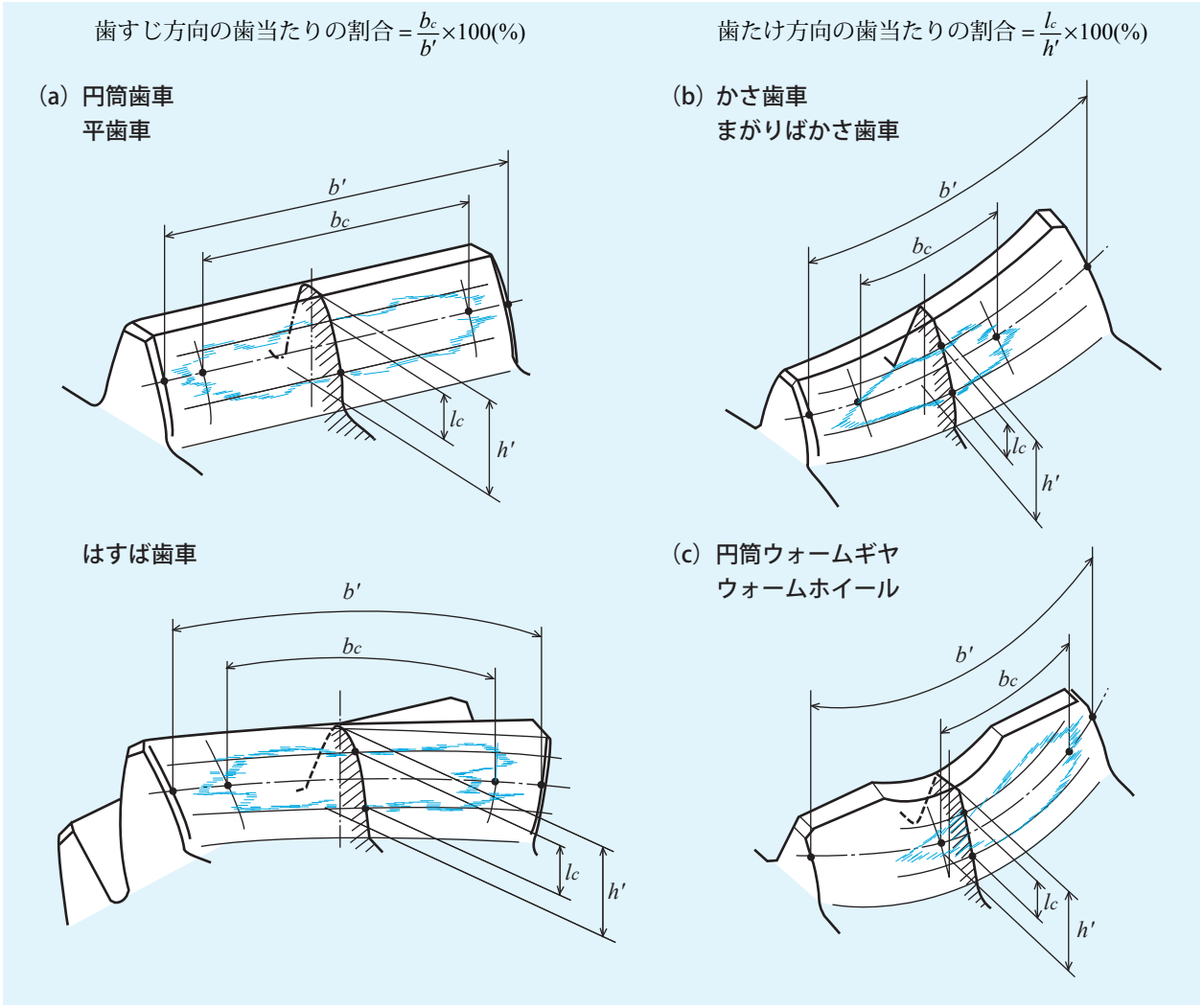


図2　歯車の歯当り

クラウニングを施したかさ歯車で，無負荷のときの，歯すじ方向の歯当りの中心は，外端から歯すじの長さの60%付近にあることが望ましい（図3参照）。

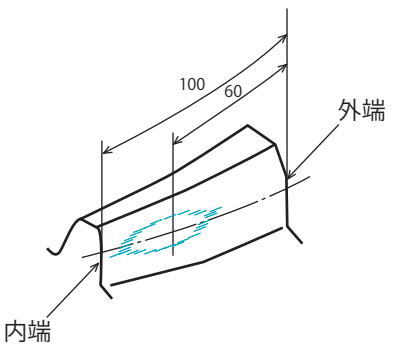


図3　クラウニングを施したかさ歯車の歯当り

円筒ウォームギヤの歯当りの割合は，ウォームとかみあうウォームホイールの歯面に対するものである。一般に，ウォームホイールの歯面の入口側に歯当りが偏ることは好ましくなく，歯すじ方向の歯当りの中心が多少出口側に寄り，入口すきまを確保できる状態が望ましい（図4参照）

図4　ウォームホイールの歯当り

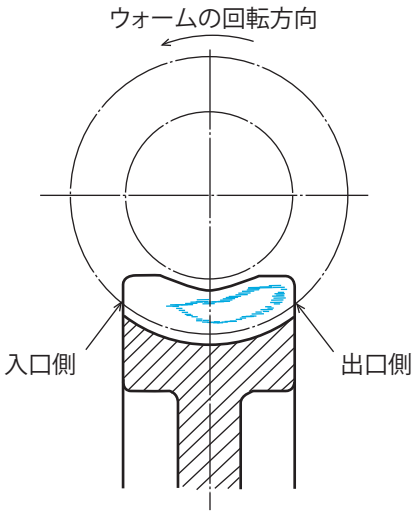


図5ウォームギヤの入口隙間
{和栗，上野，ウォームギヤの潤滑に関する二三の問題，機械の研究，8巻，4号（1956）}

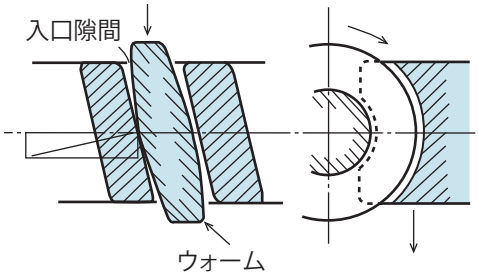


図6　ウォームギヤ（2条）の接触線とウォームの当り（膨みがないとき）。引用文献は図5と同じものです。

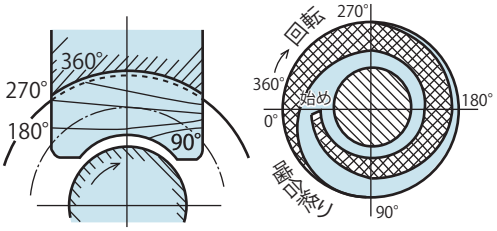
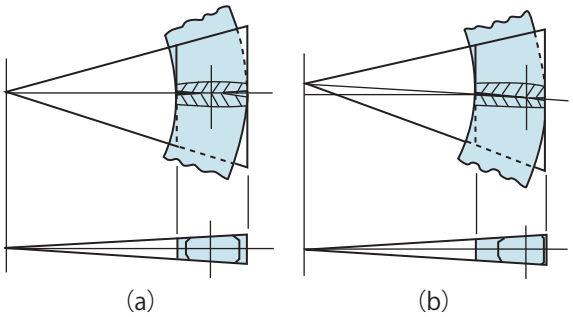
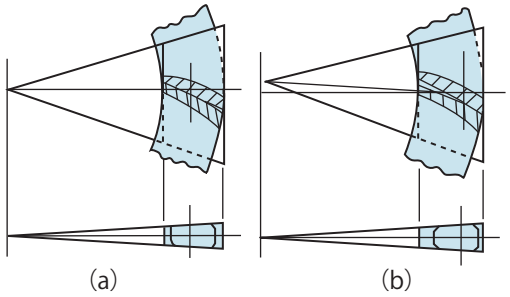


図7　クラウニングつきかさ歯車のかみ合い
{グリーソン社，INSTALLATION OF BEVEL GEARS (1965)}

コニフレックスベベルギヤ
(クラウニングつきすぐばかさ歯車)

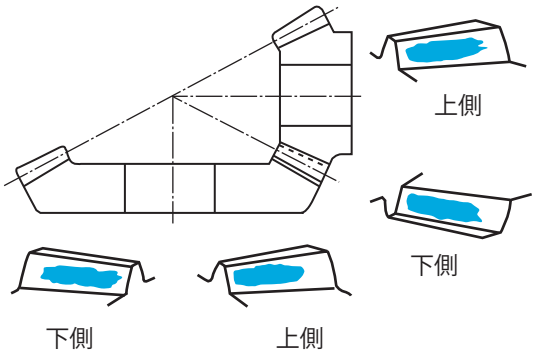


まがりばかさ歯車



図はともに（a）が正常な位置での組み立てで，（b）は小歯車の円すい頂点の位置がずれて組み立てられたものです。歯当り位置の変化に注意して見てください。

図8　かさ歯車のよい歯当り



まがりばかさ歯車
(小歯車のまがり方向は左です)

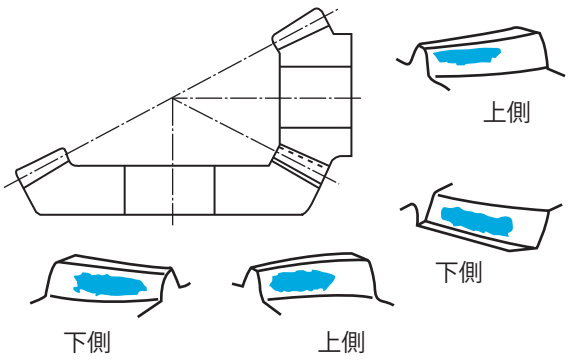


表4　円筒歯車の歯当りの割合

区分	歯当りの割合	
	歯すじ方向	歯たけ方向
A	有効歯すじの長さの70%以上	有効歯形の長さの40%以上
B	有効歯すじの長さの50%以上	有効歯形の長さの30%以上
C	有効歯すじの長さの35%以上	有効歯形の長さの20%以上

表5　円筒ウォームギヤの歯当りの割合

区分	歯当りの割合	
	歯すじ方向	歯たけ方向
A	有効歯すじの長さの50%以上	有効歯形の長さの40%以上
B	有効歯すじの長さの35%以上	有効歯形の長さの30%以上
C	有効歯すじの長さの20%以上	有効歯形の長さの20%以上

表6　かさ歯車の歯当りの割合

区分	歯当りの割合	
	歯すじ方向	歯たけ方向
A	有効歯すじの長さの50%以上	有効歯形の長さの40%以上
B	有効歯すじの長さの35%以上	有効歯形の長さの30%以上
C	有効歯すじの長さの20%以上	有効歯形の長さの20%以上

表7　歯当り区分と精度等級との対応

歯当りの区分	円筒歯車の精度等級	かさ歯車の精度等級
	旧JIS B 1702-1960	JIS B 1704-1973
A	1, 2	1, 2
B	3, 4	3, 4
C	5, 6	5, 6

6.5 歯車の潤滑

歯車の寿命をのばすために歯車の潤滑の目的は，

1）歯面の金属接触を避ける

2）歯面の摩擦によって発生する熱を取り去る

等が挙げられます。また，振動・騒音を少なくする効果も期待できます。

歯面への潤滑不足が生じると，先ず振動・騒音が高くなり，やがて温度上昇に伴った焼付き（カジリ）などによって，軸受の損傷へとつながります。この様な事故を起こさないためには，適正な潤滑油を適正な方法で適正な量を歯車に潤滑することが必要です。

歯車の潤滑方法

歯車の潤滑方法は，

1）グリース潤滑法

2）はねかけ潤滑法（油浴またはスプラッシュ潤滑法）

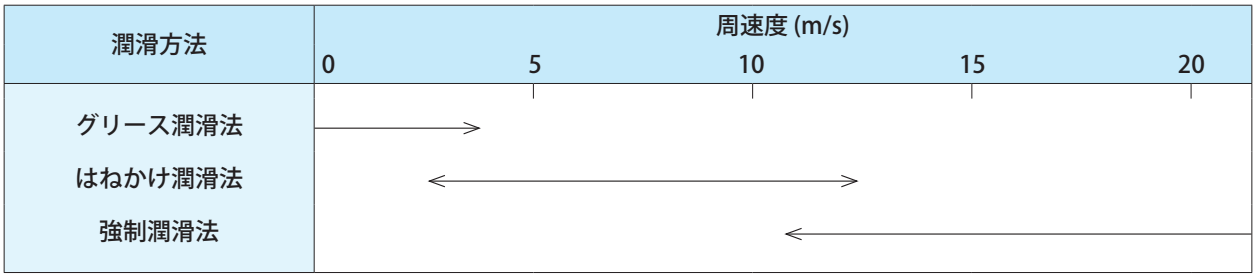
3）強制潤滑法

に分類されます。

これらは，歯車の種類，周速，面圧（歯面に加わる負荷），歯面の仕上げ状態，材料の硬さ，材料の組み合わせにより選定する必要がありますが，一般には歯車の周速を目安にして選定されています。

表8に歯車の周速による潤滑方法の選定の目安を示します。

（1）平，はすば歯車及びかさ歯車



（2）ウォームおよびハイポイドギヤ

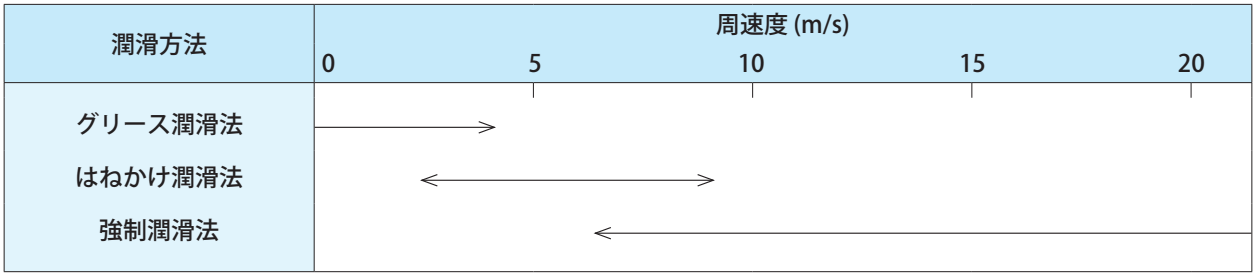
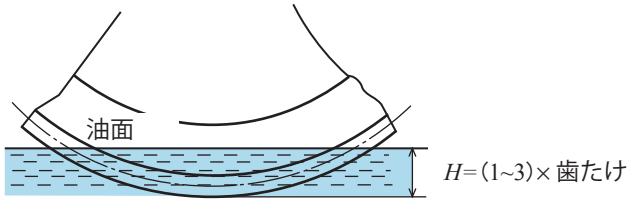


表8　歯車の周速による潤滑方法の選定の目安

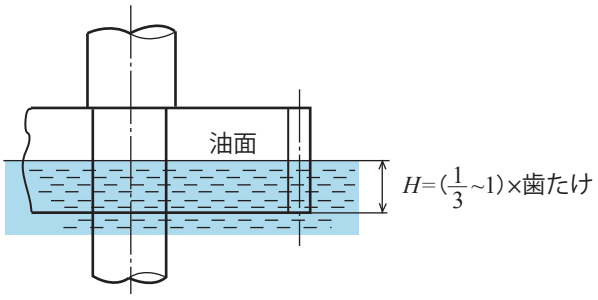
適正油量

(1) はねかけ潤滑法（油浴またはスプラッシュ潤滑法）

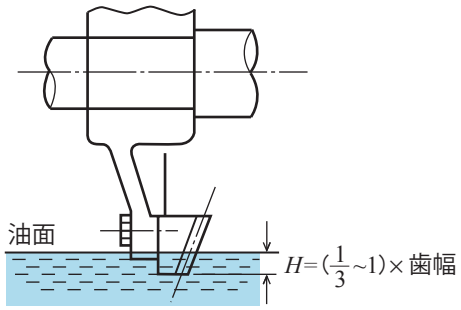
歯車が油面に浸る量は歯車の種類により異なります。浸る量が大きいと，かくはん抵抗や風損（チャーニング損失）が増加します。図9に歯車が油中に浸る量の目安を示します。



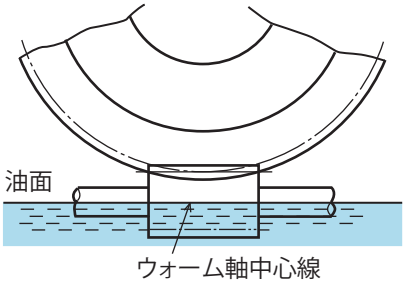
(a) 平歯車およびはすば歯車（水平軸）



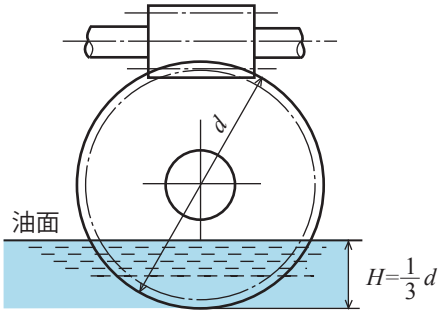
(b) 平歯車およびはすば歯車（垂直軸）



(c) かさ歯車およびハイポイドギヤ



(d1) ウォームギヤ（下ウォーム）



(d2) ウォームギヤ（上ウォーム）

図9　歯車が油中に浸る量

(2) 強制潤滑法

一般に，歯車のかみ合い部に対して，そこを通る油の温度上昇が８℃を超えない程度とされていますが，歯幅1cmに対して，低速では0.5l/min，高速では1l/minを目安にします。高速では，次の経験式を目安に用いることがあります。

$$油量\ (l/\mathrm{min}) = 0.6 + 2\times10^{-3} \cdot mv$$

ここに，

m　：モジュール (mm)

v　：ピッチ円周速 (m/s)

歯面に直角な方向で吹き付け，かみ合い部より少し手前が良いとされています。高速では，かみ合い終わりの方向から吹き付けることもあります。

温度上昇を防ぐために，回収された潤滑油は冷却することが必要です。

6.6 潤滑油

潤滑油に要求されることは，

1）粘度　2）耐摩耗性　3）冷却性　4）安定性などがあります。歯車の種類や使用条件によって適正な潤滑油を選定することが重要です。

（1）歯車用潤滑油の粘度

歯車用潤滑油の粘度とギヤー油（JIS K 2219）の工業油を表9に示します。

表9　工業用ギヤー油と粘度

種類			動粘度 cSt｛mm²/s｝（40°C）	用途
工業用	1種	ISO VG 32	28.8 以上　35.2 以下	主として一般機械の比較的軽荷重の密閉ギヤに用いる
		ISO VG 46	41.4 以上　50.6 以下	
		ISO VG 68	61.2 以上　74.8 以下	
		ISO VG100	90.0 以上　110　以下	
		ISO VG150	135　以上　165　以下	
		ISO VG220	198　以上　242　以下	
		ISO VG320	288　以上　352　以下	
		ISO VG460	414　以上　506　以下	
	2種	ISO VG 68	61.2 以上　74.8 以下	主として一般機械・圧延機械などの中・重荷重用の密閉ギヤに用いる
		ISO VG100	90.0 以上　110　以下	
		ISO VG150	135　以上　165　以下	
		ISO VG220	198　以上　242　以下	
		ISO VG320	288　以上　352　以下	
		ISO VG460	414　以上　506　以下	
		ISO VG680	612　以上　748　以下	

（2）AGMA（アメリカ歯車工業会）歯車潤滑油の粘度

AGMA（アメリカ歯車工業会）歯車潤滑油の粘度を表10に示します。

表10　AGMA歯車潤滑油No.と粘度

AGMA 潤滑油No. R&O(1)	動粘度 cSt｛mm²/s｝（40°C）	ISO 粘度グレード	AGMA 潤滑油No. EP(2)
1	41.4 以上　50.6 以下	46	
2	61.2 以上　74.8 以下	68	2 EP
3	90　以上　110　以下	100	3 EP
4	135　以上　165　以下	150	4 EP
5	198　以上　242　以下	220	5 EP
6	288　以上　352　以下	320	6 EP
7 Comp(3)	414　以上　506　以下	460	7 EP
8 Comp	612　以上　748　以下	680	8 EP
8A Comp	900　以上　1,100　以下	1000	8A EP

注　（1）R＆OはRust and Oxidation Inhibited Gear Oilsの略です。
（2）EPはExtreme Pressure Gear Lubricantsの略です。
（3）Compは3％～10％の油脂か合成油脂を混合したものです。

(3) 潤滑油の選定 {AGMA 250.04 (1981-9)}

歯車の潤滑油を選定する場合の一般的な手引きとして，AGMA 250.04（1981-9）密閉式歯車潤滑が推奨している潤滑油の選定を示します。表11に円筒歯車及びかさ歯車を示し，表12にウォームギヤを示します。

表11　AGMAが推奨している密閉式歯車用潤滑油（円筒歯車及びかさ歯車）

歯車装置の形式	歯車装置の大きさ		使用する周囲の温度 °C	
			-10 ～ 10	10 ～ 50
平行軸一段減速	中心距離<低速側>	200mm未満	2-3	3-4
		200 mm～500 mm	2-3	4-5
		500mm以上	2-3	4-5
平行軸二段減速		200mm未満	2-3	3-4
		200mm以上	3-4	4-5
平行軸三段減速		200mm未満	2-3	3-4
		200 mm～ 500 mm	3-4	4-5
		500mm以上	4-5	5-6
遊星歯車装置	歯車箱外径			
	400 mm未満		2-3	3-4
	400 mm以上		3-4	4-5
すぐば及び まがりばかさ歯車装置	円すい距離			
	300 mm未満		2-3	4-5
	300 mm以上		3-4	5-6
ギヤモータ			2-3	4-5
高速歯車装置			1	2

表12　AGMAが推奨している密閉式歯車用潤滑油（ウォームギヤ）

ウォームの形式と 中心距離 mm	ウォーム回転速度以下 min^{-1}	周囲の温度 °C		ウォーム回転速度を超え min^{-1}	周囲の温度 °C	
		-10 ～ 10	10 ～ 50		-10 ～ 10	10 ～ 50
円筒ウォーム						
150 mm　未満	700	7 Comp, 7EP	8 Comp, 8EP	700	7 Comp, 7EP	8 Comp, 8EP
150mm ～ 300mm	450	〃	〃	450	〃	7 Comp, 7EP
300mm ～ 450mm	300	〃	〃	300	〃	〃
450mm ～ 600mm	250	〃	〃	250	〃	〃
600 mm　以上	200	〃	〃	200	〃	〃
鼓形ウォーム						
150 mm　未満	700	8 Comp	8A Comp	700	8 Comp	8 Comp
150mm ～ 300mm	450	〃	〃	450	〃	〃
300mm ～ 450mm	300	〃	〃	300	〃	〃
450mm ～ 600mm	250	〃	〃	250	〃	〃
600 mm　以上	200	〃	〃	200	〃	〃

工業用ギヤー油（極圧型）

ISO 粘度グレード ISO VG cst（40℃）	コスモ	新日石	出光	ジャパンエナジー（JOMO）	昭シェル	エッソ	モービル
68以下	コスモギヤ SE68	ボンノックAX68 ボンノックM68	ダフニー スーパーギヤーオイル68 ダフニー スーパーギヤーオイルLW 68 ダフニーアルファギヤ 68	レダクタス 68 ES ギヤー G68	オマラオイル 68 G-C オイル 68SE	スパルタン EP68	モービルギヤ 626
100	コスモギヤ SE100 コスモギヤ MO68	ボンノックAX100 ボンノックM100	ダフニー スーパーギヤーオイル100 ダフニー スーパーギヤーオイルLW 100 ダフニーアルファギヤ100	レダクタス 100 ES ギヤー G100	オマラオイル 100 G-C オイル 100SE	スパルタン EP100	モービルギヤ 627
150	コスモギヤ SE150 コスモギヤ MO150	ボンノックAX150 ボンノックM150	ダフニー スーパーギヤーオイル150 ダフニー スーパーギヤーオイルLW 150 ダフニーアルファギヤ150	レダクタス 150 ES ギヤー G150	オマラオイル 150 G-C オイル 150SE	スパルタン EP150	モービルギヤ 629 モービル グライゴイル 22
220	コスモギヤ SE220 コスモギヤ MO220	ボンノックAX220 ボンノックM220	ダフニー スーパーギヤーオイル220 ダフニー スーパーギヤーオイル LW 220 ダフニーアルファギヤ220	レダクタス 220 ES ギヤー G220	オマラオイル 220 G-C オイル 220SE	スパルタン EP220	モービルギヤ 630 SHC220 モービル グライゴイル 30
320	コスモギヤ SE320 コスモギヤ MO320	ボンノックAX320 ボンノックM320	ダフニー スーパーギヤーオイル 320 ダフニー スーパーギヤオイ ダフニーアルファギヤ220	レダクタス 320 ES ギヤー G320	オマラオイル 320 G-C オイル 320SE	スパルタン EP320	モービルギヤ SHC320
460	コスモギヤ SE460	ボンノックAX460 ボンノックM460	ダフニー スーパーギヤーオイル 460	レダクタス 460 ES ギヤー G460	オマラオイル 460 G-C オイル 460SE	スパルタン EP460	モービルギヤ SHC460 モービル グライゴイル 80
680	コスモギヤ SE680	ボンノックAX680 ボンノックM680	ダフニー スーパーギヤーオイル680	レダクタス 680 ES ギヤー G680	オマラオイル 680	スパルタン EP680	モービルギヤ 636 SHC680
1000以上	コスモギヤ SE4600	ボンノックM1800 ボンノックM3800	ダフニー スーパーギヤーオイル 1500 ダフニー スーパーギヤーオイル 4600				

工業用ギヤー油（ウォームギヤ用）

ISO 粘度グレード ISO VG cst（40℃）	コスモ	新日石	出光	ジャパンエナジー（JOMO）	昭シェル	エッソ	モービル
220	コスモギヤ W220	ボンノック EX220 ボンノック M220	スーパーギヤーオイル 220	レダクタス 220	チベラオイル SB220EP ビトリヤオイル220	スパルタン EP220	モービルギヤ 630
320	コスモギヤ W320	ボンノックEX320 ボンノック M320	スーパーギヤーオイル 320	レダクタス 320	ビトリヤオイル320	スパルタン EP320	モービルギヤ 632
460	コスモギヤ W460	ボンノック EX460 ボンノック M460	ダフニー ウォームギヤーオイル460 スーパーギヤーオイル 460	レダクタス 460	チベラオイル SD460EP バルバタオイル460	スパルタン EP460 シレッソ TK460	モービルギヤ 600W モービルギヤ 634 スーパーシリンダーオイル

第 7 章　歯車の振動・騒音

7.1　騒音，振動の原因と対策

歯車を含んだ機械が回り始めると，必ず歯車のかみ合い音が聞こえます。歯車のかみ合う音は，500～5000Hzの人間の耳に感じやすい周波数で，たとえその音が小さくても，発生音の周波数成分や歯車が使われる環境によって不快に感じられることがあります。音のトラブルが発生すると，歯車は必ずその責めを負うことになります。しかし，音の原因は単に歯車だけではなく，装置全体の設計から潤滑油に至るまで多岐にわたっています。図 1 に，歯車騒音の原因と対策を示します。

この図より歯車騒音を低くするためには，次のことが考えられます。

1）歯車の精度，組立の精度を高める。→（元凶対策）

2）歯車，軸，歯車箱は音の出にくい材質，形状とする。→（音源対策）

（共振を避け，減衰を早くする。）

3）密閉して音を外に出さない。→（遮断と遮へい）

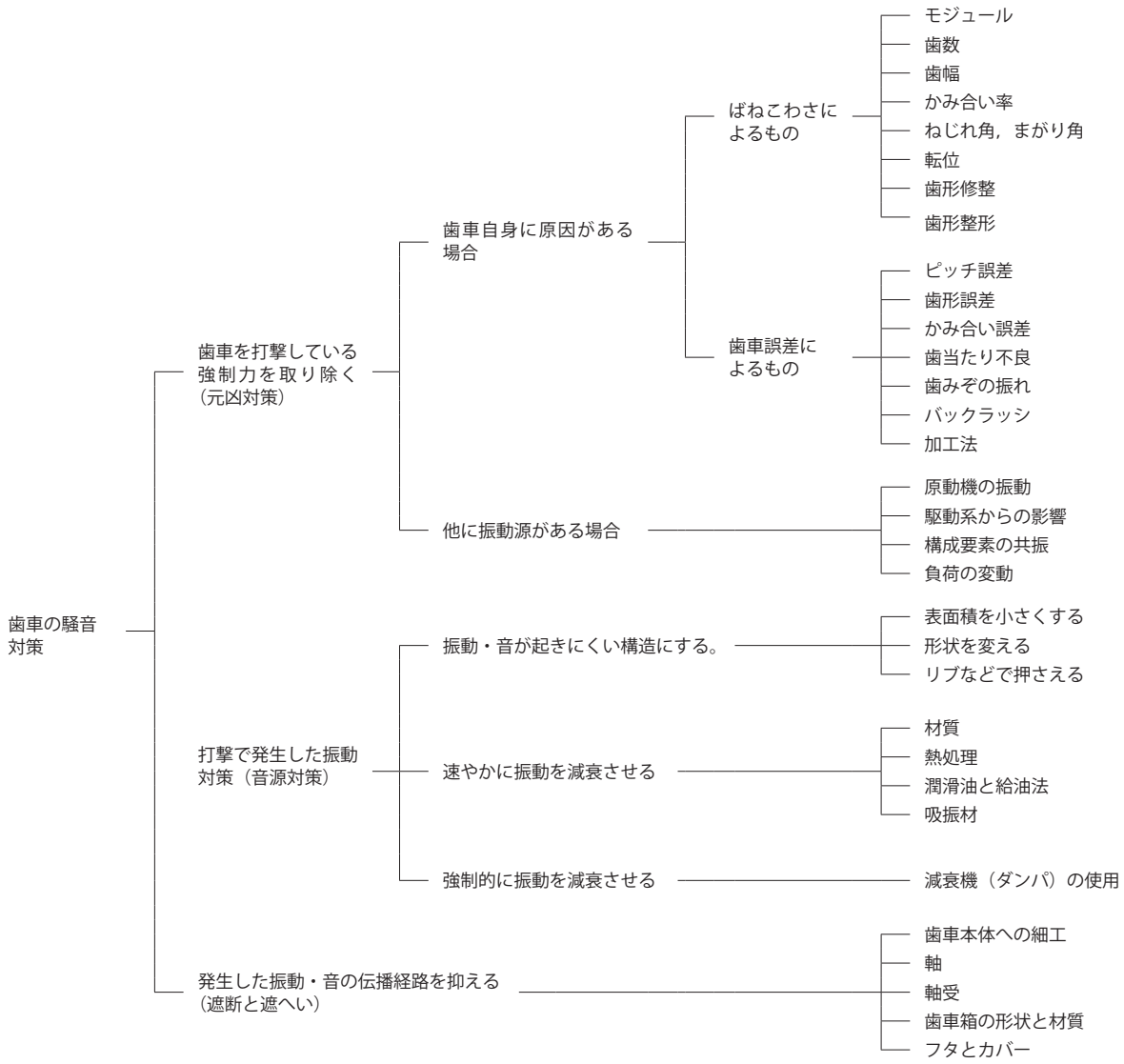


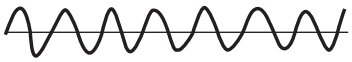
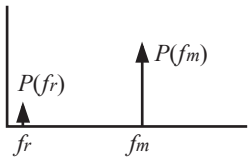
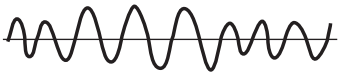
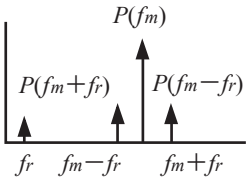
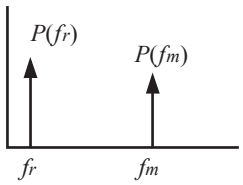
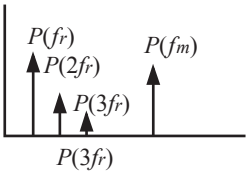
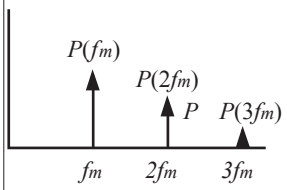
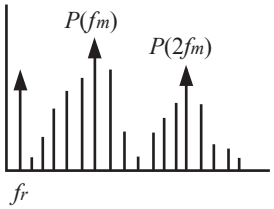
図 1　歯車騒音の原因と対策

7.2 周波数成分による音の原因解析（低周波数帯域）

騒音，振動の原因が歯車にある場合，周波数成分を分析すると，低い周波数帯域で図２のような周波数成分が現れます。これにより，音の原因となる誤差を見つけだすことができます。

歯車の局所異常がある場合，高周波帯域での分析が正確とされていますが，ここでは説明を省略します。

図２　歯車から発生する振動（低周波）

歯車の状態	時間領域	周波数領域
正常		
歯車軸 ミスアライメント		
偏心		
局所異常		
摩耗		
ピッチ誤差	 Amp.Mod.＋Freg-Mod	

f_m　：かみあい周波数

f_r　：回転周波数

$f_m = z \times \frac{n}{60}$

$f_r = \frac{n}{60}$

z　：歯数

n　：回転数

第８章　歯車の損傷

歯車の損傷と，その原因と対策を表1に示します。

表１　歯車の損傷とその対策

日本機械学会　技術資料歯車強さ設計資料，他より

損傷	具体的な損傷	損傷の歯面状況	原因	対策
1 折損	a. 過負荷折損	折損面が鋳鉄の外観に似て一様な結晶面。	過大荷重。歯当り不良。 使用上ミス。	過大荷重の発生原因調査。 使用条件把握。
	b. 疲労折損	過負荷折損に比べ折損面がなめらか。変色等あり。	実負荷見積りミス。歯元形状不適。	歯厚に関する諸元改善。 材質，熱処理変更。
	c. せん断折損	折損面付近に大きな塑性変形が伴っている。	過大荷重。材料欠陥または不適。	なじみ運転の実施。 材質，熱処理変更。
	d. 衝撃折損	折損面が鋳鉄の外観に似て一様な結晶面。	衝撃荷重による軸系の振動など。	軸，軸受等を改善し衝撃荷重の緩和。
2 摩耗	a. アブレシブ摩耗	歯面のすべり方向に細かいすり傷，かき傷。	歯車，軸受等の摩耗した金属粉。	潤滑油の浄化。 材料，熱処理の変更。
	b. スクラッチング	すべり方向に粗い引かき傷で a より深く大きい。	a よりも大きな金属粉や異物等。	一般に a と同対策。
	c. 腐食摩耗	あばた状の歯面の荒れ。	潤滑油不適。歯面の酸化。 水の混入。	潤滑油の種類変更。 防水，防湿対策。
	d. フレッチング	さび，酸化等の化学変化を伴う表面損傷。	接触面の微小振幅での相対往復運動。	振動の低減化。 熱処理等の表面硬化。
	e. バーニング （焼け）	過度摩耗による高温のための変色と硬度低下。	潤滑不良。荷重，速度過大。 温度上昇。	潤滑油の種類変更と潤滑方法の改善。
	f. 正常摩耗	予想寿命期間内は満足に作動できる程の摩耗。	当然予期されるもので避けられない。	
	g. 摩滅	過度の摩耗による歯のすり減り。正常運転不能。	潤滑不良。荷重，速度過大。 温度上昇。	一般に e と同対策。 なじみ運転の実施。
3 塑性変形	a. リップリング	歯面同時接触線上に波状又はうろこ状の模様。	大きな滑り荷重。材質，潤滑油の劣化。	歯車諸元，使用条件の変更。 極圧添加剤油。
	b. ローリング	歯面が磨かれたようになり，歯先にまくれが出る。	重荷重による。材料の強さ，硬さ不足。	駆動系に緩衝装置。 材質，熱処理の向上。
	c. ピーニング	一般にローリングと同解釈。	一般にローリングと同解釈。	同上。十分ななじみ運転。 組立精度向上。
	d. 塑性流れ	同上。特に軟らかい材料に現れる。	同上。特に材料の強さ，硬さ不足。	材質の強度向上。 十分ななじみ運転。
	e. 歯の倒れ	全部の歯が倒れてしまう。	同上。歯元応力が弾性限度を超える。	同上。負荷条件の再検討。 歯車緒元再検討。
4 歯面の疲労	a. ピッチング	ピッチラインのすぐ下側に小さい穴が点在する。	繰返し応力による金属表面疲労。	歯車諸元の変更。 材質，熱処理の向上。
	b. スポーリング	大きい金属片として歯面から脱落やはく離する。	繰返し応力による表面下金属疲労。	同上。十分ななじみ運転。 極圧添加剤油。
	c. ケースクラッシュ	歯面がかなりの範囲に渡ってはく離する。	同上。特に心部の過大残留応力。	同上。歯面，心部硬さの向上。 放熱を考慮。
5 熱的損傷	a. スコーリング	歯面の滑り方向に無数のかき傷。融着の痕跡。	過大負荷。油膜切れによる金属接触。	潤滑油の変更。なじみ運転の重視。
	b. 焼付き	激しい凝着や融着。スコーリングの最終形態。	同上。潤滑不良。温度上昇。 精度不良。	同上。材質，熱処理の再検討。 精度向上。
6 その他	a. 干渉による損傷	歯先歯元部分に著しい傷や，はく離，脱落。	設計不良。バックラッシ不足。	バックラッシ増加。 歯車の精度向上。
	b. 異物のかみこみ損傷	数枚の歯の欠落等，形態は多様。	装置部品や外部からの異物かみこみ。	組立時の注意、歯車箱清掃。 防塵の考慮。
	c. 錆び，腐食	歯面の錆び等。	潤滑油の化学変化。 水，不純物侵入。	腐食防止剤の添加。 水，酸等の侵入の防止。

第９章　各種歯車の計算

9.1 標準平歯車の計算

1.仕上方法		4.モジュール	$m=$	7.歯末のたけ	$h_a=m=$
2.小歯車の歯数	$z_1=$	5.基準圧力角	$\alpha=$	8.歯元のたけ	$h_f=m+c=$
3.大歯車の歯数	$z_2=$	6.頂げき	$c=$	9.歯たけ	$h=h_a+h_f=$

項目	小歯車1	大歯車2
10. 中心距離	$a=\frac{m(z_1+z_2)}{2}=\frac{d_1+d_2}{2}$	
11. 基準円直径	$d_1=z_1m$	$d_2=z_2m$
12. 歯先円直径	$d_{a1}=d_1+2h_a=m(z_1+2)$	$d_{a2}=d_2+2h_a=m(z_2+2)$
13. またぎ歯数	$z_{m1}=\frac{\alpha z_1}{180}+0.5$	$z_{m2}=\frac{\alpha z_2}{180}+0.5$
14. またぎ歯厚	$W_1=m\cos\alpha\{\pi(z_{m1}-0.5)+z_1\mathrm{inv}\alpha\}$	$W_2=m\cos\alpha\{\pi(z_{m2}-0.5)+z_2\mathrm{inv}\alpha\}$
15. 基礎円直径	$d_{b1}=d_1\cos\alpha$	$d_{b2}=d_2\cos\alpha$
16. 円ピッチ	$p=\frac{\pi d_1}{z_1}=\pi m$	$p=\frac{\pi d_2}{z_2}=\pi m$
17. 円弧歯厚	$s=\frac{p}{2}=\frac{\pi m}{2}$	
18. 法線ピッチ	$p_b=\frac{\pi d_{b1}}{z_1}=\frac{\pi d_1\cos\alpha}{z_1}=\frac{\pi d_2\cos\alpha}{z_2}=\pi m\cos\alpha$	
19. 有効歯たけ	$h_1=h_{a1}+h_{a2}$	
20. 正面かみ合い率	$\varepsilon_a=\frac{\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{2}\right)^2-\left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2}+\sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{2}\right)^2-\left(\frac{d_{b2}}{2}\right)^2}-\frac{m(z_1+z_2)}{2}\sin\alpha}{\pi m\cos\alpha}$	

9.2　標準内歯車の計算

1.仕上方法		4.モジュール	$m=$	7.歯末のたけ	$h_a=m=$
2.小歯車の歯数	$z_1=$	5.基準圧力角	$\alpha=$	8.歯元のたけ	$h_f=m+c=$
3.大歯車の歯数	$z_2=$	6.頂げき	$c=$	9.歯たけ	$h=h_a+h_f=$

項目	小歯車1	内歯車2
10. 中心距離	$a=\frac{m(z_2-z_1)}{2}=\frac{d_2-d_1}{2}$	
11. 基準円直径	$d_1=z_1m$	$d_2=z_2m$
12. 歯先円直径	$d_{a1}=d_1-2h_a=m(z_1+2)$	$d_a=d_2+2h_a=m(z_2-2)$
13. 歯底円直径	$d_{f1}=d_1-2h_f$	$d_{f2}=d_2+2h_f$
14. またぎ歯数	$z_{m1}=\frac{\alpha z_1}{180}+0.5$	$z_{m2}=\frac{\alpha z_2}{180}+0.5$
15. またぎ歯厚	$W_1=m\cos\alpha\{\pi(z_{m1}-0.5)+z_1\mathrm{inv}\alpha\}$	$W_2=m\cos\alpha\{\pi(z_{m2}-0.5)+z_2\mathrm{inv}\alpha\}$
16. 正面かみ合い率	$\varepsilon_a=\frac{\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{2}\right)^2-\left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2}-\sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{2}\right)^2-\left(\frac{d_{b2}}{2}\right)^2}+\frac{m(z_2-z_1)}{2}\sin\alpha}{\pi m\cos\alpha}$	

「4.2　オーバピン寸法、内歯車のオーバピン寸法」を参照

9.3 歯直角方式標準はすば歯車の計算

1. 仕上方法
2. 小歯車の歯数 $z_1 =$
3. 大歯車の歯数 $z_2 =$
4. 歯直角モジュール $m_n =$
5. 歯直角圧力角 $\alpha_n =$
6. 基準円筒ねじれ角 $\beta =$
7. 頂げき $c =$
8. 歯末のたけ $h_a = m =$
9. 歯元のたけ $h_f = m + c =$
10. 歯たけ $h = h_a + h_f =$

項目	小歯車 1	大歯車 2
11. 中心距離	$a = \frac{m_n(z_1+z_2)}{2\cos\beta} = \frac{d_1+d_2}{2}$	
12. リード	$p_{z1} = \frac{\pi z_1 m_n}{\sin\beta}$	$p_{z2} = \frac{\pi z_2 m_n}{\sin\beta}$
13. 基準円直径	$d_1 = \frac{z_1 m_n}{\cos\beta}$	$d_2 = \frac{z_2 m_n}{\cos\beta}$
14. 歯先円直径	$d_{a1} = d_1 + 2h_a = d_1 + 2m_n$	$d_{a2} = d_2 + 2h_a = d_2 + 2m_n$
15. またぎ歯数	$z_{m1} = \frac{\alpha_n z_{v1}}{180} + 0.5$ （項目19参照）	$z_{m2} = \frac{\alpha_n z_{v2}}{180} + 0.5$
16. またぎ歯厚	$W_1 = m_n\cos\alpha_n\{\pi(z_{m1} - 0.5) + z_1\mathrm{inv}\,\alpha_t\}$	$W_2 = m_n\cos\alpha_n\{\pi(z_{m2} - 0.5) + z_2\mathrm{inv}\,\alpha_t\}$
17. 正面モジュール	$m_t = \frac{d_1}{z_1} = \frac{m_n}{\cos\beta}$	注: 小歯車のかわりに大歯車の記号を使ってもよい。このときの数字の添字 1 を 2 に変える。
18. 歯直角モジュール	$m_n = m_t\cos\beta = \frac{d_1\cos\beta}{z_1}$	注: 小歯車のかわりに大歯車の記号を使ってもよい。このときの数字の添字 1 を 2 に変える。
19. 相当平歯車歯数	$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos^3\beta}$	$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos^3\beta}$
20. 正面ピッチ	$p_t = \frac{p_n}{\cos\beta}$	
21. 歯直角ピッチ	$p_n = p_t\cos\beta = \pi m_n$	
22. 正面法線ピッチ	$p_{bt} = \frac{\pi d_1\cos\alpha_t}{z_1} = \frac{\pi m_n\cos\alpha_n}{\cos\beta_b}$	注: 小歯車のかわりに大歯車の記号を使ってもよい。このときの数字の添字 1 を 2 に変える。
23. 歯直角法線ピッチ	$p_{bn} = \frac{\pi d_{b1}\cos\beta}{z_1} = \frac{\pi d_1\cos\alpha_t\cos\beta}{z_1}$	注: 小歯車のかわりに大歯車の記号を使ってもよい。このときの数字の添字 1 を 2 に変える。
24. 正面円弧歯厚	$s = \frac{p_t}{2} = \frac{\pi m_n}{2\cos\beta}$	
25. 歯直角円弧歯厚	$s_n = \frac{p_t}{2} = \frac{\pi m_n}{2} = s_t\cos\beta$	
26. 基礎円直径	$d_{b1} = d_1\cos\alpha_t = \frac{z_1 m_n\cos\alpha_\omega}{\cos\beta_{b1}}$	$d_{b2} = d_2\cos\alpha_t = \frac{z_2 m_n\cos\alpha_\omega}{\cos\beta_{b2}}$
27. 正面圧力角	$\alpha_t = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}\right)$ または $\tan\alpha_t = \frac{\tan\alpha_n}{\cos\beta}$	
28. 歯直角圧力角	$\alpha_n = \tan^{-1}(\tan\alpha_t\cos\beta)$ または $\tan\alpha_n = \tan\alpha_t\cos\beta$	
29. 基準円筒ねじれ角	$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{\pi d_1}{p_{z1}}\right)$	注: 小歯車のかわりに大歯車の記号を使ってもよい。このときの数字の添字 1 を 2 に変える。
30. 基礎円等ねじれ角	$\beta_b = \tan^{-1}\left(\frac{\pi d_{b1}}{p_{z1}}\right)$	注: 小歯車のかわりに大歯車の記号を使ってもよい。このときの数字の添字 1 を 2 に変える。
31. かみ合い率	$\varepsilon_a = \frac{\sqrt{\left(\frac{d_{a1}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{b1}}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_{a2}}{2}\right)^2 - \left(\frac{d_{b2}}{2}\right)^2} - \frac{m_t(z_1+z_2)}{2}\sin\alpha_t}{\pi m_t\cos\alpha_t}$	注: ねじ歯車には適用できません。

9.4 ねじ歯車の計算

ねじ歯車は、基準ピッチ円筒ねじれ角βと正面圧力角α_tが大・小歯車でちがう点を注意して、歯直角方式標準はすば歯車の計算式をそのまま使うことができます。（9.3・31項を除く）

項目	両歯車のねじれ方向が同じ場合	両歯車のねじれ方向がちがう場合
1. 軸角	$\Sigma = \beta_1 + \beta_2$	$\Sigma = \beta_1 - \beta_2$ または $= \beta_2 - \beta_1$

9.5 ウォームギヤの計算

1. ウォームの仕上方法
2. ウォームホイールの仕上方法
3. ウォームの条数 $z_1 =$
4. ウォームホイールの歯数 $z_2 =$
5. モジュール $m_n =$
6. 基準圧力角 $\alpha =$
7. ウォームの基準円直径 $d_1 =$
8. 頂げき $c =$
9. 歯末のたけ $h_a = m_n \quad h_a = m_x$
10. 歯元のたけ $h_f = h_\alpha + c =$
11. 歯たけ $h = h_a + h_f =$

項目	ウォーム	ウォームホイール2
12. リード	$p_z = z_1 p_x = z_1 \pi m_x = \pi d_1 \tan\gamma$	
13. 基準円筒進み角	$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{p_z}{\pi d_1}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{z_1}{Q}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{z_1 m_n}{d_1}\right)$	
14. 基準円直径	$d_1 = m_x Q = \frac{p_z}{\pi \tan\gamma}$	$d_2 = z_2 m_x = \frac{z_2 m_n}{\cos\gamma}$
15. 中心距離	$\alpha = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{(Q + z_2) m_x}{2}$ （標準ウォームホイール） $\alpha = \left(\frac{Q + z_2}{2} + x\right) m_x$ （転位ウォームホイール）	
16. 軸方向モジュール	$m_x = \frac{m_n}{\cos\gamma} = \frac{p_x}{\pi}$	
17. 歯直角モジュール	$m_n = m_x \cos\gamma = \frac{p_x \cos\gamma}{\pi}$	
18. 軸方向ピッチ	$p_x = p_t = \pi m_x = \frac{p_z}{z_1} = \frac{\pi m_n}{\cos\gamma}$	$p_t = p_x = \frac{\pi d_2}{z_2} = \frac{p_n}{\cos\gamma}$
19. 歯直角ピッチ	$p_n = p_x \cos\gamma$	$p_n = \pi m_n = p_t \cos\gamma$
20. 軸平面圧力角	$\alpha_x = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\alpha_n}{\cos\gamma}\right)$	
21. 歯直角圧力角	$\alpha_n = \tan^{-1}(\tan\alpha_x \cos\gamma)$	
22. 転位係数	$x_1 = 0$	$x_2 = \frac{a - 0.5(d_1 + d_2)}{m_x}$
23. のどの丸み半径		$r_t = 0.5 d_1 - h_a = a - \frac{d_r}{2}$
24. のどの直径		$d_T = (z_2 + 2x_2) m_x + 2h_a$
25. 歯先円直径	$d_{a1} = d_1 + 2h_a$	① $d_{a2} = d_2 + (2x_2 + 3.5) m_x$ ② $d_{a2} = d_r + (d_1 - 2m_x)\left(1 - \cos\frac{\phi}{2}\right)$
26. 歯幅	$b_1 = 4.5\pi m_x$ または $= p_x\left(4.5 + \frac{2 \cdot z_2}{100}\right)$	$b_2 = m_x\sqrt{7Q - 12.25}$ または $= 2\sqrt{(d_1 + h_a)h_a} + 0.5 p_x$
27. 直径係数	$Q = \frac{d_1}{m_x}$	

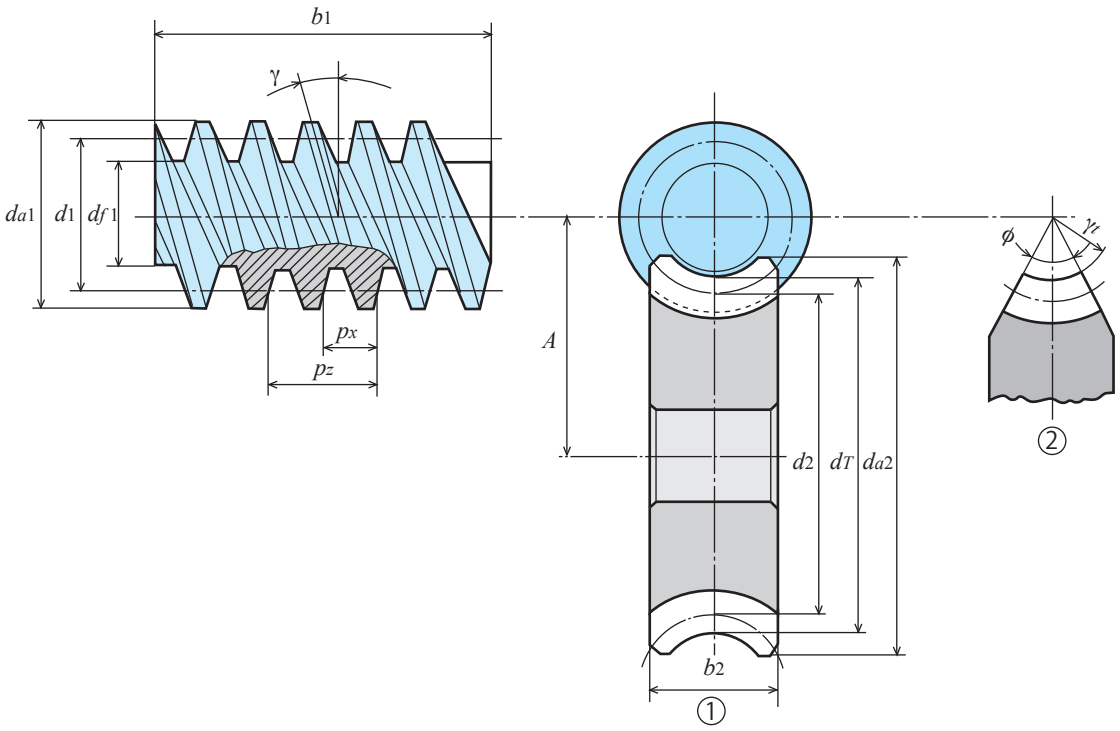


図１.ウォームギヤ

9.6 グリーソンすぐばかさ歯車の計算

1. 小歯車の歯数	$z_1 =$	5. 有効歯たけ	$h' = 2.000m =$
2. 大歯車の歯数	$z_2 =$	6. 歯たけ	$h = 2.188m + 0.05 =$
3. モジュール	$m =$	7. 基準圧力角	$\alpha = 20°$
4. 歯幅	$b =$	8. 軸角	$\sum = 90°$

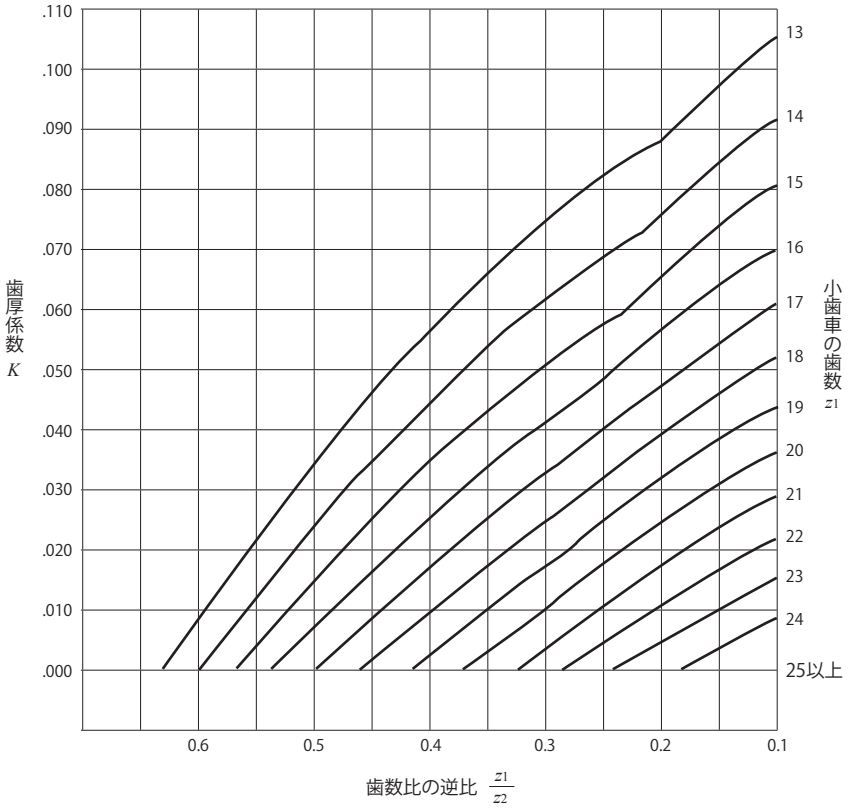
計算項目	小歯車 1	大歯車 2
9. 基準円直径	$d_1 = z_1 m$	$d_2 = z_2 m$
10. 基準ピッチ角	$\delta_1 = \tan^{-1}\dfrac{z_1}{z_2}$	$\delta_2 = 90° - \delta_1$
11. 円すい距離（外端）	$R_e = \dfrac{d_2}{2\sin\delta_2}$	
12. 円ピッチ	$p = \pi m = 3.1416m$	
13. 歯末のたけ	$h_{a1} = h' - h_{a2}$	$h_{a2} = 0.540m + \dfrac{0.460m}{\left(\dfrac{z_2}{z_1}\right)^2}$
14. 歯元のたけ (1)	$h_{f1} = 2.188m - h_{a1}$	$h_{f2} = 2.188m - h_{a2}$
15. 頂げき	$c = h - h'$（平行頂げき）	
16. 歯元角 (2)	$\theta_{f1} = \tan^{-1}\dfrac{h_{f1}}{R_e}$	$\theta_{f2} = \tan^{-1}\dfrac{h_{f2}}{R_e}$
17. 歯先角	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{f2}$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{f1}$
18. 歯底角	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
19. 歯先円直径（外端）	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}\cos\delta_1$	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}\cos\delta_2$
20. 円すい頂点から外端歯先まで	$X_1 = \dfrac{d_2}{2} - h_{a1}\sin\delta_1$	$X_2 = \dfrac{d_1}{2} - h_{a2}\sin\delta_2$
21. 円弧歯厚	$s_1 = p - s_2$	$s_2 = \dfrac{p}{2} - (h_{a1} - h_{a2})\tan\alpha - K \bullet m$ (3)
22. バックラッシ	$j_n =$ JIS B 1705かさ歯車のバックラッシ参照による。	
23. 弦歯厚	$\bar{s} = s_1 - \dfrac{(s_1)^3}{6(d_1)^2}$	$\bar{s} = s_2 \dfrac{(s_2)^3}{6(d_2)^2}$
24. キャリパ歯たけ	$\bar{h}_1 = h_{a1} + \dfrac{(s_1)^2\cos\delta_1}{4d_1}$	$\bar{h}_2 = h_{a2} + \dfrac{(s_2)^2\cos\delta_2}{4d_2}$
25. 歯先間の軸方向距離	$X_{b1} = \dfrac{b\cos\delta_{a1}}{\cos\theta_{f2}}$	$X_{b2} = \dfrac{b\cos\delta_{a2}}{\cos\theta_{f1}}$
26. 歯先円直径（内端）	$d_{i1} = d_{a1} - \dfrac{2b\sin\delta_{a1}}{\cos\theta_{f2}}$	$d_{i2} = d_{a2} - \dfrac{2b\sin\delta_{a2}}{\cos\theta_{f1}}$
27. 素材の角度	$\theta_{x1} = 90° - \theta_{f2}$	$\theta_{x2} = 90° - \theta_{f1}$
28. 素材の角度	$\theta_{y1} = 90° - \delta_1$	$\theta_{y2} = 90° - \delta_2$

グリーソン斜交すぐばかさ歯車の計算

グリーソン斜交すぐばかさ歯車の計算

計算項目	小歯車 1	大歯車 2
10. ピッチ角	標準斜交すぐばかさ歯車の項を参照	
13. 歯末のたけ	$h_{a1}=h'-h_{a1}$	$h_{a1}=0.54m+\dfrac{0.46m}{\left(\dfrac{z_2\cos\delta_1}{z_1\cos\delta_2}\right)}$
20.円すい頂点から歯先まで	$X_1=R_e\cos\delta_1-h_{a1}\sin\delta_1$	$X_2=R_e\cos\delta_2-h_{a2}\sin\delta_2$

注（1）実際の歯元のたけは、計算値より0.05mm大きい。（2）歯末角θ_aは相手歯車の歯元角θ_fと等しくする。（3）係数Kの値は線図２で求める。



注) $u=\dfrac{z_1}{z_2}$ が1～$\dfrac{1}{1.5}$ の場合および小歯車の歯数z_1 =が25以上のときは$K=0$である

図2　歯厚係数 K を求める線図

表１　切下げ防止の最小歯数

α=20°		α=14.5°	
小歯車の歯数	大歯車の歯数	小歯車の歯数	大歯車の歯数
z_1	z_2	z_1	z_2
13	30	24	57
14	20	25	40
15	17	26	35
16	16	27	31
		28	29
		29	29

9.7 標準すぐばかさ歯車の計算

1. 小歯車の歯数	$z_1 =$	6. 頂げき	$c = 0.25m$
2. 大歯車の歯数	$z_2 =$	7. 歯末のたけ	$h_a = m =$
3. モジュール	$m =$	8. 歯元のたけ	$h_f = 1.25\,m =$
4. 基準圧力角	$\alpha =$	9. 歯たけ	$h = 2.25m =$
5. 歯幅	$b =$	10. 軸角	$\sum = 90°$

計算項目	小歯車 1	大歯車 2
11. 基準円直径	$d_1 = z_1 m$	$d_2 = z_2 m$
12. 基準ピッチ角	$\delta_1 = \tan^{-1}\dfrac{z_1}{z_2}$	$\delta_2 = 90° - \delta_1$
13. 円すい距離	$R_n = \dfrac{d_2}{2\sin\delta_2}$	
14. 歯末角	$\theta_a = \tan^{-1}\dfrac{h_a}{R_e}$	
15. 歯元角	$\theta_f = \tan^{-1}\dfrac{h_f}{R_e}$	
16. 歯先角	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_a$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_a$
17. 歯底角	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_f$	$\delta_{r2} = \delta_2 - \theta_f$
18. 歯先円直径（外端）	$d_a = d_1 + 2h_a\cos\delta_1$	$d_a = d_2 + 2h_a\cos\delta_2$
19. 歯先円直径（内端）	$d_{i1} = d_{a1} - \dfrac{2b\sin\delta_{a1}}{\cos\theta_a}$	$d_{i2} = d_{a2} - \dfrac{2b\sin\delta_{a2}}{\cos\theta_a}$
20. 素材の角度	$\theta_{x1} = 90° - \theta_a = \theta_{x2}$	$\theta_{x2} = 90° - \theta_a = \theta_{x1}$
21. 素材の角度	$\theta_{y1} = 90° - \delta_1 = \delta_2$	$\theta_{y2} = 90° - \delta_2 = \delta_1$
22. 円すい頂点から外端歯先まで	$X_1 = \dfrac{d_2}{2} - h_a\sin\delta_1$	$X_2 = \dfrac{d_1}{2} - h_a\sin\delta_2$
23. 歯先間の軸方向距離	$X_{b1} = \dfrac{b\cos\delta_{a1}}{\cos\theta_a}$	$X_{b2} = \dfrac{b\cos\delta_{a2}}{\cos\theta_a}$
24. 弦歯厚	$\bar{s}_1 = z_{v1} m\sin\theta_{v1} \fallingdotseq s - \dfrac{s^3}{6{d_1}^2}$	$\bar{s}_2 = z_{v2} m\sin\theta_{v2} \fallingdotseq s - \dfrac{s^3}{6{d_2}^2}$
25. キャリパ歯たけ	$\bar{h}_1 = m + R_{v1}(1-\cos\theta_{v1}) \fallingdotseq m + \dfrac{s^2\cos\delta_1}{4d_1}$	$\bar{h}_2 = m + R_{v2}(1-\cos\theta_{v2}) \fallingdotseq m + \dfrac{s^2\cos\delta_2}{4d_2}$

注＊歯数Z_V=$z/\cos\delta$の標準平歯車と考えて、標準平歯車の弦歯厚の表を利用してもよい。

標準斜交すぐばかさ歯車

計算項目（12）（22）以外は上記の計算式と同じです。

計算項目	小歯車 1	大歯車 2
12. ピッチ角	軸角 Σ 90°より小さい場合 $\delta_1 = \tan^{-1}\dfrac{\sin\Sigma}{\frac{z_2}{z_1}+\cos\Sigma}$ 軸角 Σ が 90°より大きい場合 $\delta_1 = \tan^{-1}\dfrac{\sin(180°-\Sigma)}{\frac{z_2}{z_1}-\cos(180°-\Sigma)}$	$\delta_2 = \Sigma - \delta_1$
22. 円すい頂点から外端歯先まで	$X_1 = R_e\cos\delta_1 - h_a\sin\delta_1$	$X_2 = R_e\cos\delta_2 - h_a\sin\delta_2$

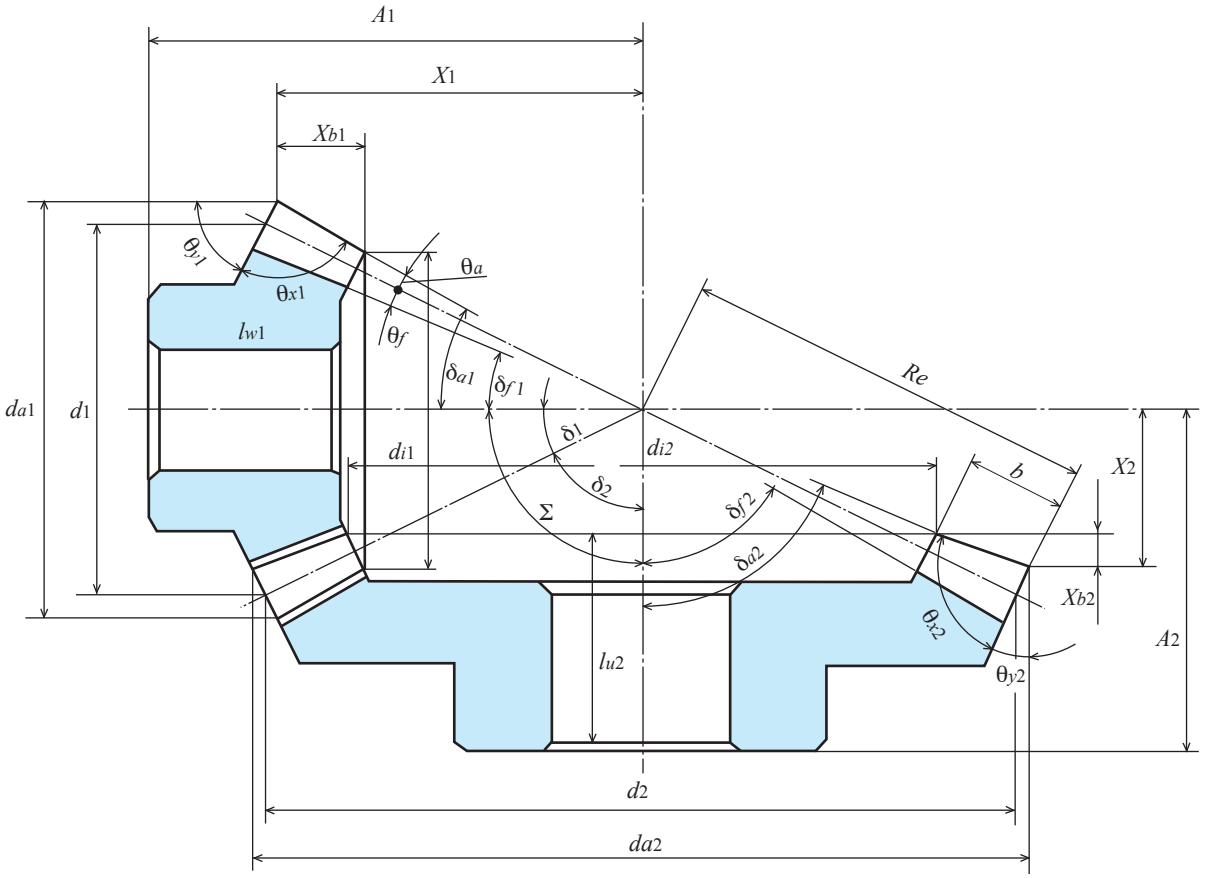


図３　かさ歯車

9.8 グリーソンまがりばかさ歯車の計算

1. 小歯車の歯数	$z_1 =$	5. 有効歯たけ	$h' = 1.700m =$
2. 大歯車の歯数 z_2	$z_2 =$	6. 歯たけ	$h = 1.888m =$
3. モジュール	$m =$	7. 圧力角	$\alpha =$ （20°が標準）
4. 歯幅	$b =$	8. 軸角	$\sum = 90°$

計算項目	小歯車1	大歯車2
9. 基準円直径	$d_1 = z_1 m$	$d_2 = z_2 m$
10. ピッチ角	$\delta_1 = \tan^{-1}\dfrac{z_1}{z_2}$	$\delta_2 = 90° - \delta_1$
11. 円すい距離	$R_e = \dfrac{d_2}{2\sin\delta_2}$	
12. 円ピッチ	$p = \pi m = 3.14159m$	
13. 歯末のたけ	$h_{a1} = h' - h_{a2}$	$h_{a2} = 0.460m + \dfrac{0.390m}{\left(\dfrac{z_2}{z_1}\right)^2}$
14. 歯元のたけ	$h_{f1} = h - h_{a1}$	$h_{f2} = h - h_{a2}$
15. 頂げき	$c = h - h'$ （平行頂げき）	
16. 歯元角 (1)	$\theta_{f1} = \tan^{-1}\dfrac{h_{f1}}{R_e}$	$\theta_{f2} = \tan^{-1}\dfrac{h_{f2}}{R_e}$
17. 歯先角	$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{f2}$	$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{f1}$
18. 歯底角	$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$	$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$
19. 歯先円直径（外端）	$d_{a1} = d_1 + 2h_{a1}\cos\delta_1$	$d_{a2} = d_2 + 2h_{a2}\cos\delta_2$
20. 円すい頂点から外端歯先まで	$X_1 = \dfrac{d_2}{2} - h_{a1}\sin\delta_1$	$X_2 = \dfrac{d_1}{2} - h_{a2}\sin\delta_2$
21. 歯厚 (2)	$s_1 = p - s_2$	$s_2 = \dfrac{p}{2} - (h_{a1} - h_{a2})\dfrac{\tan\alpha_n}{\cos\beta} - Km$ (3)
22. バックラッシ	$j_n =$ 一般かさ歯車のバックラッシの推奨（グリーソン）参照 JIS B 1705 かさ歯車のバックラッシ参照	
23. まがり角	$\beta =$（35°が標準）	
24. まがり方向		
25. 駆動歯車		
26. 回転方向		
27. 歯先間の軸方向距離	$X_{b1} = \dfrac{b\cos\delta_{a1}}{\cos\theta_{f2}}$	$X_{b2} = \dfrac{b\cos\delta_{a2}}{\cos\theta_{f1}}$
28. 歯先円直径（内端）	$d_{i1} = d_{a1} - \dfrac{2b\sin\delta_{a1}}{\cos\delta_{f2}}$	$d_{i2} = d_{a2} - \dfrac{2b\sin\delta_{a2}}{\cos\delta_{f1}}$
29. 素材の角度	$\theta_{x1} = 90° - \theta_{f2}$	$\theta_{x2} = 90° - \theta_{f1}$
30. 素材の角度	$\theta_{y1} = 90° - \delta_1$	$\theta_{y2} = 90° - \delta_2$

注（1） 歯末角 θ_a は相手歯車の歯元角 θ_f と等しくなる。
（2） スプレッドブレード法、シングルサイド法などのように創成歯切法で歯を切るものは、この計算方法で計算して図面に記入する。歯切のときの歯形キャリパを使う歯厚測定寸法の計算方法は歯切方法によってちがっている。したがって図面に記入した歯厚は参考寸法として必要なものである。
（3） 係数 K は前のページにある線図2で求める。

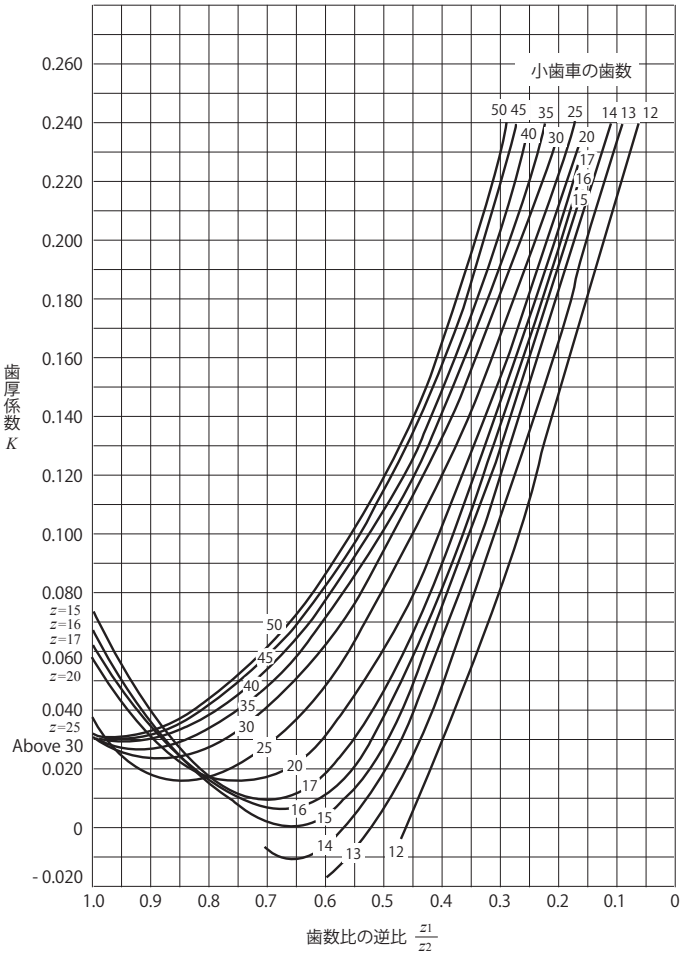


図４　歯厚係数Kを求める線図

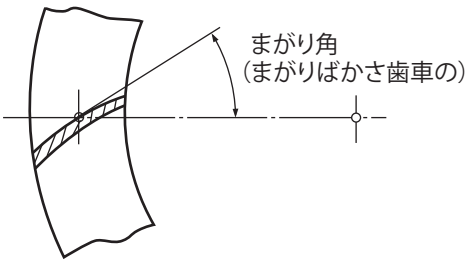


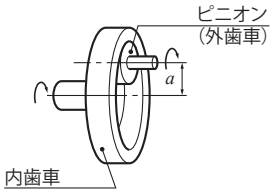
図５　まがりばかさ歯車のまがり角（平均まがり角）

表２　切下げ防止の最小歯数

α=20°		α=16°		α=14.5°	
小歯車の歯数	大歯車の歯数	小歯車の歯数	大歯車の歯数	小歯車の歯数	大歯車の歯数
z_1	z_2	z_1	z_2	z_1	z_2
12	26	16	59	19	70
13	22	17	45	20	60
14	20	18	36	21	42
15	19	19	31	22	40
16	18	20	29	23	36
17	17	21	27	24	33
		22	26	25	32
		23	25	26	30
		24	24	27	29
				28	28

9.9 遊星歯車機構の計算

1. 内歯車と外歯車の噛み合い



外歯車同志のかみ合いに比べ，中心距離 a が短くなり，互いに同じ方向の回転が得られます。
伝達比 u は

a) ピニオンが駆動車となる場合

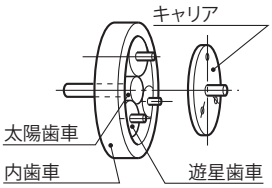
$$u = \frac{\text{ピニオン歯数}}{\text{内歯車の歯数}} \text{（減速）}$$

b) 内歯車が駆動車となる場合

$$u = \frac{\text{内歯車の歯数}}{\text{ピニオンの歯数}} \text{（増速）}$$

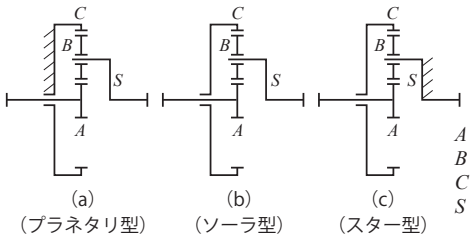
となります。

2. 遊星歯車機構



遊星歯車機構は，太陽歯車，遊星歯車，内歯車，キャリア（腕）から構成され，コンパクトで大きな減速比が得られます。

単列遊星歯車機構の基本軸（2K-H）



種類	固定要素	入力	出力	減速比の計算式	減速比の範囲
(a) プラネタリ型	内歯車	太陽歯車	キャリア	$\frac{1}{\frac{zC}{zA}+1}$	1/3 - 1/12
(b) ソーラ型	太陽歯車	内歯車	キャリア	$\frac{1}{\frac{zA}{zC}+1}$	1/1.2 - 1/1.7
(c) スター型	キャリア（腕）	太陽歯車	内歯車	$-\frac{1}{\frac{zC}{zA}}$	1/2 - 1/11

・z は歯数を示し，添付のA・Cは各々太陽歯車，内歯車を示す。
・負記号は，入力回転と反対の出力回転方向を示す。

内歯車の干渉

内歯車とピニオン（外歯車）とをかみ合わせるとき，内歯車の歯数が少なかったり，内歯車とピニオンの歯数差が少なかったりすると，組立てできないことがあります。これらの不都合を，「歯車内の干渉」といい，次表に干渉の種類とその現象と原因を示します。

干渉	現象	原因	干渉	現象	原因
インボリュート干渉	ピニオンの歯元に内歯車の歯先が食い込んで，回転できない。	ピニオンの歯数が少ない。	トリミング干渉	組付けの際，ピニオンは，軸方向に入れる事はできても，半径方向に出入れできない。	トロコイド干渉と同じ。
トロコイド干渉	噛合を終えたピニオン歯先がふたたび内歯車の歯先と接触し，回転できない。	内・外歯車の歯数差が少ない。	隅肉干渉	内歯車の歯元隅肉部にピニオン歯先が接触し，回転できない。	ピニオンの歯数が少ない。（ピニオンの歯たけが低い）

遊星歯車の組立条件

遊星歯車を設計する場合，次の条件を満足する様な歯数構成としてください。

①内歯車の歯数＝太陽歯車の歯数＋２×（遊星歯車の歯数）

② $\frac{\text{内歯車＋太陽歯車の歯数}}{\text{遊星歯車の使用個数}}$ ＝整数であること

③遊星歯車同志の歯先干渉を起こさない。

$$m(Z_B+2) < m(Z_A+Z_B)\ \sin\frac{\pi}{n}\ (n:\text{遊星歯車の個数})$$

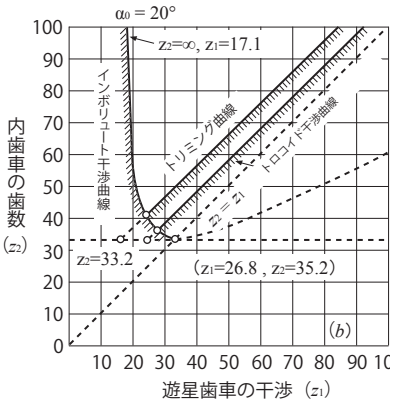


図6　内歯車の干渉

当社の歯車とかみ合う遊星歯車の歯数範囲

内歯車の歯数	遊星歯車の歯数範囲	内歯車の歯数	遊星歯車の歯数範囲
60	21 - 44	96	19 - 80
72	20 - 56	100	19 - 84
80	20 - 64	108	19 - 92
84	20 - 68	120	19 - 104
90	19 - 74		

9.10 各種歯車の計算例

標準平歯車の計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	小歯車	大歯車
モジュール	m	1.5	
歯数	Z	20	60
基準圧力角	α	20°	
転位係数	x	0.0000	0.0000
歯末のたけ	h_a	1.500	1.500
歯元のたけ	h_f	1.875	1.875
歯たけ	h	3.375	
頂げき	c	0.375	
基準円直径	d	30.000	90.000
歯先円直径	d_a	33.000	93.000
歯底円直径	d_f	26.250	86.250
基礎円直径	d_b	28.191	84.572
基礎円ねじれ角	β_b	0° 0′ 0″	
中心距離	a	60.0000	
かみ合い圧力角	α_w	20° 0′ 0″	
かみ合いPCD	d_w	30.000	90.000
キャリパ歯たけ	$\bar{h}$	1.546	1.515
弦歯厚	$\bar{s}$	2.354	2.356
またぎ歯数	z_m	(3)	(7)
またぎ歯厚	W	11.491	30.044
ピン径	d_p	2.500	2.500
オーバーピン寸法	d_m	33.268	93.309

標準内歯車の計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	小歯車	大歯車
モジュール	m	1	
歯数	z	20	100
圧力角	α	20°	
歯末のたけ	h_a	1.000	1.000
歯元のたけ	h_f	1.250	1.250
歯たけ	h	2.250	2.250
頂げき	c	0.250	0.250
基準円直径	d	20.000	100.000
歯先円直径	d_a	22.000	98.000
歯底円直径	d_f	17.500	102.500
中心距離	α	40.000	
正面かみ合い率	ε_a	1.860	
またぎ歯数	z_m	(3)	(12)
またぎ歯厚	W	7.660	35.350

歯直角方式標準はすば歯車の計算例（中心距離基準）

並歯

項目 / 歯形	記号	小歯車	大歯車
モジュール	m_n	2	
歯数	z	30	60
基準圧力角	α	20°	
基準円筒ねじれ角	β	20° 0′ 0″	
ねじれ方向		右	左
転位係数	x_n	0.00000	0.0000
歯末のたけ	h_a	2.000	2.000
歯元のたけ	h_f	2.500	2.500
歯たけ	h	4.500	
頂げき	c	0.500	
基準円直径	d	63.851	127.701
歯先円直径	d_a	67.851	131.701
歯底円直径	d_f	58.851	122.701
基礎円直径	d_b	59.540	119.081
基礎円ねじれ角	β_b	18° 44′ 50″	
中心距離	a	95.7760	
かみ合い圧力角	α_w	21° 10′ 22″	
かみ合いPCD	d_w	63.851	127.701
キャリパ歯たけ	$\bar{h}$	2.034	2.017
弦歯厚	$\bar{s}$	3.141	3.141
またぎ歯数	z_m	(5)	(9)
またぎ歯厚	W	27.572	52.193
ピン径	d_p	3.500	3.500
オーバーピン寸法	d_m	68.844	132.743

歯直角方式標準ねじ歯車の計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	小歯車	大歯車
モジュール	m_n	2	
歯数	z	13	26
基準圧力角	α	20°	
基準円筒ねじれ角	β	45° 0′ 0″	45° 0′ 0″
ねじれ方向		右	右
転位係数	x_n	0.0000	0.0000
歯末のたけ	h_a	2.000	2.000
歯元のたけ	h_f	2.500	2.500
歯たけ	h	4.500	
頂げき	c	0.500	
基準円直径	d	36.770	73.539
歯先円直径	d_a	40.770	77.539
歯底円直径	d_f	31.770	68.539
基礎円直径	d_b	32.693	65.386
基礎円ねじれ角	β_b	41°38′ 28″	41° 38′ 28″
中心距離	a	55.1543	
歯直角かみ合い圧力角	α_{wn}	20° 0′ 0″	20° 0′ 0″
正面かみ合い圧力角	α_{wt}	27° 14′ 11″	27° 14′ 11″
かみ合いPCD	d_w	36.770	73.539
軸角	Σ	90° 0′ 0″	
キャリパ歯たけ	$\bar{h}$	2.034	2.017
弦歯厚	$\bar{s}$	3.141	3.141
またぎ歯数	z_m	(5)	(9)
またぎ歯厚	W	27.531	52.110
ピン径	d_p	3.500	3,500
オーバーピン寸法	d_m	41.487	78.583

歯直角方式ウォーム，ウォームホイールの計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	ウォーム	ウォームホイール
モジュール	m_n	1.5 (m_a=1.5027)	
基準圧力角	α	20° (α_a=20° 2′ 0″)	
歯末のたけ	h_a	1.500	
歯元のたけ	h_f	1.875	
歯たけ	h	3.375	
リード	p_z	4.7209	
基準ピッチ	P	4.7209	
基準円筒進み角	γ	3° 26′ 23″	
中心距離	a	42.500	
ウォームホイール形状		******	I 形
条件／歯数	z_w/z_2	1	40
基準円直径	d	25.000	60.108
外径	d_a	28.000	65.260
歯底円直径	d_f	21.250	56.250
転位係数	x	******	-0.0360
直径係数	Q	16.6366	******
のどの直径	d_T	******	63.000
のどの丸み半径	r_t	******	11.00
歯幅	b	30.00	15.00
キャリパ歯たけ	$\bar{h}$	1.500	1.468
弦歯厚	$\bar{s}$	2.356	2.316

標準すぐばかさ歯車の計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	小歯車	ウォームホイール
モジュール	m	1.5	
歯数	z	20	40
基準圧力角	α	20°	
歯幅	b	10	
歯末のたけ	h_a	1.500	
歯元のたけ	h_f	1.875	
歯たけ	h	3.375	
頂げき	c	0.375	
軸角	Σ	90° 0′ 0″	
外端円錐距離	R_e	33.541	
基準円直径	d	30.000	60.000
ピッチ角	δ	26° 33′ 54″	63° 26′ 6″
歯末角	θ_a	2° 33′ 38″	
歯元角	θ_f	3° 11′ 59″	
歯先角	δ_a	29° 7′ 32″	65° 59′ 44″
歯底角	δ_f	23° 21′ 56″	60° 14′ 7″
外端歯先円直径	d_a	32.683	61.342
内端歯先円直径	d_i	22.939	43.053
円錐頂点から外端歯先	X	29.329	13.658
軸方向歯幅	X_b	8.744	4.072
歯厚	S	2.356	
ツースアングル		190.71(min)	
素材の角度	θ_x	87° 26′ 22″	87° 26′ 22″
素材の角度	θ_y	63° 26′ 6″	26° 33′ 54″
弦歯厚	$\bar{s}$	2.354	2.356
キャリパ歯たけ	$\bar{h}$	1.541	1.510
(1)相当平歯車歯数	z_v	22.361	89.443

注(1)旧歯車用語を採用

グリーソンすぐばかさ歯車の計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	小歯車	ウォームホイール
モジュール	m	1.5	
歯数	z	20	40
基準圧力角	α	20°	
歯幅	b	10	
軸角	Σ	90° 0′ 0″	
かみ合い歯たけ	h_w	3.000	
歯たけ	h	3.332	
外端円錐距離	R_e	33.5410	
基準円直径	d	30.000	60.000
ピッチ角	δ	26° 33′ 54″	63° 26′ 6″
歯末のたけ	h_a	2.018	0.983
歯元のたけ	h_f	1.265	2.300
頂げき	c	0.332	
歯末角	θ_a	3° 55′ 19″	2° 9′ 33″
歯元角	θ_f	2° 9′ 33″	3° 55′ 19″
歯先角	δ_a	30° 29′ 13″	65° 35′ 38″
歯底角	δ_f	24° 24′ 22″	59° 30′ 47″
外端歯先円直径	d_a	33.609	60.879
内端歯先円直径	d_i	23.438	42.653
円錐頂点から外端歯先	X	29.098	14.121
軸方向歯幅	X_b	8.638	4.135
歯厚	S	2.733	1.979
ツースアングル		187.2 (min)	187.2 (min)
素材の角度	θ_x	86° 4′ 41″	87° 50′ 27″
素材の角度	θ_y	63° 26′ 6″	26° 33′ 54″
弦歯厚	$\bar{s}$	2.729	1.979
キャリパ歯たけ	$\bar{h}$	2.073	0.990
相当平歯車歯数	z_v	22.361	89.443

グリーソンまがりばかさ歯車の計算例

並歯

項目 / 歯形	記号	ピニオン	ウォームホイール
モジュール	m	1.5	
歯数	z	20	40
基準圧力角	α	20°	
歯幅	b	10	
基準円筒まがり角	β	35° 0′ 0″	
まがり方角		左ねじれ	右ねじれ
軸角	Σ	90° 0′ 0″	
かみ合い歯たけ	h_w	2.550	
歯たけ	h	2.832	
外端円錐距離	R_e	33.541	
基準円直径	d	30.000	60.000
ピッチ角	δ	26° 33′ 54″	63° 26′ 6″
歯末のたけ	h_a	1.714	0.836
歯元のたけ	h_f	1.118	1.996
歯末角	θ_a	3° 24′ 19″	1° 54′ 34″
歯元角	θ_f	1° 54′ 34″	3° 24′ 19″
歯先角	δ_a	29° 58′ 13″	65° 20′ 40″
歯底角	δ_f	24° 39′ 20″	60° 1′ 47″
外端歯先円直径	d_a	33.066	60.748
内端歯先円直径	d_i	23.057	42.561
円錐頂点から外端歯先	X	29.234	14.252
軸方向歯幅	X_b	8.678	4.174
歯厚	S	2.834	1.878
素材の角度	θ_x	86° 35′ 41″	88° 5′ 26″
素材の角度	θ_y	63° 26′ 6″	26° 33′ 54″
相当平歯車歯数 (1)	z_v	40.681	162.724

注（1）旧歯車用語を採用

9.11 各種歯車の効率

(歯車のみの参考値)

歯車の種類		歯車の効率
平歯車		97 - 99%
はすば歯車		97 - 99%
かさ歯車		96 - 99%
ウォームギヤ	1条ネジ	45 - 55% *
	2条ネジ	55 - 65% *

*当社規格品の数値です。

第 10 章　歯車の強度計算

10.1 平歯車およびはすば歯車の強度計算式

歯車の強さを検討するのに，曲げ強さ，歯面強さ及びスコーリングなどがあります。これらの式には，ISO，JGMA，AGMA，DIN，BS，日本機械学会の式など多数あります。

すでに当社では，パソコンによる歯車の諸元計算，歯の強さ計算（曲げ強さと歯面強さ），歯形創成，歯のかみ合い状態，歯数と伝達トルクを入力することによって，使用したい規格歯車の検索も行うことのできるソフト“KG CALMET”の商品名で開発し市販しています。

これに合わせてJGMAの式（日本歯車工業会規格）の曲げ強さと歯面強さ計算式の抜粋をここに紹介いたします。

平歯車およびはすば歯車の曲げ強さ計算式 JGMA 401-01（1974）

平歯車およびはすば歯車の歯面強さ計算式 JGMA 402-01（1975）

1. 適用範囲（共通）

1.1　この規格は，一般産業機械において動力伝達に使用される次の範囲の平歯車およびはすば歯車（やまば歯車および内歯車を含む）に適用する。

モジュール	: 1.5 ～ 25.0 mm
基準ピッチ円直径	: 25 ～ 3,200 mm
周速	: 25 m/s 以下
回転速度	: 3,600 m^{-1}以下
歯形	: JIS B 1701（インボリュート歯車の歯形及び寸法）に規定された平歯車および歯直角方式はすば歯車の歯形とする。ただし歯直角基準圧力角が22.5° 及び25° の歯車にも適用できる
精度	: JIS B 1702（平歯車およびはすば歯車の精度）に規定された1 ～ 6級

1.2.1　この規格は，任意に決められた寸法の歯車の曲げ許容荷重を計算する場合および歯元曲げ応力を考慮して歯車の寸法を決める場合に使用する式を規定する。

1.2.2　この規格は，任意に決められた寸法の歯車の歯面許容荷重を計算する場合および歯面のうける応力を考慮して歯車の仕様を決める場合に使用する式を規定する。

2. 定義

2.1 曲げ強さ

歯車の曲げ許容荷重とは，互いにかみ合って動力を伝達する歯車において，それぞれの歯車の許容歯元曲げ応力に基づいて決められる基準ピッチ円上の許容円周力をいう。

2.2 歯面強さ

歯面の強さとは，進行性ピッチングに対して必要かつ十分な安全度を歯車に与えるために規定する負荷容量をいう。従って歯車の歯面許容荷重とは，互にかみ合って動力を伝達する歯車において，それぞれの歯車の歯面の強さに基づいて決められる基準ピッチ円上の許容円周力をいう。

3. 基礎となる換算式（共通）

強さの計算において，基準ピッチ円上の円周力，呼び動力及び呼びトルクを求める計算に関係がある換算式を次に示す。

3.1 基準ピッチ円上の呼び円周力　F_t（kgf）

$$F_t = \frac{102P}{v} = \frac{1.95\times10^6 P}{dn} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに

P　: 呼び動力（kW）
v　: 基準ピッチ円周上の周速（m/s）
d　: 基準ピッチ円直径（mm）
n　: 回転速度（min^{-1}）

$$v = \frac{dn}{19100} \quad \cdots\cdots (2)$$

又は

$$F_t = \frac{2000T}{d} \quad \cdots\cdots (3)$$

ここに

T ：呼びトルク（kgf・m）

3.2 呼び動力P（kW）

$$P=\frac{F_t v}{102}=\frac{10^{-6}}{1.95}F_t dn \quad \cdots\cdots (4)$$

3.3 呼びトルクT（kgf・m）

$$T=\frac{F_t d}{2000} \quad \cdots\cdots (5)$$

又は

$$T=\frac{974P}{n} \quad \cdots\cdots (6)$$

4. 強さ計算式

4.1 曲げ強さの計算式

曲げ強さを調べるには，基準ピッチ円上の呼び円周力を基準とする。従って基準ピッチ円上の呼び円周力が，許容歯元曲げ応力によって計算した基準ピッチ円上許容円周力に等しいかもしくはそれ以下でなければならない。すなわち

$$F_t \leqq F_{t\lim} \quad \cdots\cdots (7)$$

ここに F_t ：基準ピッチ円上の呼び円周力（kgf）

$F_{t\lim}$ ：基準ピッチ円上の許容円周力（kgf），ただし大小両歯車について求めて，そのうち小さい方を基準とする。

または，基準ピッチ円上の呼び円周力から求めた歯元応力が，許容歯元曲げ応力に等しいかもしくはそれ以下でなくてはならない。すなわち

$$\sigma_F \leqq \sigma_{F\lim} \quad \cdots\cdots (8)$$

ここに σ_F ：基準ピッチ円上の呼び円周力から求めた歯元応力（kgf/mm²）

$\sigma_{F\lim}$ ：許容歯元曲げ応力（kgf/mm²）

4.1.1 基準ピッチ円上の許容円周力の計算

次の式によって求める。

$$F_{t\lim}=\sigma_{F\lim}\frac{m_n b}{Y_F Y_\varepsilon Y_\beta}\left(\frac{K_L K_{FX}}{K_V K_O}\right)\frac{1}{S_F} \quad \cdots\cdots (9)$$

ここに m_n ：歯直角モジュール（mm）

b ：歯幅（mm）

Y_F ：歯形係数

Y_ε ：荷重分配係数

Y_β ：ねじれ角係数

K_L ：寿命係数

K_{FX} ：歯元応力に対する寸法係数

K_v ：動荷重係数

K_0 ：過負荷係数

S_F ：歯元曲げ破損に対する安全率

4.1.2 歯元曲げ応力の計算

次の式によって求める。

$$\sigma_F=F_t\frac{Y_F Y_\varepsilon Y_\beta}{m_n b}\left(\frac{K_V K_O}{K_L K_{FX}}\right)S_F \quad \cdots\cdots (10)$$

4.2 歯面強さの計算式

歯面強さを調べるには，基準ピッチ円上の呼び円周力を基準とする。したがって基準ピッチ円上の呼び円周力が，許容ヘルツ応力によって計算した基準ピッチ円上の許容円周力に等しいか，若しくそれ以下でなければならない。すなわち

$$F_t \leqq F_{t\lim} \quad \cdots\cdots (11)$$

ここに F_t ：基準ピッチ円上の呼び円周力（kgf）

$F_{t\lim}$ ：基準ピッチ円上の許容円周力（kgf），ただし大，小両歯車について求めて，そのうち小さい方を基準とする。

又は，基準ピッチ円上の呼び円周力から求めたヘルツ応力が，許容ヘルツ応力に等しいか若しくはそれ以下でなくてはならない。すなわち

$$\sigma_H \leqq \sigma_{H\lim} \quad \cdots\cdots (12)$$

ここに σ_H ：基準ピッチ円上の呼び円周力から求めたヘルツ応力（kgf/mm²）

$\sigma_{H\lim}$ ：許容ヘルツ応力（kgf/mm²）

4.2.1 基準ピッチ円上の許容円周力の計算

次の式によって求める。

$$F_{t\lim}=\sigma_{H\lim}{}^2 d_1 b_H \frac{u}{u\pm 1}\left(\frac{K_{HL}Z_L Z_R Z_V Z_W Z_{HX}}{Z_H Z_M Z_\varepsilon Z_\beta}\right)^2 \times \frac{1}{K_{H\beta}K_V K_O}\frac{1}{S_H{}^2} \quad \cdots\cdots (13)$$

± ：＋符号は外歯車どうし，－符号は外歯車と内歯車がかみ合うときに用いる。

ここに d_1 ：小歯車の基準ピッチ円直径（mm）

b_H ：歯面強さに対する有効歯幅（mm）

u ：歯数比

Z_H ：領域係数

Z_M ：材料定数係数

Z_ε ：かみあい率係数

Z_β ：歯面強さに対するねじれ角係数

K_{HL} ：歯面強さに対する寿命係数

Z_L ：潤滑油係数

Z_R ：粗さ係数

Z_V ：潤滑速度係数

Z_W ：硬さ比係数

K_{HX} ：歯面強さに対する寸法係数

$K_{H\beta}$ ：歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数

K_V ：動荷重係数

K_O ：過負荷重係数

S_H ：歯面強さに対する安全率

4.2.2 ヘルツ応力の計算

次の式によって求める。

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_t}{d_1 b_H}\frac{u \pm 1}{u}\frac{Z_H Z_M Z_\varepsilon Z_\beta}{K_{H\beta} K_V K_O}} \times S_H \quad \cdots\cdots (14)$$

± ：＋符号は外歯車どうし，－符号は外歯車と内歯車がかみ合うときに用いる。

5. 各種係数の求め方

5.1 歯車の曲げ強さ計算式における各種係数などの求め方

前節で述べた歯車の曲げ強さ計算式で用いている各種係数などを下記に規定する。

5.1.1 歯幅 b

歯幅が異なる場合は，広いほうの歯幅を b_w，せまいほうを b_s とすると，

$b_w - b_s \leqq m_n$ のときはそれぞれの歯幅をそのまま計算上の歯幅とする。

$b_w - b_s > m_n$ のときは b_w に対しては $b_s + m_n$ を計算上の歯幅とし，b_s はそのまま使用する。

5.1.2 歯形係数 Y_F

歯形係数は図1によって求める。

はすば歯車の場合の相当平歯車の歯数は，次の式で求めます。

$$z_v = \frac{z}{\cos^3\beta} \quad \cdots\cdots (15)$$

なお，図1以外の歯形の歯形係数は，本規格を参照して下さい。

5.1.3 荷重分配係数 Y_ε

荷重分配係数は次の式によって求める。

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} \quad \cdots\cdots (16)$$

ここに ε_α ：正面かみあい率

正面かみあい率は

平歯車 ：$\varepsilon_\alpha = \dfrac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a\sin\alpha\omega}{m\pi\cos\alpha_0}$ ···· (17)

はすば歯車 ：$\varepsilon_\alpha = \dfrac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a\sin\alpha\omega t}{m_t\pi\cos\alpha t}$ ···· (18)

$$\cos^2\beta_b = 1 - \sin^2\beta \cdot \cos^2\alpha_n \quad \cdots\cdots (19)$$

ここに γ_a ：歯先円半径（mm）

γ_b ：基礎円半径（mm）

a ：中心距離（mm）

α_w ：かみあい圧力角〔°（度）〕

α_{wt} ：正面かみあい圧力角〔°（度）〕

α ：基準圧力角〔°（度）〕

α_n ：歯直角圧力角〔°（度）〕

α_t ：正面基準圧力角〔°（度）〕

β ：基準ピッチ円筒ねじれ角〔°（度）〕

β_b ：基礎円筒ねじれ角〔°（度）〕

添字 1 ：小歯車

2 ：大歯車

備考 1. 表1に基準圧力20° の標準平歯車の正面かみあい率 ε_α を示す。

2. はすば歯車の Y_ε は，近似的に次式を利用して求めてもよい。

$$\frac{\cos^2\beta_b}{\varepsilon_\alpha} = \frac{1}{\varepsilon_{\alpha n}} \quad \cdots\cdots (20)$$

ただし，相当平歯車の正面かみあい率 $\varepsilon_{\alpha n}$ は，相当平歯車歯数 z_{v1} と z_{v2} とによって表1から求める。

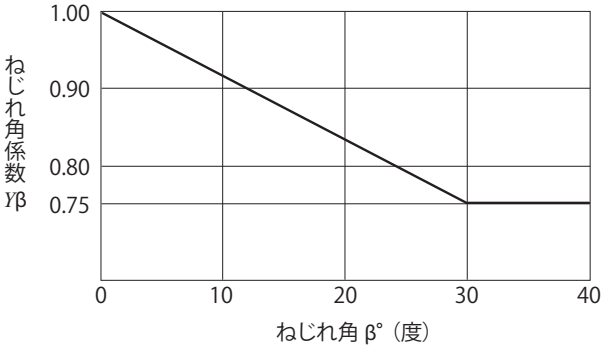
5.1.4 ねじれ角係数 Y_β

ねじれ角係数は次の式によって求める。

$0° \leqq \beta \leqq 30°$ の場合 ：$Y_\beta = 1 - \dfrac{\beta}{120}$ ····· (21)

$\beta \geqq 30°$ の場合 ：$Y_\beta = 0.75$ ····· (22)

図2 ねじれ角係数



5.1.5 寿命係数 K_L

寿命係数は表2によって求める。

表2 寿命係数 K_L

繰返し回数	かたさ (1) (2) HB120 - 220	かたさ (2) HB221以上	浸炭歯車
10000以下	1.4	1.5	1.5
100000前後	1.2	1.4	1.5
10^6前後	1.1	1.1	1.1
10^7以上	1.0	1.0	1.0

注 (1) 鋳鋼歯車はこの欄を用いる。
(2) 高周波焼入れ歯車は心部のかたさとする。

ここで繰返し回数とは寿命期間中にかみ合う回数である。ただし，繰返し回数不詳の場合は K_L =1.0とする。

図1　歯形係数図表（表3のNo.1）

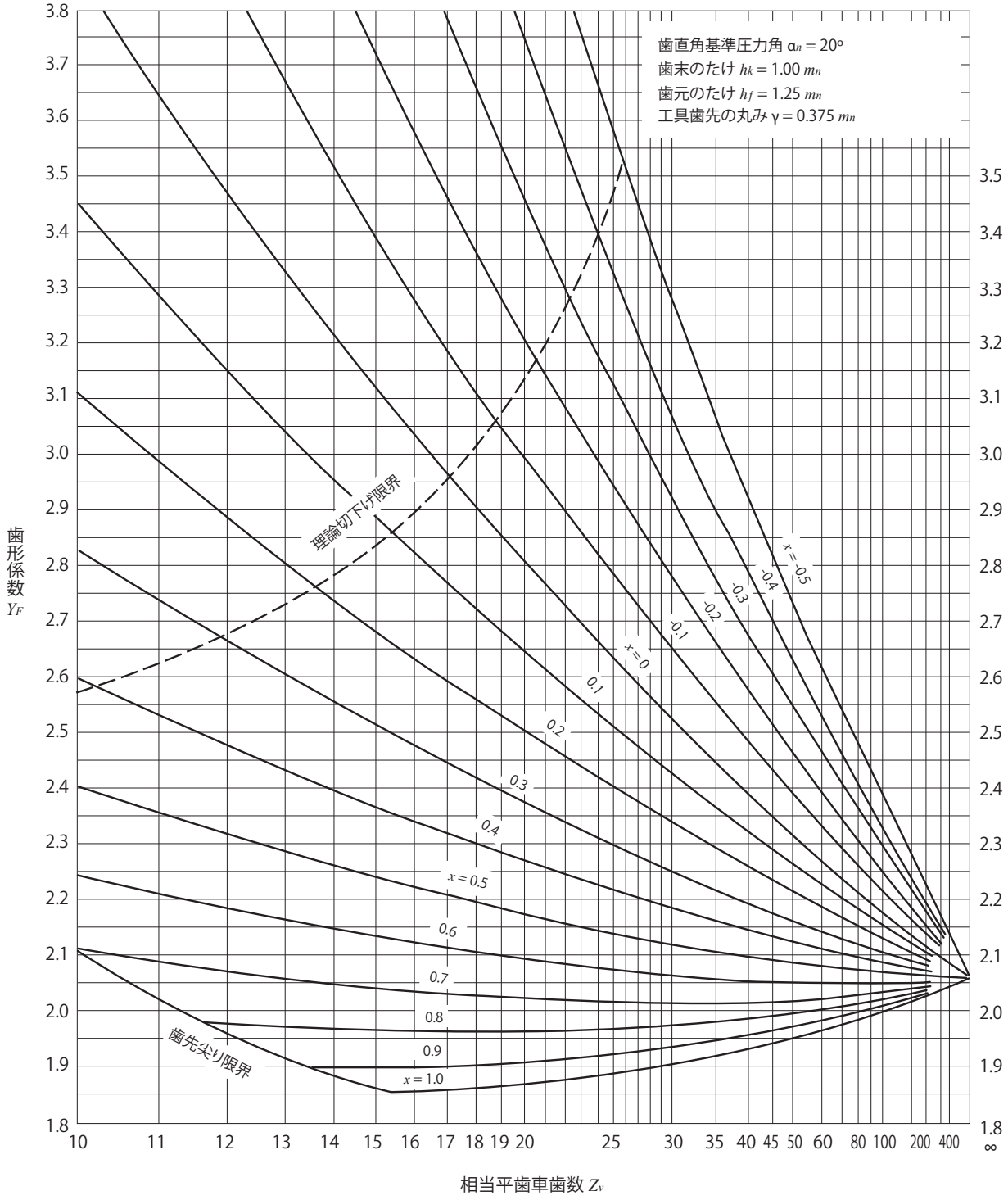
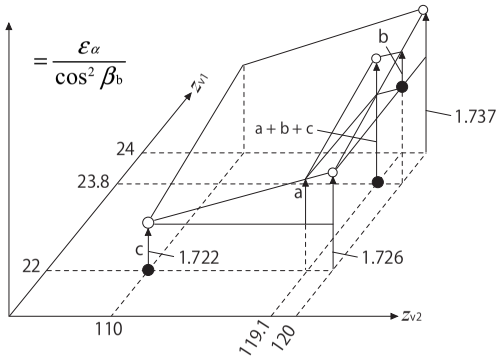


表1　標準平歯車の正面かみあい率 ε_α

	17	18	19	20	21	22	24	25	26	28	30	32	34	36	38	40	42	45	48	50	52	55	58	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
17	1.515																																							
18	1.522	1.529																																						
19	1.530	1.537	1.544																																					
20	1.536	1.543	1.550	1.557																																				
21	1.542	1.549	1.556	1.563	1.569																																			
22	1.548	1.555	1.562	1.569	1.575	1.581																																		
24	1.558	1.566	1.573	1.579	1.586	1.591	1.602																																	
25	1.563	1.571	1.578	1.584	1.590	1.596	1.607	1.612																																
26	1.568	1.575	1.582	1.589	1.595	1.601	1.611	1.616	1.621																															
28	1.576	1.584	1.591	1.597	1.604	1.609	1.620	1.625	1.629	1.638																														
30	1.584	1.592	1.599	1.605	1.611	1.617	1.628	1.633	1.637	1.646	1.654																													
32	1.591	1.599	1.606	1.612	1.618	1.624	1.635	1.640	1.644	1.653	1.661	1.668																												
34	1.598	1.605	1.612	1.619	1.625	1.631	1.641	1.646	1.651	1.659	1.667	1.674	1.681																											
36	1.604	1.611	1.618	1.625	1.631	1.637	1.647	1.652	1.657	1.665	1.673	1.680	1.687	1.692																										
38	1.609	1.617	1.624	1.630	1.636	1.642	1.653	1.658	1.662	1.671	1.678	1.686	1.692	1.698	1.703																									
40	1.614	1.622	1.629	1.635	1.641	1.647	1.658	1.663	1.667	1.676	1.684	1.691	1.697	1.703	1.708	1.714																								
42	1.619	1.626	1.633	1.640	1.646	1.652	1.662	1.667	1.672	1.680	1.688	1.695	1.702	1.708	1.713	1.718	1.723																							
45	1.625	1.633	1.640	1.646	1.652	1.658	1.669	1.674	1.678	1.687	1.695	1.702	1.708	1.714	1.720	1.725	1.729	1.736																						
48	1.631	1.639	1.646	1.652	1.658	1.664	1.675	1.680	1.684	1.693	1.701	1.708	1.714	1.720	1.725	1.731	1.735	1.742	1.748																					
50	1.635	1.642	1.649	1.656	1.662	1.668	1.678	1.683	1.688	1.696	1.704	1.711	1.718	1.724	1.729	1.734	1.739	1.745	1.751	1.755																				
52	1.638	1.646	1.653	1.659	1.665	1.671	1.682	1.687	1.691	1.700	1.707	1.715	1.721	1.727	1.732	1.737	1.742	1.749	1.754	1.758	1.761																			
55	1.643	1.650	1.657	1.664	1.670	1.676	1.686	1.691	1.696	1.704	1.712	1.719	1.726	1.732	1.737	1.742	1.747	1.753	1.759	1.763	1.766	1.771																		
58	1.647	1.655	1.662	1.668	1.674	1.680	1.691	1.696	1.700	1.709	1.716	1.724	1.730	1.736	1.741	1.746	1.751	1.758	1.763	1.767	1.770	1.775	1.779																	
60	1.650	1.657	1.664	1.671	1.677	1.683	1.693	1.698	1.703	1.711	1.719	1.726	1.733	1.739	1.744	1.749	1.754	1.760	1.766	1.770	1.773	1.778	1.782	1.785																
65	1.656	1.663	1.670	1.677	1.683	1.689	1.699	1.704	1.709	1.717	1.725	1.732	1.739	1.745	1.750	1.755	1.760	1.766	1.772	1.776	1.779	1.784	1.788	1.791	1.797															
70	1.661	1.669	1.676	1.682	1.688	1.694	1.705	1.710	1.714	1.723	1.731	1.738	1.744	1.750	1.756	1.761	1.765	1.772	1.778	1.781	1.785	1.789	1.794	1.796	1.802	1.808														
75	1.666	1.673	1.680	1.687	1.693	1.699	1.710	1.714	1.719	1.728	1.735	1.742	1.749	1.755	1.760	1.765	1.770	1.777	1.782	1.786	1.789	1.794	1.798	1.801	1.807	1.812	1.817												
80	1.670	1.678	1.685	1.691	1.697	1.703	1.714	1.719	1.723	1.732	1.740	1.747	1.753	1.759	1.765	1.770	1.774	1.781	1.787	1.790	1.794	1.798	1.803	1.805	1.811	1.817	1.821	1.826											
90	1.678	1.685	1.692	1.699	1.705	1.711	1.721	1.726	1.731	1.739	1.747	1.754	1.760	1.766	1.772	1.777	1.782	1.788	1.794	1.798	1.801	1.806	1.810	1.813	1.819	1.824	1.829	1.833	1.840										
100	1.684	1.691	1.698	1.705	1.711	1.717	1.727	1.732	1.737	1.745	1.753	1.760	1.767	1.773	1.778	1.783	1.788	1.794	1.800	1.804	1.807	1.812	1.816	1.819	1.825	1.830	1.835	1.839	1.846	1.853									
110	1.689	1.696	1.703	1.710	1.716	1.722	1.732	1.737	1.742	1.750	1.758	1.765	1.772	1.778	1.783	1.788	1.793	1.799	1.805	1.809	1.812	1.817	1.821	1.824	1.830	1.835	1.840	1.844	1.852	1.858	1.863								
120	1.693	1.701	1.708	1.714	1.720	1.726	1.737	1.742	1.746	1.755	1.762	1.770	1.776	1.782	1.787	1.792	1.797	1.804	1.809	1.813	1.816	1.821	1.825	1.828	1.834	1.840	1.844	1.849	1.856	1.862	1.867	1.871							
130	1.697	1.704	1.711	1.718	1.724	1.730	1.740	1.745	1.750	1.758	1.766	1.773	1.780	1.786	1.791	1.796	1.801	1.807	1.813	1.817	1.820	1.825	1.829	1.832	1.838	1.843	1.848	1.852	1.860	1.866	1.871	1.875	1.879						
140	1.700	1.708	1.715	1.721	1.727	1.733	1.744	1.749	1.753	1.762	1.769	1.777	1.783	1.789	1.794	1.799	1.804	1.811	1.816	1.820	1.823	1.828	1.832	1.835	1.841	1.847	1.851	1.856	1.863	1.869	1.874	1.878	1.882	1.885					
150	1.703	1.710	1.717	1.724	1.730	1.736	1.747	1.751	1.756	1.765	1.772	1.779	1.786	1.792	1.797	1.802	1.807	1.813	1.819	1.823	1.826	1.831	1.835	1.838	1.844	1.849	1.854	1.858	1.866	1.872	1.877	1.881	1.885	1.888	1.891				
160	1.706	1.713	1.720	1.727	1.733	1.738	1.749	1.754	1.759	1.767	1.775	1.782	1.788	1.794	1.800	1.805	1.810	1.816	1.822	1.825	1.829	1.834	1.838	1.840	1.847	1.852	1.857	1.861	1.868	1.874	1.879	1.884	1.888	1.891	1.894	1.896			
170	1.708	1.715	1.722	1.729	1.735	1.741	1.751	1.756	1.761	1.769	1.777	1.784	1.791	1.797	1.802	1.807	1.812	1.818	1.824	1.828	1.831	1.836	1.840	1.843	1.849	1.854	1.859	1.863	1.871	1.877	1.882	1.886	1.890	1.893	1.896	1.898	1.901		
180	1.710	1.717	1.724	1.731	1.737	1.743	1.753	1.758	1.763	1.771	1.779	1.786	1.793	1.799	1.804	1.809	1.814	1.820	1.826	1.830	1.833	1.838	1.842	1.845	1.851	1.856	1.861	1.865	1.873	1.879	1.884	1.888	1.892	1.895	1.898	1.901	1.903	1.905	
190	1.712	1.719	1.726	1.733	1.739	1.745	1.755	1.760	1.765	1.773	1.781	1.788	1.795	1.800	1.806	1.811	1.816	1.822	1.828	1.832	1.835	1.840	1.844	1.847	1.853	1.858	1.863	1.867	1.874	1.881	1.886	1.890	1.894	1.897	1.900	1.902	1.905	1.907	1.909
200	1.713	1.721	1.728	1.734	1.741	1.746	1.757	1.762	1.766	1.775	1.783	1.790	1.796	1.802	1.808	1.813	1.817	1.824	1.830	1.833	1.837	1.841	1.846	1.848	1.854	1.860	1.865	1.869	1.876	1.882	1.887	1.892	1.895	1.899	1.902	1.904	1.906	1.908	1.910	1.912

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{{r_{a1}}^2 - {r_{b1}}^2} + \sqrt{{r_{a2}}^2 - {r_{b2}}^2} - a \bullet \sin\alpha_\omega}{m\pi\cos\alpha}$$

$$= \frac{\varepsilon_\alpha}{\cos^2\beta_b}$$



はすば歯車の正面のかみあい率の計算例

例　$z_1 = 20, z_2 = 100, \beta = 19°22'12''$のはすば歯車$\varepsilon_\alpha$を求める。

まず式（18）によって，$Z_{v1} = 23.8, Z_{v2} = 119.1$ を求め表1より

22と110とのかみあいでは　ε_α=1.722 ┐差0.004
22と120　〃　ε_α=1.726 ┘
24と120　〃　ε_α=1.737 ┐差0.011

$$a = 0.004 \times \frac{119.1 - 110}{120 - 110} = 0.00364$$

$$b = 0.011 \times \frac{23.8 - 22}{24 - 22} = 0.0099$$

$a + b + c = 1.73554$

$c = 22$ と 110 との $\varepsilon\alpha$は1.722
式21によって $\cos^2\beta_b = 0.900286478$
以上より $\varepsilon\alpha$は
$\varepsilon\alpha = 1.73554 \times 0.90286478 = 1.567$
となる（なお，理論値は1.568である）。

5.1.6 歯元応力に対する寸法係数 K_{FX}

歯形が大きくなると，曲げ強さが影響をうけるが，正確にきめるだけの資料が乏しいのでいまのところ1.00とする。

5.1.7 動荷重係数 K_v

動荷重係数は歯車の精度及び基準ピッチ円上の周速によって表3から求める。

表3　動荷重係数 K_v

JIS B 1702による歯車精度等級		基準ピッチ円上の周速（m/s）						
歯　形		1以下	1を超え3以下	3を超え5以下	5を超え8以下	8を超え12以下	12を超え18以下	18を超え25以下
非修整	修正整							
	1	-	-	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3
1	2	-	1.0	1.05	1.1	1.2	1.3	1.5
2	3	1.0	1.1	1.15	1.2	1.3	1.5	-
3	4	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	-	-
4	-	1.0	1.3	1.4	1.5	-	-	-
5	-	1.1	1.4	1.5	-	-	-	-
6	-	1.2	1.5	-	-	-	-	-

5.1.8 過負荷係数 K_0

過負荷係数は次の式によって求める。

$$K_O = \frac{\text{実際円周力}}{\text{呼び円周力}(F_t)} \quad \cdots\cdots (23)$$

ただし，実際円周力不詳の場合は表4によって求める。

表4　過負荷係数 K_0

原動機側からの衝撃	被動機械からの衝撃		
	均一負荷	中程度の衝撃	はげしい衝撃
均一負荷（電動機，タービン及び油圧モータなど）	1.0	1.25	1.75
軽度の衝撃（多気筒機関）	1.25	1.5	2.0
中程度の衝撃（単気筒機関）	1.5	1.75	2.25

備考：被動機械からの衝撃が不詳の場合は、表5を参照されたい。

5.1.9 歯元曲げ破損に対する安全率 S_F

歯元曲げ破損に対する安全率は内的及び外的の各種要因によって一定の値に決めることが困難であるが，少なくとも1.2以上であることが必要である。

5.1.10 許容歯元曲げ応力 σ_{Flim}

荷重方向が一定の歯車の許容歯元曲げ応力を表９～10に示す。表に示した硬さの中間値のものについては補間法で決めると良い。荷重方向が両方向の場合，例えば中間歯車とか正逆転を交互またはこれに近い状態でくりかえし，左右両歯が均等かまたはこれに近い程度に負荷をうける歯車については，σ_{Flim} はこれらの表の2/3とする。

硬さまたは心部硬さとして示す値は歯元の中心部の硬さとする。

表5　被動機械負荷分類

被動機械名	負荷分類級別	被動機械名	負荷分類級別	被動機械名	負荷分類級別
かきまぜ機	M	エレベータ	U	石油精油機械	M
送風機	U	押出機	U	製紙機械	M
醸造及び蒸留装置	U	ファン（扇風機）	U	製材機械	H
車両	M	ファン（工業用）	M	ポンプ	M
クラリファイヤ	U	供給機	M	ゴム機械（中負荷）	M
選別機	M	供給機（往復動）	H	ゴム機械（重負荷）	H
窯業機械（中負荷）	M	食品機械	M	水処理機械（軽負荷）	U
〃　（重荷重）	H	ハンマミル	H	水処理機械（中負荷）	M
圧縮機	M	ホイスト	M	スクリーン（流体）	U
コンベヤ（均一負荷）	U	工作機械（主駆動）	M	スクリーン（砂利）	M
コンベヤ（不均一又は重負荷）	M	工作機械（補助駆動）	U	製糖機械	M
クレーン	U	金属加工機械	H	繊維機械	M
クラッシャ	H	回転ミル	M	製鉄機械（熱間圧延）	H
しゅんせつ船（中負荷）	M	タンブラ	H	製鉄機械（冷間圧延）	U
しゅんせつ船（重負荷）	H	ミキサ	M		

注　U:均一負荷，M：中程度の衝撃，H：はげしい衝撃

5.2　歯面強さ計算式における各種係数などの求め方

前節で述べた歯面強さ計算式で用いている各種の係数などを下記に規定する。

5.2.1　歯面強さに対する有効歯幅 b_H（mm）

歯面強さに対する有効歯幅は下記によって求める。

(a)　大小両歯車の歯幅が異なる場合は，狭い方の歯幅を有効歯幅とする。

(b)　歯幅の両端で歯面を逃がした（エンド・リリーフ）場合は，歯幅からそれに相当する歯幅寸法を差し引いたものの中で狭い方を有効歯幅とする。

5.2.2 領域係数 Z_H

領域係数は次の式によって求める。

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos\beta_b \cos\alpha_{wt}}{\cos^2\alpha_t \sin\alpha_{wt}}} = \frac{1}{\cos\alpha_t}\sqrt{\frac{2\cos\beta_b}{\tan\alpha_{wt}}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

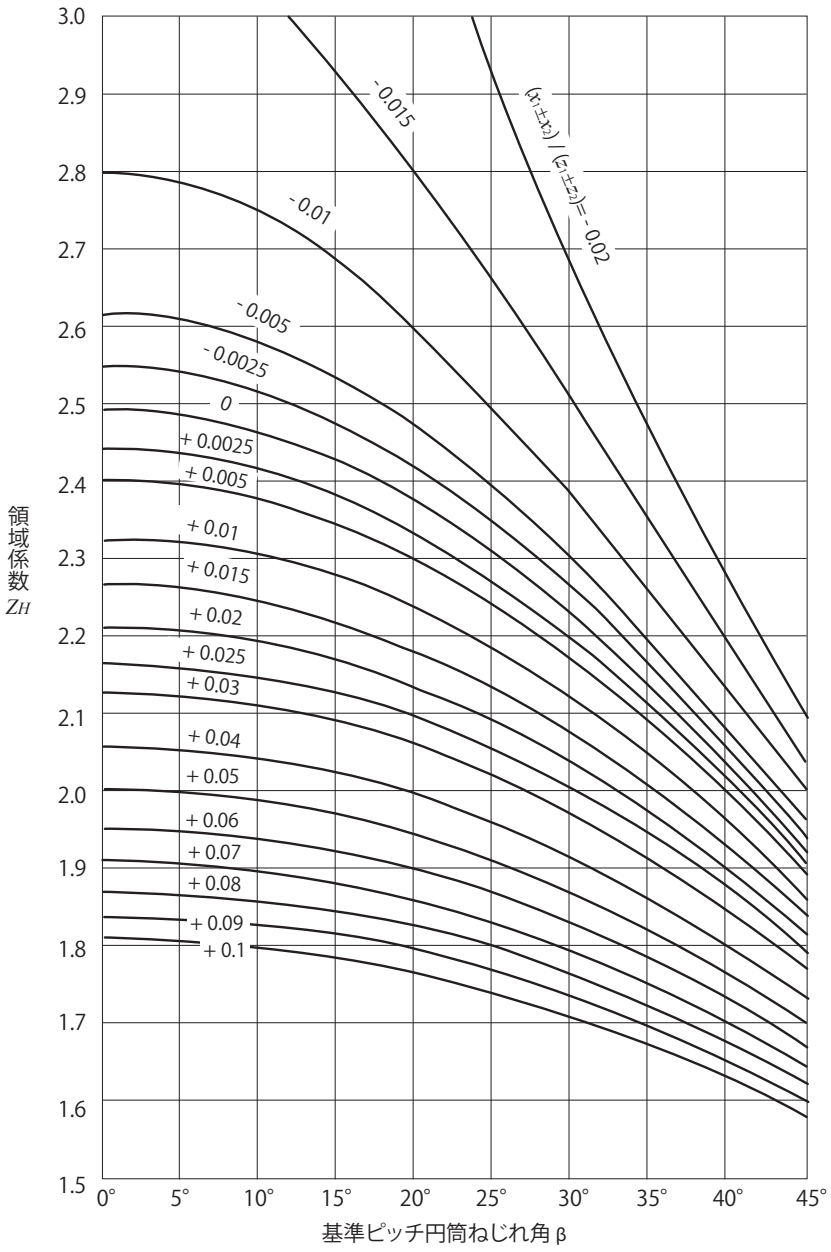
ここに β_b　：基礎円筒ねじれ角（度）

α_{wt}　：正面かみあい圧力角（度）

α_t　：正面基準圧力角（度）

(a) 歯直角基準圧力角がJISで規定されている20° の場合の領域係数を図3によって求める。

図3　領域係数 Z_H（歯直角基準圧力角 $\alpha_n = 20°$）



図において x　：転位係数（はすば歯車の場合は歯直角転位係数とする。また添字の1は小歯車，2は大歯車とする。）

z　：歯　数

β　：基準ピッチ円筒ねじれ角（度）

(b)　上記の式および図にでてくる係数は次の式によって決める。

$$\beta_b = \tan^{-1}(\tan\beta\cos\alpha_t) \quad \cdots\cdots (25)$$

$$\mathrm{inv}\,\alpha_{wt} = 2\tan\alpha_n\left(\frac{x_1 \pm x_2}{z_1 \pm z_2}\right) + \mathrm{inv}\,\alpha_t \quad \cdots\cdots (26)$$

$$\alpha_t = \tan^{-1}(\tan\alpha_n / \cos\beta) \quad \cdots\cdots (27)$$

(c)　領域係数はピッチ点における歯面の曲率半径に基づいて歯面の許容荷重を計算するための係数であるから，平歯車および重なりかみあい率が極めて小さい（ε_β ＜ 約 0.5）はすば歯車で，歯数が少なく（z ≦ 約 23），転位係数もあまり大きくない場合には，最悪荷重点における相対曲率半径がピッチ点のそれに比べてやや小さく，このままでは適用できない。この場合については本規格の解説の4.2.2項を参照して，最悪荷重点におけるヘルツ応力を調べる必要がある。

5.2.3 材料定数係数 Z_M

材料定数係数は次の式によって求める。

$$Z_M = \sqrt{\frac{1}{\pi\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu 2^2}{E_2}\right)}} \quad \cdots\cdots (28)$$

ここに ν　：ポアソン比

E　：縦弾性係数（ヤング率）(kgf/mm²)

次に主要歯車材料の組み合わせについて Z_M, を表6に示す。

5.2.4 かみあい率係数 Z_ε

かみあい率係数は次の式によって求める。（図4参照）

平歯車　：$Z_\varepsilon = 1.0$ ……（29）

図4かみあい率係数

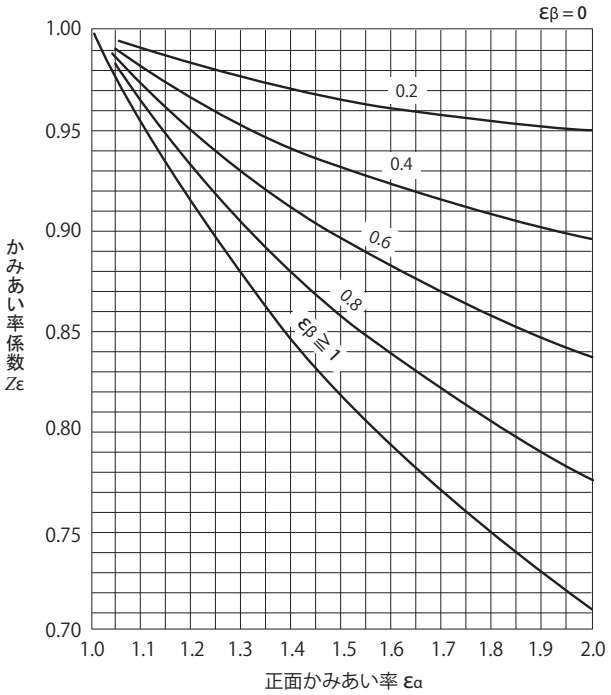


表6　材料定数係数 Z_M

歯車				相手歯車				材料定数係数 Z_M (kgf/mm²)$^{0.5}$
材料	記号	縦弾性係数 E kgf/mm²	ポアソン比 ν	材料	記号	縦弾性係数 E kgf/mm²	ポアソン比 ν	
構造用鋼	*(1)	21000	0.3	構造用鋼	*(1)	21000	0.3	60.6
				鋳鋼	SC	20500		60.2
				球状黒鉛鋳鉄	FCD	17600		57.9
				ねずみ鋳鉄	FC	12000		51.7
鋳鋼	SC	20500		鋳鋼	SC	20500		59.9
				球状黒鉛鋳鉄	FCD	17600		57.6
				ねずみ鋳鉄	FC	12000		51.5
球状黒鉛鋳鉄	FCD	17600		球状黒鉛鋳鉄	FCD	17600		55.5
				ねずみ鋳鉄	FC	12000		50.0
ねずみ鋳鉄	FC	12000		ねずみ鋳鉄	FC	12000		45.8

注（1）＊構造用鋼はS～C，SNC，SNCM，SCr，SCMなどとする。

はすば歯車： $Z_\varepsilon = \sqrt{1-\varepsilon_\beta + \frac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_\alpha}}$ $\varepsilon_\beta \leqq 1$の場合……（30）

： $Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}}$ $\varepsilon_\beta > 1$の場合……（31）

ここに ε_α ：正面かみあい率（5.1.3項及び表1参照）
ε_β ：重なりかみあい率

5.2.5 歯面強さに対するねじれ角係数 Z_β

歯面強さに対するねじれ角係数は正確に規定することが困難であるから

$Z_\beta = 1.0$……（32）

とする。

5.2.6 歯面強さに対する寿命係数 K_{HL}

歯面強さに対する寿命係数は表7によって求める。

表7　歯面強さに対する寿命係数

繰返し回数	歯面強さに対する寿命係数
10,000以下	1.5
100,000前後	1.3
10^6前後	1.15
10^7以上	1.0

備考 1. ここに繰返し回数とは寿命期間中にかみ合う回数である。
2. 遊び歯車ように1回転に2回かみ合うが，かみあい歯面が異なる場合は1回転につき1回と数える。
3. 正逆転を交互またはこれに近い状態で繰返す場合は，両歯面のうちより大きい負荷をうける歯面のくりかえし回数による。

ただし，繰返し回数が不詳の場合は

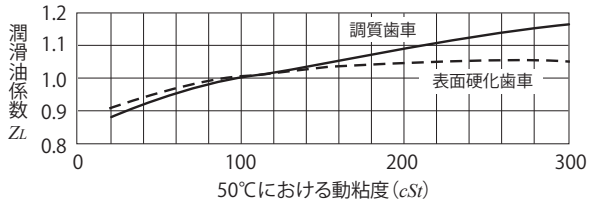
$K_{HL} = 1.0$……（33）

とする。

5.2.7 潤滑油係数 Z_L

潤滑油係数は，下図のごとく2種の場合について，使用する潤滑油の50℃における動粘度（cSt）に基づいて，図5から求める。

図5　潤滑油係数



（1）調質歯車 (1)：図の実線を用いる。
（2）表面硬化歯車: 図の破線を用いる。
注（1）調質歯車には焼入焼もどし歯車および焼ならし歯車を含む。
備考　鋳鋼歯車は調質歯車に準ずる。

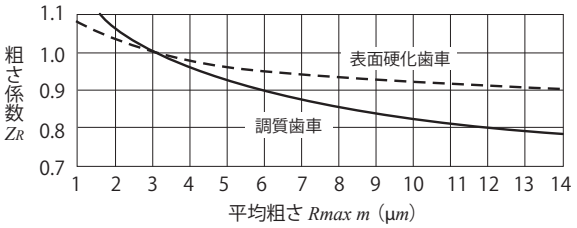
5.2.8 粗さ係数 Z_R

粗さ係数は，下図のごとく2種の場合について「歯面の平均粗さ R_{maxm}（μm）に基づいて図6から求める。ここに平均粗さ R_{maxm} は，小歯車と大歯車のそれぞれの歯面粗さ R_{max1}, と R_{max2} 及び中心距離 a（mm）から次式によって求める。

$$R_{maxm} = \frac{R_{max1} + R_{max2}}{2} \sqrt[3]{\frac{100}{a}} (\mu m) \quad \cdots\cdots (34)$$

（1）調質歯車 (1)：図の実線を用いる。
（2）表面硬化歯車: 図の破線を用いる。
注（1）及び備考は5.2.7項の通りとする。

図6　粗さ係数

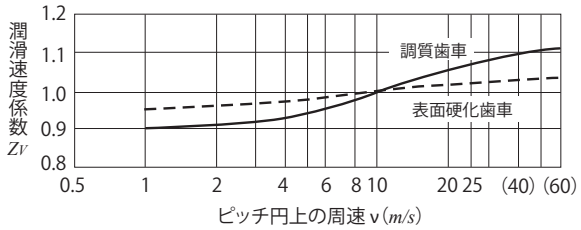


5.2.9 潤滑速度係数 Z_V

潤滑速度係数は，下記のごとく2種の場合について，基準ピッチ円上の周速 v（m/s）に基づいて図7から求める。

（1）調質歯車 (1)：図の実線を用いる。
（2）表面硬化歯車：図の破線を用いる。
注（1）及び備考は5.2.7項の通りとする。

図7　潤滑速度係数



5.2.10 硬さ比係数 Z_W

硬さ比係数は，焼入れ研削した小歯車 (1) とかみ合う大歯車のみに適用し，次の式によって求める。（図8参照）

$$Z_W = 1.2 - \frac{HB_2 - 130}{1700} \quad \cdots\cdots (35)$$

ここに HB_2：大歯車の歯面の硬さ（ブリネル硬さで表した）

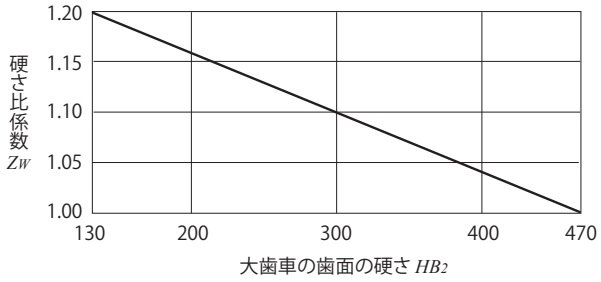
ただし $130 \leqq HB_2 \leqq 470$

この条件に合わない場合，及び小歯車については

$Z_W = 1.0$……（36）

とする。

図8　硬さ比係数



注（1）ここに規定した大歯車とかみ合う小歯車の歯面の粗さは $R_{MAX1} \leqq 6\mu m$ とする。

5.2.11 歯面の強さに対する寸法係数 K_{HX}

歯形および歯車の寸法が大きくなると，歯面の強さが部分的に不均一になる傾向が増加するが，これを正確に規定する十分な資料に乏しいから，現在のところ

$K_{HX} = 1.0$ ……（37）

5.2.12 歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数 $K_{H\beta}$

歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数は次によって求める。

(a)　負荷時に歯当たりが予測できない場合

歯車の支持方法と，歯幅 b と小歯車の基準ピッチ円直径 d_1 との比（b/d_1）の値によって表8から求める。

(b)　負荷時の歯当りが良好な場合

負荷時の歯当りに影響するすべての原因を解析して，歯車に適切な歯すじ修整，ねじれ角修整，軸の平行度修整を施し，更に歯のなじみ運転を行って，負荷運転中の歯当りを確保できる場合は，歯すじ修整の計算に用いた負荷（基準値）に対しては，修整の程度に応じて次のようにとることができる。

$K_{H\beta} = 1.0 \sim 1.2$ ……（38）

5.2.13 動荷重係数 K_V（共通）

動荷重係数は歯車の精度及び基準ピッチ円上の周速によって5.1.7項の表3から求める。

5.2.14 過負荷係数 K_o（共通）

過負荷係数は5.1.8項の表4から求める。

5.2.15 歯面損傷（ピッチング）に対する安全率 S_H

歯面損傷（ピッチング）に対する安全率は，内的及び外的の各種要因によって一定の値に決めることが困難であるが，少なくとも1.15以上であることが必要である。

表8　歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数　$K_{H\beta}$

$\frac{b}{d_1}$	歯車の支持方法			
	両側支持			片持ち支持
	両軸受に対称	一方の軸受に近い，軸のこわさ大	一方の軸受に近い，軸のこわさ小	
0.2	1.0	1.0	1.1	1.2
0.4	1.0	1.1	1.3	1.45
0.6	1.05	1.2	1.5	1.65
0.8	1.1	1.3	1.7	1.85
1.0	1.2	1.45	1.85	2.0
1.2	1.3	1.6	2.0	2.15
1.4	1.4	1.8	2.1	-
1.6	1.5	2.05	2.2	-
1.8	1.8	-	-	-
2.0	2.1	-	-	-

備考 1. b は平歯車およびはすば歯車では有効歯幅にとる。やまば歯車では実歯幅と中央部にある工具の逃げみぞの幅をふくめた歯幅方向の長さとする。

2. 無負荷のときの歯当りは良好でなければならない。

3. 遊び歯車や大歯車と2か所でかみ合う小歯車（中間歯車）には適用できない。

5.2.16 許容ヘルツ応力 σ_{Hlim}

歯車の許容ヘルツ応力を表9 ～ 12に表す。表に示した硬さの中間値のものについては補間法で求めるとよい。なお，歯面の硬さとはピッチ円付近の硬さをいう。

表9　表面硬化しない歯車

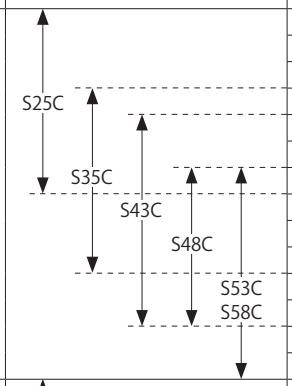
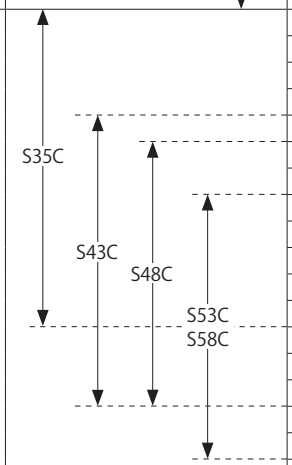
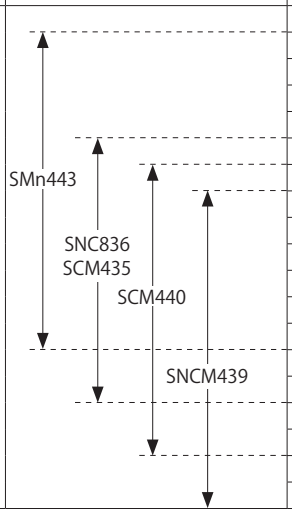
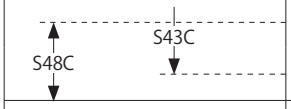
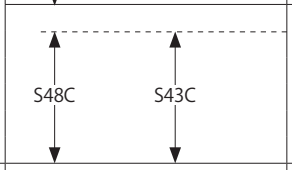
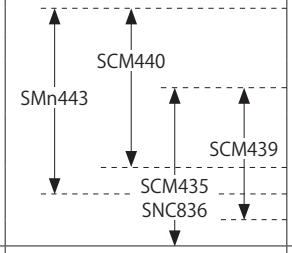
材料（矢印は参考）		歯面の硬さ		引張強さ下限 kgf/mm² （参考）	σFlim kgf/mm²	σHlim kgf/mm²
		HB	HV			
鋳鋼	SC37 SC42 SC46 SC49 SCC3			37	10.4	34
				42	12.0	35
				46	13.2	36
				49	14.2	37
				55	15.8	39
				60	17.2	40
構造用炭素鋼焼ならし		120	126	39	13.8	41.5
		130	136	42	14.8	42.5
		140	147	45	15.8	44
		150	157	48	16.5	45
		160	167	51	17.6	46.5
		170	178	55	18.4	47.5
		180	189	58	19.0	49
		190	200	61	19.5	50
		200	210	64	20	51.5
		210	221	68	20.5	52.5
		220	231	71	21	54
		230	242	74	21.5	55
		240	252	77	22	56.5
		250	263	81	22.5	57.5
構造用炭素鋼焼入焼戻し		160	167	51	18.2	51
		170	178	55	19.4	52.5
		180	189	58	20.2	54
		190	200	61	21	55.5
		200	210	64	22	57
		210	221	68	23	58.5
		220	231	71	23.5	60
		230	242	74	24	61
		240	252	77	24.5	62,5
		250	263	81	25	64
		260	273	84	25.5	65.5
		270	284	87	26	67
		280	295	90	26	68.5
		290	305	93	26.5	70
		300	316	97		71
		310	327	100		72.5
		320	337	103		74
		330	347	106		75.5
		340	358	110		77
		350	369	113		78.5
構造用合金鋼焼入焼戻し		220	231	71	25	70
		230	242	74	26	71.5
		240	252	77	27.5	73
		250	263	81	28.5	74.5
		260	273	84	29.5	76
		270	284	87	31	77.5
		280	295	90	32	79
		290	305	93	33	81
		300	316	97	34	82.5
		310	327	100	35	84
		320	337	103	36.5	85.5
		330	347	106	37.5	87
		340	358	110	39	88.5
		350	369	113	40	90
		360	380	117	41	92
		370	391	121		93.5
		380	402	126		95
		390	413	130		96.5
		400	424	135		98

表9　高周波焼入れ歯車（続き）

材料（矢印は参考）		高周波焼入前の熱処理条件	心部硬さ HB	心部硬さ HV	歯面硬さ (1) HV	σF_{lim} (2) kgf/mm²	σH_{lim} kgf/mm²
構造用炭素鋼		焼ならし	160	167	550以上	21	
			180	189	〃	21	
			220	231	〃	21.5	
			240	252	〃	22	
		焼　入 焼戻し	200	210	550以上	23	
			210	221	〃	23.5	
			220	231	〃	24	
			230	242	〃	24.5	
			240	252	〃	25	
			250	263	〃	25	
構造用合金鋼		すべて 焼　入 焼戻し	230	242	550以上	27	
			240	252	〃	28	
			250	263	〃	29	
			260	273	〃	30	
			270	284	〃	31	
			280	295	〃	32	
			290	305	〃	33	
			300	316	〃	34	
			310	327	〃	35	
			320	337	〃	36.5	
構造用炭素鋼	S43C S48C	焼ならし			420		77
					440		80
					460		82
					480		85
					500		87
					520		90
					540		92
					560		93.5
					580		95
					600以上		96
		焼　入 焼戻し			500		96
					520		99
					540		101
					560		103
					580		105
					600		106.5
					620		107.5
					640		108.5
					660		109
					680以上		109.5
構造用合金鋼	SMn443 SCM435 SCM440 SNC836 SNCM439	焼　入 焼戻し			500		109
					520		112
					540		115
					560		117
					580		119
					600		121
					620		123
					640		124
					660		125
					680以上		126

注（1）歯面硬さが低い場合は，σF_{lim}の値は表面硬化しない歯車の相当品の値を使う。
（2）σF_{lim} の値は，焼割れ，焼入れ深さの不足，または不均一等の欠陥がある場合には，表の値より著しく低下するので注意を要する。表の値は歯底まで完全に焼入れされた場合を示し，歯底には焼きが入っていない場合は，この値の75%とする。

表10　浸炭焼入れ歯車

材料（矢印は参考）		有効浸炭深さ (2)	心部硬さ (1)		歯面の硬さ	σ_{Flim} (1)	σ_{Hlim}
			HB	HV	HV	kgf/mm²	kgf/mm²
機械構造用炭素鋼	S15C S15CK		140	147		18.2	
			150	157		19.6	
			160	167		21	
			170	178		22	
			180	189		23	
			190	200		24	
		比較的浅い場合（A）			580		115
					600		117
					620		118
					640		119
					660		120
					680		120
					700		120
					720		119
					740		118
					760		117
					780		115
					800		113
機械構造用合金鋼	SCM415 SCM415 SCM420 SNC815 SNCM420		220	231		34	
			230	242		36	
			240	252		38	
			250	263		39	
			260	273		41	
			270	284		42.5	
			280	295		44	
			290	305		45	
			300	316		46	
			310	327		47	
			320	337		48	
			330	347		49	
			340	358		50	
			350	369		51	
			360	380		51.5	
			370	390		52	
	SCM415(21) SCM420(22) SNC415(21) SNC815(22) SNCM420(23)	比較的浅い場合（A）			580		131
					600		134
					620		137
					640		138
					660		138
					680		138
					700		138
					720		137
					740		136
					760		134
					780		132
					800		130
		比較的深い場合（B以上）			580		156
					600		160
					620		164
					640		166
					660		166
					680		166
					700		164
					720		161
					740		158
					760		154
					780		150
					800		146

注（1）有効浸炭深さの比較的浅い場合とは下表のA程度の場合をいい，比較的深い場合とはB程度以上の場合をいう。有効浸炭深さはHV513（HRC50）の硬さまでの深さとする。なお研削歯車においては研削後の深さとする。

モジュール		1.5	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25
深さ（mm）	A	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8
	B	0.3	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.4	2.0	2.5	3.4

備考：とくに大歯車どうしのかみあいにおいては，歯面の面圧による歯内部の最大せん断応力の発生点が深く，浸炭効果が及ばぬこともあるので，このような場合は，安全率 S_H を普通より大きめにとるように注意する。

表11　窒化歯車 (1)

材料		歯面かたさ（参考）	σ_{Hlim} kgf/mm²	
窒化鋼	SACM 645 など	HV 650以上	一般の場合	120
			特に長時間窒化処理した場合	130 ～ 140

注（1）歯面強さ向上のための適切な窒化深さと表面硬さをもつ歯車に適用する。歯面硬さが上記の参考値より著しく低い場合や，歯内部の最大せん断応力の発生点が窒化深さに比較して著しく深い場合には，安全率S_Hを普通より大きめにとるように注意する。

表12　軟窒化歯車 (1)

材料	窒化時間（h）	σ_{Hlim} kgf/mm²		
		相対曲率半径（mm）(2)		
		10以下	10 ～ 20	20以上
構造用炭素鋼及び合金鋼	2	100	90	80
	4	110	100	90
	6	120	110	100

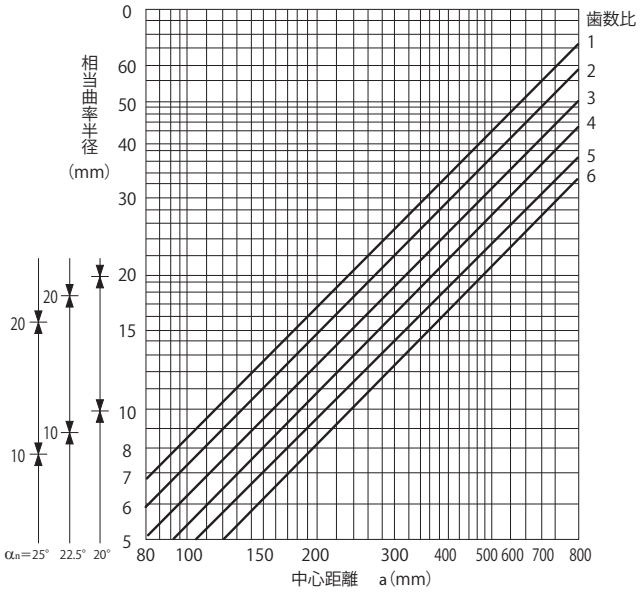
注（1）塩浴軟窒化及びガス軟窒化歯車に適用する。
（2）相対曲率半径は図9を用いて求める。
備考　心部は適切に調質された歯車材料とする。

表13　窒化歯車 (1)

材料	歯面硬さ（参考）	心部硬さ		σ_{Flim}
		HB	HV	kgf/mm²
窒化鋼以外の構造用合金鋼	HV650以上	220	231	30
		240	252	33
		260	273	36
		280	295	38
		300	316	40
		320	337	42
		340	358	44
		360	380	46
窒化鋼 SACM645	HV650以上	220	231	32
		240	252	35
		260	273	38
		280	295	41
		300	316	44

注（1）歯面強さの向上のための適切な窒化深さをもつ歯車に適用する。ただし，軟窒化などで窒化層が極端に薄い場合については表面硬化しない歯車の表の$\sigma_{F\,lim}$を用いる。

図9　相対曲率半径



10.2 かさ歯車の強度計算式

かさ歯車の曲げ強さ計算式　JGMA 403-01（1976）
かさ歯車の歯面強さ計算式　JGMA 404-01（1977）

1. 適用範囲（共通）

1.1　この規格は，一般産業機械において動力伝達に使用される次の範囲のかさ歯車 (1) に適用する。

外端正面モジュール　：1.5 ～ 25 mm
外端ピッチ円直径　：1,600 mm 以下（すぐばかさ歯車）
1,000 mm 以下（まがりばかさ歯車）
外端周速　：25 m/s 以下
回転速度　：3,600 min^{-1}以下
軸角　：90°
中央ねじれ角　：35°以下
歯幅　：外端円すい距離の0.3倍，又は外端正面モジュールの10倍のいずれか小さい方以下とする。ただしゼロールベベルギアでは外端円すい距離の0.25倍以下とする。
歯形　：歯直角基準圧力角20°，22.5°および25°とする。
精度　：JIS B 1704（かさ歯車の精度）に規定された1 ～ 6級

注（1）この規格では，すぐばおよびまがりばかさ歯車並びにゼロールベベルギアを対象としている。

1.2.1.　この規格は，1.1で規格したかさ歯車の曲げ許容荷重を計算する場合および歯元曲げ応力を考慮して歯車の寸法を決める場合に使用する。

1.2.2　この規格は，1.1で規定したかさ歯車の歯面許容荷重を計算する場合及び歯面のヘルツ応力を考慮して歯車の寸法を決める場合に使用する。

2 定義

2.1 曲げ強さ

かさ歯車の曲げ許容荷重とは，互いにかみ合って動力を伝達するかさ歯車において，それぞれの歯車の許容歯元曲げ応力に基づいて決められる中央ピッチ円上の呼び許容円周力をいう。

2.2 歯面強さ

かさ歯車の歯面強さとは，進行性ピッチングに対して必要かつ十分な安全度を歯車に与えるために規定する負荷容量をいう。従って歯車の歯面許容荷重とは，互いにかみ合って動力を伝達する歯車において，それぞれの歯車の歯面強さに基づいて決められる中央ピッチ円上の許容円周力をいう。

3. 基礎となる換算式

強さの計算において，中央ピッチ円上の呼び円周力，呼び動力および呼びトルクを求める計算に関係がある換算式を次に示す。

3.1 中央ピッチ円上の呼び円周力 F_{tm}（kgf）

$$F_{tm}=\frac{102P}{v_m}=\frac{1.95\times10^6P}{d_mn} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに P　：呼び動力（kW）
v_m　：中央ピッチ円上の周速（m/s）
d_m　：中央ピッチ円直径（mm）
n　：回転速度（min^{-1}）

$$v_m=\frac{d_mn}{19100} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$d_m=d-b\sin\delta \quad \cdots\cdots (3)$$

ここに d　：ピッチ円直径（mm）
δ　：ピッチ円すい角（度）

又は $$F_{tm}=\frac{2000T}{d_m} \quad \cdots\cdots (4)$$

ここに T　：呼びトルク（kgf・m）

3.2 呼び動力 P（kW）

$$P=\frac{F_{tm}v_m}{102}=5.13\times10^{-7}F_{tm}d_mn \quad \cdots\cdots (5)$$

3.3 呼びトルク T（kgf・m）

$$T=\frac{F_{tm}d_m}{2000} \quad \cdots\cdots (6)$$

又は $$T=\frac{974P}{n} \quad \cdots\cdots (7)$$

4. 強さ計算式

4.1 曲げ強さの計算式

曲げ強さを調べるには，中央ピッチ円上の呼び円周力を基準とする。したがって中央ピッチ円上の呼び円周力が，許容歯元曲げ応力によって計算した，中央ピッチ円上の許容円周力に等しいか，もしくはそれ以下でなければならない。すなわち

$$F_{tm}\leqq F_{tmlim} \quad \cdots\cdots (8)$$

ここに F_{tm} ：中央ピッチ円上の呼び円周力（kgf）
F_{tmlim}：中央ピッチ円上の許容円周力 （kgf），ただし大小両歯車について求めて，そのうちの小さい方を基準とする。

又は，中央ピッチ円上の呼び円周力から求めた歯元曲げ応力が，許容歯元曲げ応力に等しいかもしくはそれ以下でなければならない。すなわち

$$\sigma_F \leqq \sigma_{Flim} \quad \cdots\cdots (9)$$

ここに σ_F ：中央ピッチ円上の呼び円周力から求めた歯元曲げ応力（kgf/mm²）
σ_{Flim}：許容歯元曲げ応力（kgf/mm²）

4.1.1 中央ピッチ円上の許容円周力の計算

次の式によって求める。

$$F_{tmlim} = 0.85\cos\beta_m \sigma_{Flim} mb \frac{R_e - 0.5b}{R_e} \frac{1}{Y_F Y_\varepsilon Y_\beta Y_C} \times \left(\frac{K_L K_{FX}}{K_M K_V K_O}\right) \frac{1}{K_R} \quad \cdots\cdots (10)$$

ここに β_m ：中央ねじれ角（度）
m ：外端正面モジュール（mm）
b ：歯幅（mm）
R_e ：外端円すい距離（mm）
Y_F ：歯形係数
Y_ε ：荷重分配係数
Y_β ：ねじれ角係数
Y_c ：工具直径影響係数
K_L ：寿命係数
K_{FX} ：歯元応力に対する寸法係数
K_M ：歯すじ荷重分布係数
K_v ：動荷重係数
K_0 ：過負荷係数
K_R ：歯元曲げ破損に対する信頼度係数

4.1.2 歯元曲げ応力の計算

次の式によって求める。

$$\sigma_F = F_{tm} \frac{Y_F Y_\varepsilon Y_\beta Y_C}{0.85\cos\beta_m mb} \frac{R_e}{R_e - 0.5b} \left(\frac{K_M K_V K_O}{K_L K_{FX}}\right) K_R \quad \cdots\cdots (11)$$

4.2 歯面強さの計算式

歯面強さを調べるには，中央ピッチ円上の呼び円周力を基準とする。したがって中央ピッチ円上の呼び円周力が，許容ヘルツ応力によって計算した，中央ピッチ円上の許容円周力に等しいか，もしくはそれ以下でなければならない。すなわち

$$F_{tm} \leqq F_{tmlim} \quad \cdots\cdots (12)$$

ここに F_{tm} ：中央ピッチ円上の呼び円周力（kgf）
F_{tmlim}：中央ピッチ円上の許容円周力（kgf），ただし大小両歯車について求めて，そのうちの小さい方を基準とする。

又は，中央ピッチ円上の呼び円周力から求めたヘルツ応力が，許容ヘルツ応力に等しいか，もしくはそれ以下でなければならない。すなわち

$$\sigma_H \leqq \sigma_{Hlim} \quad \cdots\cdots (13)$$

ここに σ_H ：中央ピッチ円上の呼び円周力から求めたヘルツ応力（kgf/mm²）
σ_{Hlim}：許容ヘルツ応力（kgf/mm²）

4.2.1 中央ピッチ円上の許容円周力の計算

次の式によって求める。

$$F_{tmlim} = \left(\frac{\sigma_{Hlim}}{Z_M}\right)^2 \frac{d_1}{\cos\delta_1} \frac{R_e - 0.5b}{R_e} \bullet b \frac{u^2}{u^2+1} \left(\frac{K_{HL} Z_L Z_R Z_V Z_W K_{HX}}{Z_H Z_\varepsilon Z_\beta}\right)^2 \frac{1}{K_{H\beta} K_V K_O} \frac{1}{C_R^2} \quad \cdots\cdots (14)$$

ここに d_1 ：小歯車の外端ピッチ円直径（mm）
b ：歯幅（mm）
u ：歯数比
R_e ：外端円すい距離（mm）
Z_H ：領域係数
Z_M ：材料定数係数
Z_ε ：かみあい率係数
Z_β ：歯面強さに対するねじれ角係数
K_{HL} ：歯面強さに対する寿命係数
Z_L ：潤滑油係数
Z_R ：粗さ係数
Z_V ：潤滑速度係数
Z_W ：硬さ比係数
Z_{HX} ：歯面強さに対する寸法係数
$K_{H\beta}$ ：歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数
K_V ：動荷重係数
K_O ：過負荷係数
C_R ：歯面強さに対する信頼度係数

4.2.2 ヘルツ応力の計算

次の式によって求める。

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\cos\delta_1 F_{tm}}{d_1 b} \frac{u^2+1}{u^2} \frac{R_e}{R_e - 0.5b} \frac{Z_H Z_M Z_\varepsilon Z_\beta}{K_{HL} Z_L Z_R Z_V Z_W K_{HX}}} \times \sqrt{K_{H\beta} K_V K_O}\, C_R \quad \cdots\cdots (15)$$

5 各種係数などの求め方

5.1 かさ歯車の曲げ強さ計算式における各種係数などの求め方

前節で述べたかさ歯車の曲げ強さ計算式で使用している各種係数などを下記に規定する。

5.1.1 歯幅 b

歯幅 b はピッチ円すい上の歯幅とする。大小両歯車の歯幅が異なる場合は狭い方の歯幅を使用する。

5.1.2 歯形係数 Y_F

歯形係数は図1，2によって求める。

(a) 歯直角基準圧力角が20° の場合のみとし，表1のNo.5と6を示す。

図1及び2の歯形係数図表を用いて第1次の値（縦転位のみによる歯形係数の値）Y_{F0} を求め，次に図3から横転位による補正係数 C を求めて

$$Y_F = CY_{F0} \quad \cdots\cdots (16)$$

により Y_F を得る。ただし，横転位をしていない歯形では $Y_F = Y_{F0}$ とする。

a.1 歯形係数図表の一覧表を参考までに表1に示す。本規格を参照ください。

図表を用いるときに相当平歯車歯数 Z_v 及び転位係数 x は次の式によって求める。

$$z_v = \frac{z}{\cos\delta \cos^3 \beta_m} \quad \cdots\cdots (17)$$

ここに δ　：ピッチ円すい角（度）

$$x = \frac{h_a - h_{a0}}{m} \quad \cdots\cdots (18)$$

ここに h_a　：歯車の外端歯末のたけ（mm）

h_{ao}　：表1に示す基準歯形の歯末のたけ（mm）

m　：外端正面モジュール（mm）

a. 2. 工具刃先の丸み γ が0.375m前後のかさ歯車については，許容円周力及び曲げ応力計算式中の定数0.85を1.0に変える (本規格 σ_{Flim} の解説4.1.1参照)。

a. 3. 図1の横転位係数 K は次の式によって求める。

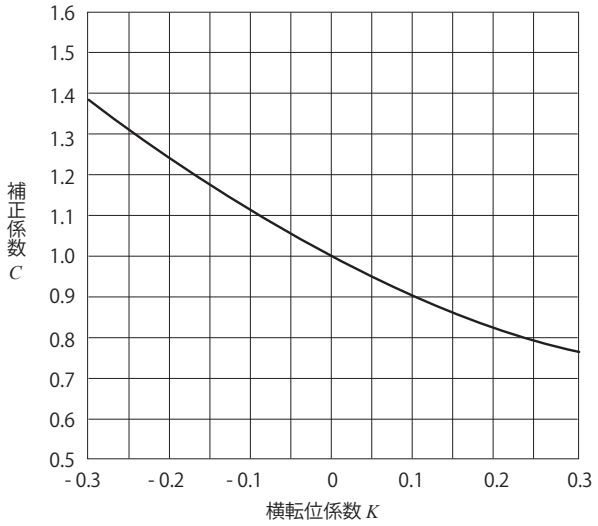
$$K = \frac{1}{m}\left\{ s - 0.5\pi m - \frac{2(h_a - h_{a0})\tan\alpha_n}{\cos\beta_m} \right\} \quad \cdots\cdots (19)$$

ここに s　：歯車の外端正面円弧歯厚（mm）

h_a, h_{ao} 及び m　：(14) 式のものと同じ

ただし，上記の K の式は等高歯の場合には適用しない。

図1　横転位による補正係数



5.1.3 荷重分配係数 Y_ε

荷重分配係数は次の式によって求める。

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} \quad \cdots\cdots (20)$$

ここに ε_α　：正面かみあい率

(*a*)　正面かみあい率は，次の式によって求める。ただし，ゼロールベベルギアについては，すぐばかさ歯車の式を用いるものとする。

表1　歯形係数図表一覧表

図表 No.	正面基準歯形（正面歯厚：0.5πm）						中央ねじれ角
	歯直角基準圧力角 α_n	全歯たけ（外端） h	歯末のたけ（外端） h_{a0}	歯元のたけ（外端） h_{f0}	頂げき（外端） c	工具刃先の丸み半径（歯直角） r	β_m
1	20°	1.888m	0.850m	1.038m	0.188m	0.12m	15°
2							20°
3							25°
4							30°
5							35°
6		2.188m	1.000m	1.188m			0°
7	22.5°	1.888m	0.850m	1.038m	0.188m	0.12m	35°
8		1.788m	0.800m	0.988m			0°
9	25°	1.888m	0.850m	1.038m	0.188m	0.12m	35°
10		1.788m	0.800m	0.988m			0°

図2　歯形係数図表（No.5）

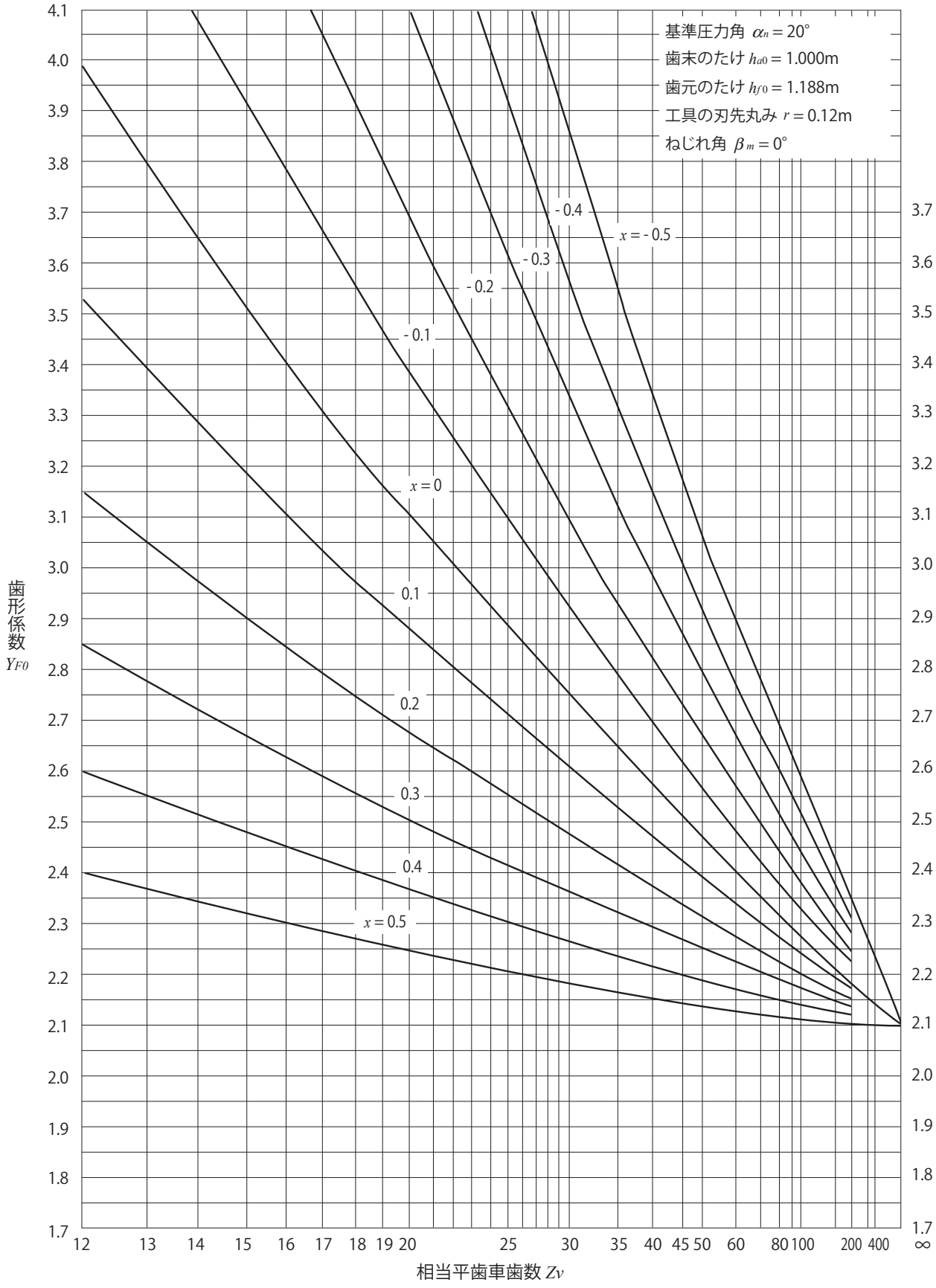
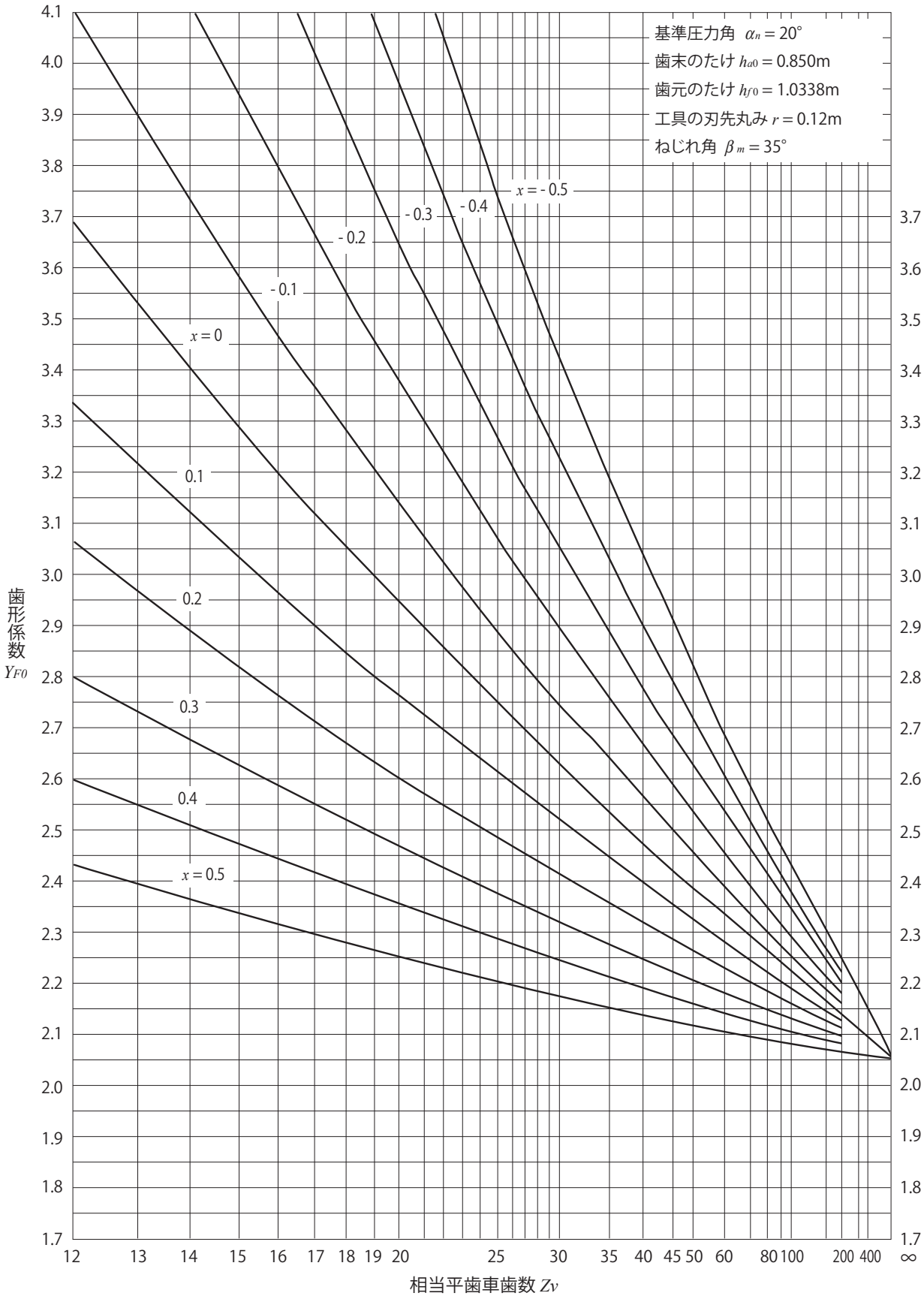


図3　歯形係数図表（No.6）



すぐばかさ歯車

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{R_{ra1}^2 - R_{rb2}^2} + \sqrt{R_{ra2}^2 - R_{rb2}^2} - (R_{r1} + R_{r2})\sin\alpha}{m\pi\cos\alpha} \quad \cdots\cdots (21)$$

ただし歯数比 $u \geqq 2$ の場合には次の簡易計算式 (1) を用いる。

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{R_{ra1}^2 - R_{rb1}^2} + h_{a2}\mathrm{cosec}\alpha - R_{r1}\sin\alpha}{m\pi\cos\alpha} \quad \cdots\cdots (22)$$

まがりばかさ歯車

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{R_{ra1}^2 - R_{rb1}^2} + \sqrt{R_{ra2}^2 - R_{rb2}^2} - (R_{r1} + R_{r2})\sin\alpha_t}{m\pi\cos\alpha_t} \quad \cdots\cdots (23)$$

ただし歯数比 $\nu \geqq 2$ の場合には次の簡易計算式 (1) を用いる。

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{R_{ra1}^2 - R_{rb1}^2} + h_{a2}\mathrm{cosec}\alpha_t - R_{r1}\sin\alpha_t}{m\pi\cos\alpha_t} \quad \cdots\cdots (24)$$

注（1）　式（21）及び（23）の大歯車の項の計算が煩雑になるので大歯車をラックとみなしての簡易計算式を示す。

ここに（図4参照）

$R\upsilon_a$: 背円すい上の相当平歯車の歯先円径（mm）

$= R\upsilon + h_a = \gamma\sec\delta + h_a$

$R\upsilon_b$: 背円すい上の相当平歯車の基礎円半径（mm）

すぐばかさ歯車の場合 $= R_{\upsilon\cos\alpha} = \gamma\sec\delta\cos\alpha$

まがりばかさ歯車の場合 $= R_{\upsilon\cos\alpha_t} = \gamma\sec\delta\cos\alpha_t$

$R\upsilon$: 背円すい距離（mm）$= \gamma\sec\delta$

γ : ピッチ円半径（mm）$= 0.5\,zm$

h_a : 外端歯末のたけ（mm）

α : 基準圧力角（度）

α_t : 中央正面圧力角（度）

$= \tan^{-1}(\tan\alpha_n / \cos\beta_m)$

α_n : 歯直角基準圧力角（度）

β_m : 中央ねじれ角（角）

δ : ピッチ円すい角（角）

m : 外端正面モジュール（mm）

z : 歯数

添字1 : 小歯車

2 : 大歯車

(b)　基準圧力角が20° のすぐばかさ歯車又は歯直角基準圧力角が20° のまがりばかさ歯車の場合は図5により正面かみあい率 ε_α を求めることができる。図中の相当平歯車歯数 Z_υ は式（16），uには次の式を使用する。

すぐばかさ歯車　：$u = \dfrac{h_a}{m}$ ……（25）

まがりばかさ歯車　：$u = \dfrac{h_a}{m\cos\beta_m}$ ……（26）

ここに

h_a　：外端歯末のたけ（mm）

m　：外端正面モジュール（mm）

βm　：中央ねじれ角（度）

図5を使って正面かみあい率 ε_α を求める場合は，次による。

すぐばかさ歯車　：$\varepsilon_\alpha = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$

まがりばかさ歯車　：$\varepsilon_\alpha = K\varepsilon'_\alpha$

$\varepsilon'_\alpha = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$

ここに

ε_α　：かさ歯車の正面かみあい率

ε'_α　：まがりばかさ歯車の相当平歯車かみあい率

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$　：小歯車及び大歯車に対する相当平歯車のピッチ点から歯先までのかみあい率（図5から求める）

k　：まがりばかさ歯車の相当平歯車直角かみあい率を正面かみあい率に換算するための係数

$= \cos^2\alpha_n\,(\cos^2\beta_m + \tan^2\alpha_n)$

（表2）

α_n　：歯直角基準圧力角（度）

β_m　：中央ねじれ角（度）

図4　背円すい上の相当平歯車のかみあい

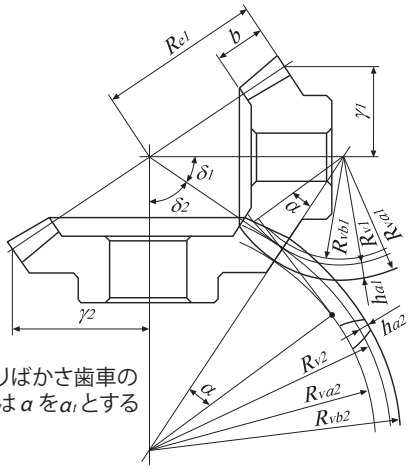
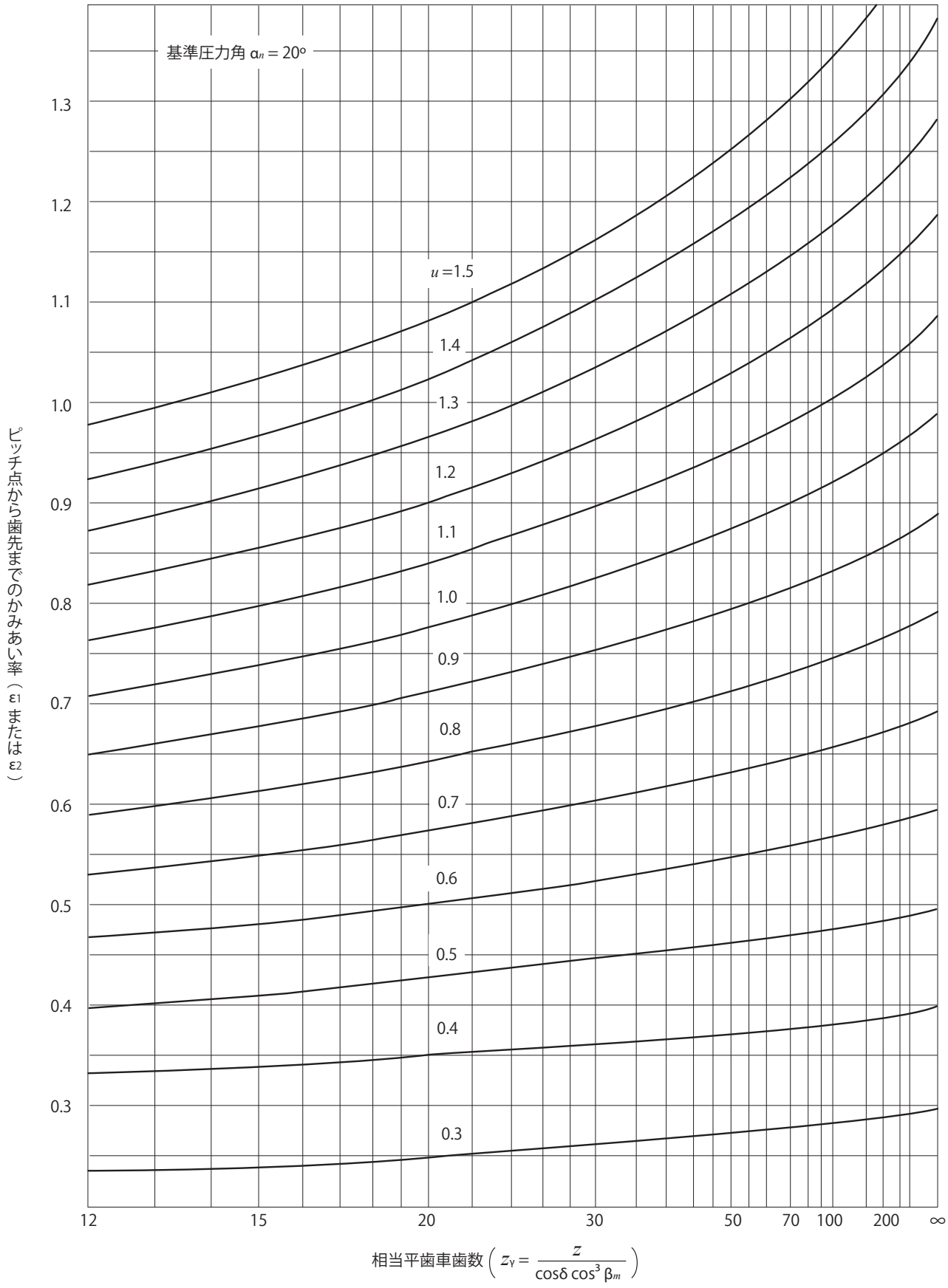


表2　まがりばかさ歯車の正面かみあい率換算係数kの値

中央ねじれ角 β_m / 歯直角基準圧力角 α_n	15°	20°	25°	30°	35°
20°	0.94085	0.89671	0.84229	0.77924	0.70949

図5　かみあい率を求める図表



5.1.4 ねじれ角係数 Y_β

ねじれ角係数は次の式によって求める。（表3及び図6参照）

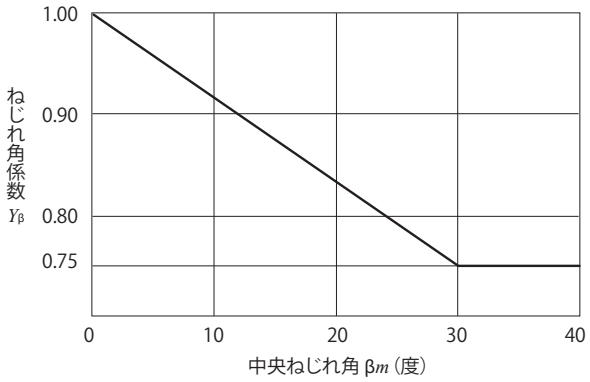
$0° \leqq \beta_m \leqq 30°$の場合　：$Y_\beta = 1 - \dfrac{\beta_m}{120}$ ……（27）

$\beta_m \geqq 30°$の場合　：$Y_\beta = 0.75$ ……（27）'

表3　ねじれ角係数

β_m	15°	20°	25°	30°	35°
Y_β	0.875	0.833	0.792	0.75	

図6　ねじれ角係数



5.1.5 工具直径影響係数 Y_C

工具直径影響係数は，歯すじの長さに対する工具直径の比により表4から求める。ただし工具直径が不詳の場合は Y_C=1.0とする。歯すじ長さは，$b/\cos\beta_m$（mm）とする。

5.1.6 寿命係数 K_L

平歯車の5.1.5項の表2参照

5.1.7 歯元応力に対する寸法係数 K_{FX}

歯元応力に対する寸法係数は正面モジュールにより表5から求める。

表5　歯元応力に対する寸法係数 K_{FX}

外端正面モジュール m	表面硬化しない歯車	表面硬化した歯車
1.5＜d≦ 5	1.0	1.0
5 ＜d≦ 7	0.99	0.98
7 ＜d≦ 9	0.98	0.96
9 ＜d≦11	0.97	0.94
11 ＜d≦13	0.96	0.92
13 ＜d≦15	0.94	0.90
15 ＜d≦17	0.93	0.88
17 ＜d≦19	0.92	0.86
19 ＜d≦22	0.90	0.83
22 ＜d≦25	0.88	0.80

5.1.8 歯すじ荷重分布係数 K_M

歯すじ荷重分布係数は表6又は表7によって求める。

5.1.9 動荷重係数 K_V

動荷重係数は，歯車の精度及び外端ピッチ円上の周速によって表8から求める。

5.1.10 過負荷係数 K_0

平歯車の5.1.8項の式（23），表4参照。

5.1.11 信頼度係数 K_R

信頼度係数は次のとおりとする。

（1）一般の場合…… $K_R = 1.2$

（2）特別の場合

曲げ強さの計算において原動機側，被動機側からの衝撃の程度並に歯車軸，歯車箱の剛性など歯車の使用条件が明確にわかっており，したがってK_0, K_M, K_L,

表4　工具直径影響係数 Y_C

かさ歯車の種類	工具直径			
	∞	歯すじ長さの6倍	歯すじ長さの5倍	歯すじ長さの4倍
すぐばかさ歯車	1.15	-	-	-
まがりばかさ歯車及びゼロールベベルギヤ	-	1.00	0.95	0.90

表6　まがりばかさ歯車，ゼロールベベルギア及びクラウニング付きすぐばかさ歯車の歯すじ荷重分布係数 K_M

		両歯車両側支持	一方だけ片持	両歯車片持
軸，歯車箱などの剛性	特に堅固	1.2	1.35	1.5
	普通	1.4	1.6	1.8
	やや弱い	1.55	1.75	2.0

表7　クラウニングなしのすぐばかさ歯車の歯すじ荷重分布係数 K_M

		両歯車両側支持	一方だけ片持	両歯車片持
軸，歯車箱などの剛性	特に堅固	1.05	1.15	1.35
	普通	1.6	1.8	2.1
	やや弱い	2.2	2.5	2.8

表8　動荷重係数 K_V

JIS B 1704による歯車の精度等級	周速（m/s）						
	1以下	1を超え3以下	3を超え5以下	5を超え8以下	8を超え12以下	12を超え18以下	18を超え25以下
1	1.0	1.1	1.15	1.2	1.3	1.5	1.7
2	1.0	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	-
3	1.0	1.3	1.4	1.5	1.7	-	-
4	1.1	1.4	1.5	1.7	-	-	-
5	1.2	1.5	1.7	-	-	-	-
6	1.4	1.7	-	-	-	-	-

等の数値を極めて適格に決め得る場合……K_R =1.0.

上記と正反対の場合，すなわち使用条件等が不詳で，したがって K_0 又は K_M 等の数値が不確実な場合（この場合 K_L は1.0とする。）…… K_R = 1.4

5.1.12 許容歯元曲げ応力 σ_{Flim}

平歯車の5.1.10項の表9，10及び表13を参照。

5.2 歯面強さ計算式における各種係数などの求め方

前節で述べた歯面強さ計算式で用いている各種の係数などを下記に規定する。

5.2.1 歯幅 b（mm）

歯幅はピッチ円すい上の歯幅とする。大小両歯車の歯幅が異なる場合は，狭い方の歯幅を b とする。

5.2.2 領域係数 Z_H

領域係数は次の式によって求める。

$$Z_H = \sqrt{\frac{2\cos\beta_b}{\sin\alpha_t \cos\alpha_t}} \quad \cdots\cdots (28)$$

ここに

β_b ：$\tan^{-1}(\tan\beta_m \cos\alpha_t)$

α_t ：中央正面圧力角（度）＝ $\tan^{-1}(\tan\alpha_n/\cos\beta_m)$

α_n ：歯直角基準圧力角（度）

β_m ：中央ねじれ角（度）

歯直角基準圧力角が20°，22.5°及び25°の場合の領域係数は図7によって求めることができる。

5.2.3 材料定数係数 Z_M

平歯車の5.2.3項の式（28）と表6を参照してください。

5.2.4 かみあい率係数 Z_ε

かみあい率係数は次の式によって求める。平歯車の5.2.4項の図4を参照してください。

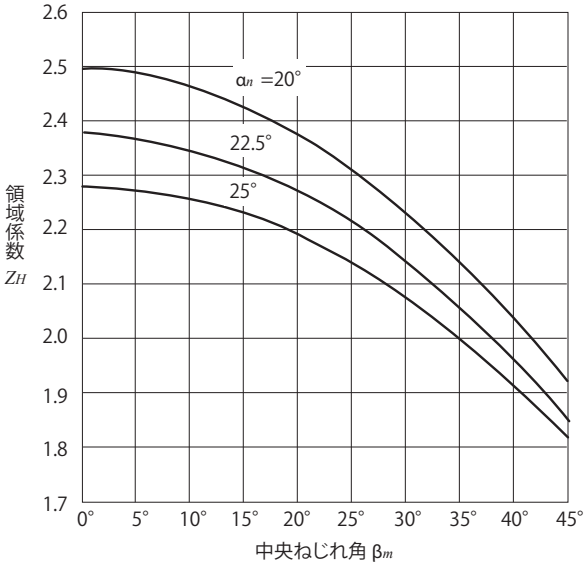
すぐばかさ歯車　：Z_ε=1.0 …… (29)

まがりばかさ歯車　：

$\varepsilon_\beta \leqq 1$の場合　$Z_\varepsilon = \sqrt{1-\varepsilon_\beta + \frac{\varepsilon_\beta}{\varepsilon_\alpha}}$ …… (30)

$\varepsilon_\beta > 1$の場合　$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}}$ …… (31)

図7　領域係数



ここに

ε_α ：正面かみあい率

ε_β ：重なりかみあい率

正面かみあい率の求め方は，かさ歯車の5.1.3項の（a）を参照してください。

重なりかみあい率は

$$\varepsilon_\beta = \frac{R_e}{R_e - 0.5b} \frac{b\tan\beta_m}{\pi m} \quad \cdots\cdots (32)$$

ここに

R_e ：外端円すい距離（mm）

b ：歯幅（mm）

β_m ：中央ねじれ角（度）

m ：外端正面モジュール（mm）

5.2.5 歯面強さに対するねじれ角係数 Z_β

歯面強さに対するねじれ角係数は正確に規定することが困難であるから

Z_β=1.0 …… (33)

とする。

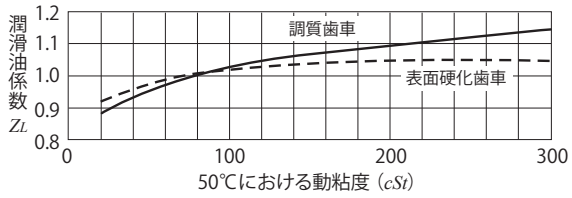
5.2.6 歯面強さに対する寿命係数 K_{HL}

平歯車の5.2.6項の表7参照

5.2.7 潤滑油係数 Z_L

潤滑油係数は，下図のごとく2種の場合について，使用する潤滑油の50℃における動粘度（CST）に基づいて，図8から求める。

表8　潤滑油係数



(1) 調質歯車 (1) : 図の実線を用いる。
(2) 表面硬化歯車: 図の破線を用いる。
注（1）調質歯車には焼入焼もどし歯車および焼ならし歯車を含む。
備考　鋳鋼歯車は調質歯車に準ずる。

5.2.8 粗さ係数 Z_R

粗さ係数は，下図のごとく2種の場合について，歯面の平均粗さ R_{maxm}（μm）に基づいて図9から求める。ここに平均粗さ R_{maxm} は，小歯車と大歯車のそれぞれの歯面粗さ R_{max1} と R_{max2} 及び a（mm）から次式によって求める。

$$R_{maxm} = \frac{R_{max1} + R_{max2}}{2} \sqrt[3]{\frac{100}{a}} (\mu m) \quad \cdots\cdots (34)$$

ここに

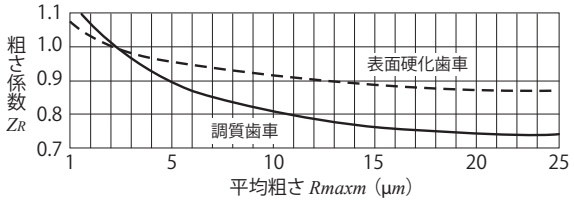
$a = R_m (\sin\delta_1 + \cos\delta_1)$

R_m : 平均円すい距離（mm）

δ_1 : 小歯車のピッチ円すい角（度）

(1) 調質歯車 (1) : 図の実線を用いる
(2) 表面硬化歯車: 図の破線を用いる。
注（1）及び備考は5.2.7項の通りとする。

図9　粗さ係数



5.2.9 潤滑速度係数 Z_V

潤滑速度係数は，下図のごとく2種の場合について，外端ピッチ円上の周速 υ(m/s) に基づいて図10から求める。

(1) 調質歯車 (1) : 図の実線を用いる。
(2) 表面硬化歯車：図の破線を用いる。
注（1）及び備考は5.2.7項の通りとする。

図10　潤滑速度係数

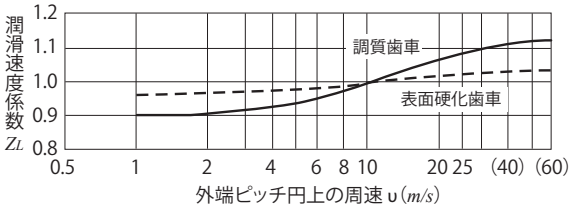


表11　窒化歯車 (1)

材料		表面かたさ（参考）	σ_{Hlim} kgf/mm²	
窒化鋼	SACM 645 など	HV 650以上	一般の場合	120
			特に長時間窒化処理した場合	130 - 140

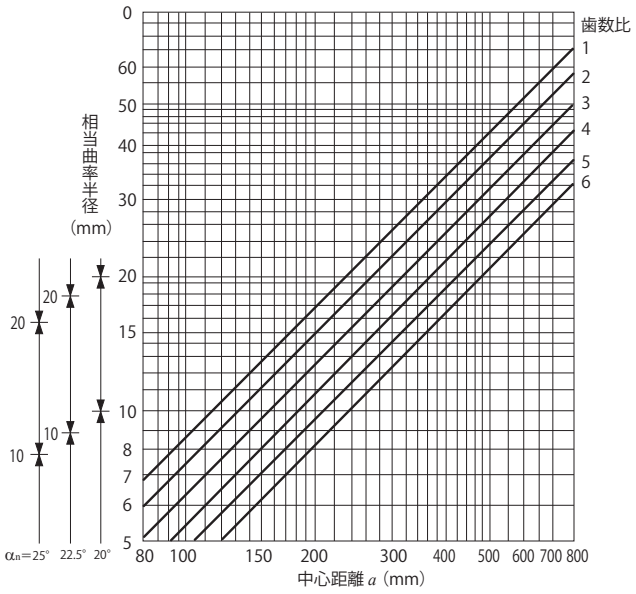
注（1）　歯面強さ向上のための適切な窒化深さと表面硬さをもつ歯車に適用する。歯面硬さが上記の参考値より著しく低い場合や，歯内部の最大せん断応力の発生点が窒化深さに比較して著しく深い場合には，安全率 S_H を普通より大きめにとるように注意する。

表12　軟窒化歯車 (1)

材料	窒化時間（h）	σ_{Hlim} kgf/mm²		
		相対曲率半径（mm）(2)		
		10以下	10 ～ 20	20以上
構造用炭素鋼及び合金鋼	2	100	90	80
	4	110	100	90
	6	120	110	100

注（1）　塩浴軟窒化及びガス軟窒化歯車に適用する。
（2）　相対曲率半径は図11を用いて求める。
備考　心部は適切に調質された歯車材料とする。

図11　相対曲率半径



5.2.10 硬さ比係数 Z_W

平歯車の5.2.10項の式（35）及び図8を参照してください。

5.2.11 歯面強さに対する寸法係数 K_{HX}

歯形及び歯車の寸法が大きくなると，歯面強さが部分的に不均一になる傾向が増加するが，これを正確に規定する十分な資料に乏しいから，現在のところ

$$K_{HX} = 1.0 \quad \cdots\cdots (35)$$

とする。

5.2.12 歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数 $K_{H\beta}$

歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数は表9又は表10によって求める。ただし両歯車とも表面硬化しない場合は，表の値の90％とする。

表9　まがりばかさ歯車（ゼロールベベルギヤを含む）及びクラウニング付きすぐばかさ歯車の歯すじ荷重分布係数 $K_{H\beta}$

軸，歯車箱などの剛性	歯車の支持条件		
	両歯車両側支持	一方だけ支持	両歯車片持
特に堅固	1.3	1.5	1.7
普通	1.6	1.85	2.1
やや弱い	1.75	2.1	2.5

表10　クラウニングなしのすぐばかさ歯車の歯すじ荷重分布係数 $K_{H\beta}$

軸，歯車箱などの剛性	歯車の支持条件		
	両歯車両側支持	一方だけ支持	両歯車片持
特に堅固	1.3	1.5	1.7
普通	1.85	2.1	2.6
やや弱い	2.8	3.3	3.8

5.2.13 動荷重係数 K_V

かさ歯車の5.1.9項の表8を参照してください。

5.2.14 過負荷係数 K_o

平歯車の5.1.8項の式（23）および表4を参照してください。

5.2.15 信頼度係数 CR

歯面強さに対する信頼度係数は1.15以上とする。

5.2.16 許容ヘルツ応力 $\sigma_{H\lim}$

歯車の許容ヘルツ応力を表9 ～ 12に示す。表に示した硬さの中間値のものについては補間法で求めると良い。なお，歯面の硬さとはピッチ円すい付近の硬さをいう。

10.3 円筒ウォームギヤの強度計算式

円筒ウォームギヤの強さ計算式 JGMA 405-01（1978）

1. 適用範囲

1.1　この規格は，一般産業機械において動力伝達に使用される次の範囲の，軸角90° の円筒ウォームギヤに適用する。

軸方向　モジュール	: 1 ～ 25 mm
ウォームホイールの基準ピッチ円直径	: 900 mm 以下
滑　り　速　度	: 30 m/s 以下
ウォームホイールの回　転　速　度	: 600 min^{-1}以下
歯　　形	: JIS B1723（円筒ウォームギヤの寸法）に規定された歯形
材　　料	: 表7に示す材料

1.2.　この規格は与えられた円筒ウォームギヤの寸法からその許容負荷を計算する場合および与えられた負荷からそれに適する円筒ウォームギヤの寸法を決める場合に使用する。

2. 定義

円筒ウォームギヤの強さとは，歯面強さに対する許容負荷をいう。

3. 基礎となる関係式及び数値

3.1 滑り速度v_s（m/s）

$$v_s = \frac{d_1 n_1}{19100\cos\gamma} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに

d_1 ：ウォームの基準ピッチ円直径（mm）
n_1 ：ウォームの回転速度（min^{-1}）
γ ：基準ピッチ円筒進み角（度）

3.2 トルク，円周力及び効率

（1）ウォームから駆動される場合（減速の場合）

$$T_2 = \frac{F_t d_2}{2000}\,(\mathrm{kgf \cdot m}) \quad \cdots\cdots (2)$$

$$T_1 = \frac{T_2}{u\eta_R} = \frac{F_t d_2}{2000 u \eta_R}\,(\mathrm{kgf \cdot m}) \quad \cdots\cdots (3)$$

$$\eta_R = \frac{\tan\gamma\left(1 - \tan\gamma\dfrac{\mu}{\cos\alpha_n}\right)}{\tan\gamma + \dfrac{\mu}{\cos\alpha_n}} \quad \cdots\cdots (4)$$

ここに

T_2 ：ウォームホイールの呼びトルク（kgf・m）
T_1 ：ウォームの呼びトルク（kgf・m）
F_t ：ウォームホイールの基準ピッチ円上の呼び円周力（kgf）
d_2 ：ウォームホイールの基準ピッチ円直径（mm）
u ：歯数比
η_R ：ウォームから駆動される場合のウォームギヤの伝動効率（軸受損失及び潤滑油をかくはんする損失を除外する）
μ ：摩擦係数 {3.2の（3）参照}
α_n ：歯直角基準圧力角（度）

（2）ウォームホイールから駆動される場合（増速の場合）

$$T_2 = \frac{F_t d_2}{2000}\,(\mathrm{kgf \cdot m}) \quad \cdots\cdots （2）と同じ$$

$$T_1 = \frac{T_2\eta_1}{u} = \frac{F_t d_2 \eta_1}{2000u}\,(\mathrm{kgf \cdot m}) \quad \cdots\cdots (5)$$

$$\eta_1 = \frac{\tan\gamma - \dfrac{\mu}{\cos\alpha_n}}{\tan\gamma\left(1 + \tan\gamma\dfrac{\mu}{\cos\alpha_n}\right)} \quad \cdots\cdots (6)$$

ここに

η_1 ：ウォームホイールから駆動される場合のウォームギヤの伝動効率（軸受損失及び潤滑油をかくはんする損失を除外する）

（3）摩擦係数μの数値

侵炭焼入れ，歯面研削したウォームとりん青銅製のウォームホイールとの組み合わせの場合摩擦係数μの値は滑り速度により図1から求める。

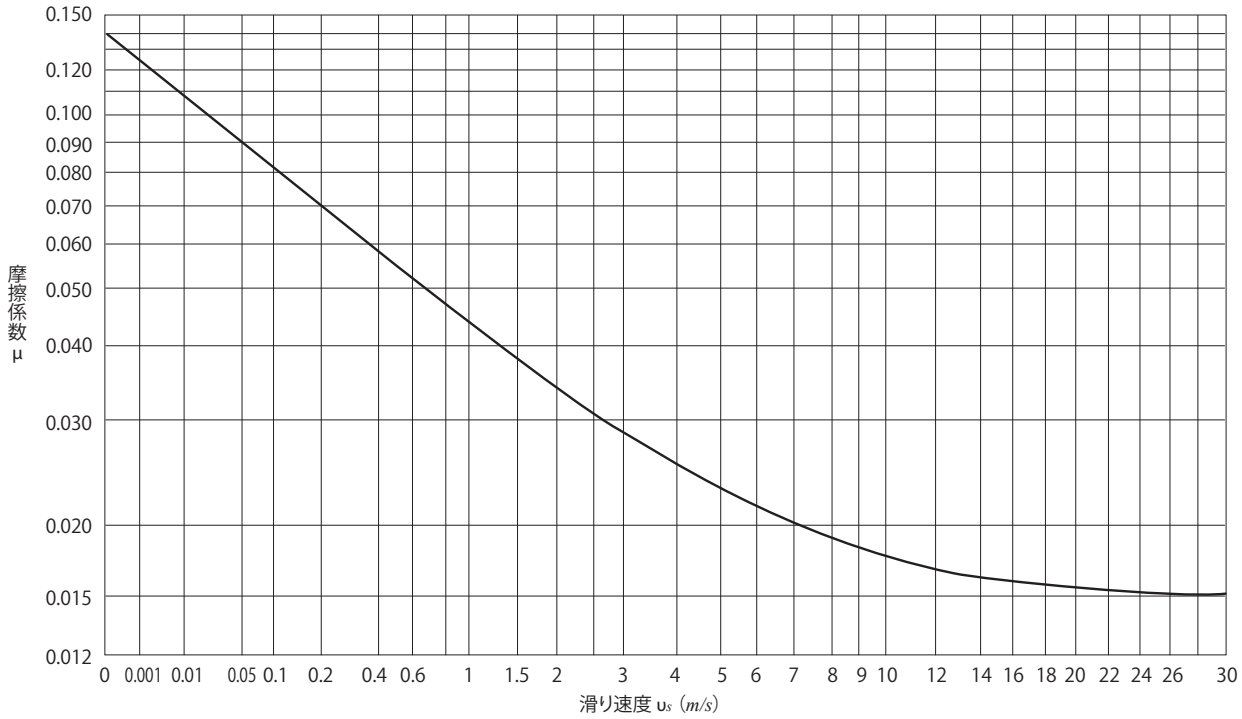
参考 1. 上記の材料の組み合わせ以外の場合の摩擦係数

資料に乏しく正確に規定できないが，参考としてH.E Merritt の提案を記すと参考表1の通りである。

参考表1　各種材料の組み合わせと摩擦係数

材料の組み合せ	μ の値
鋳鉄と青銅	図 1 の摩擦係数の値の1.15 倍
鋳鉄と鋳鉄	〃　1.33 倍
焼入鋼とアルミニウム	〃　1.33 倍
鋼と鋼	〃　2.0　倍

図1　摩擦係数



4. 歯面強さに対する許容負荷の計算式

4.1 基本負荷許容量の計算

与えられた円筒ウォームギヤの寸法及び材料からその歯面強さに対する基本負荷許容量を求めるには次の式による。

許容円周力 $F_{t\lim}$（kg・f）

$$F_{t\lim} = 3.82 K_{\upsilon} K_n S_{c\lim} Z d_2^{0.8} m_x \frac{Z_L Z_M Z_R}{K_C} \quad \cdots\cdots (7)$$

許容ウォームホイールトルク $T_{2\lim}$（kgf・m）

$$T_{2\lim} = 0.00191 K_{\upsilon} K_n S_{c\lim} Z d_2^{1.8} m_x \frac{Z_L Z_M Z_R}{K_C} \quad \cdots\cdots (8)$$

ここに

d_2　：ウォームホイールの基準ピッチ円直径（mm）
m_x　：軸方向モジュール（mm）
Z　：領域係数
K_{υ}　：滑り速度係数
K_n　：回転速度係数
Z_L　：潤滑油係数
Z_M　：潤滑法係数
Z_R　：歯面粗さ係数
K_c　：歯当たり係数
$S_{c\lim}$：歯面強さに対する許容応力係数

4.2 相当負荷の計算

式（7）又は式（8）に示された基本負荷容量は無衝撃の場合に26000時間の使用に耐える円周力又はトルクの限界である。ただし起動時の衝撃トルクが定格トルク (1) の200％以下で，起動回数が1時間当たり2回未満の場合は無衝撃とみなす。この条件に合わない場合，すなわち期待寿命が26000時間より長い場合又は短かい場合，衝撃がある場合および起動時のトルク又は回転が上記より大きい場合については相当負荷を算出して基本負荷容量と比較する。相当負荷の計算法は次による。

注（1）　原動機（又は被動機械）が定格負荷運転をしているときのウォームホイールのトルクをいう。

相当円周力 F_{te}（kgf）

$$F_{te} = F_t K_h K_s \quad \cdots\cdots (9)$$

相当ウォームホイールトルク T_{2e}（kgf・m）

$$T_{2e} = T_2 K_h K_s \quad \cdots\cdots (10)$$

ここに

F_t ：ウォームホイールのピッチ円上の呼び円周力（kgf）

T_2 ：ウォームホイールの呼びトルク（kgf・m）

K_s ：起動係数（5・9参照）

K_h ：時間係数（5・10参照）

4.3 負荷の判定

(1) 無衝撃の場合で，26000時間の寿命を期待する場合

次の関数が成立しなければならない。

$$F_t \leqq F_{t\lim} \quad \cdots\cdots (11)$$

$$T_2 \leqq T_{2\lim} \quad \cdots\cdots (12)$$

(2) 上項以外の場合

次の関数が成立しなければならない。

$$F_{te} \leqq F_{t\lim} \quad \cdots\cdots (13)$$

$$T_{2e} \leqq T_{2\lim} \quad \cdots\cdots (14)$$

備考: 変動荷重の場合は式（10）又は（12）においてT_2の代りに，総合トルク T_{2c} を用いて負荷の判定を行う。T_{2c} の計算法は参考4「変動荷重の計算」の項で述べる。

5. 歯面強さ計算式における各種係数などの求め方

前節で述べた歯面強さ計算式で用いている各種の係数などを下記に規定する。

5.1 ウォームホイールの歯幅 b_2（mm）

ウォームホイールの歯幅は図2による。

5.2 領域係数 Z

表3を用い，下記（1），(2）により求める。

(1) $b_2 < 2.3 m_x \sqrt{Q+1}$ の場合は表3の値に $\dfrac{b_2}{2m_x\sqrt{Q+1}}$ を乗じたものを Z として用いる。

(2) $b_2 \geqq 2.3 m_x \sqrt{Q+1}$ の場合は表3の値に1.15を乗じたものを Z として用いる。

ここに

Q ：直径係数 $\left(Q = \dfrac{d_1}{m_x}\right)$

Z_w ：ウォームの条数

5.3 滑り速度係数 K_v

滑り速度係数は滑り速度に基づいて図3から求める。

5.4 回転速度係数 K_n

回転速度係数はウォームホイールの回転速度に基づいて図4から求める。

5.5 潤滑油係数 Z_L

歯車用極圧添加剤の入った，適正な粘度の潤滑油を使用する限りにおいて $Z_L = 1.0$とする。

ウォームギヤ装置内に組込まれた軸受などの潤滑の都合により，やむを得ず低い粘度の潤滑油を使用する場合には Z_L は1.0より小さい値としなければならない。

参考: 適正粘度

適正な潤滑油粘度について各方面において推奨値があるが，それらは必ずしも一致しておらず，ここに規格として適正粘度を一律に規定することが困難であるので，参考としてそれら各推奨値の平均値的なものをとりまとめて参考表2に示す。

図2　ウォームホイールの歯幅

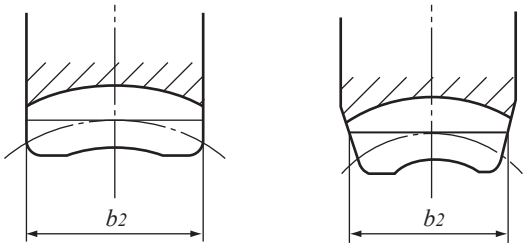


表3　領域係数の基本値

Z_W \ Q	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	11	12	13	14
1	1.052	1.065	1.084	1.107	1.128	1.137	1.143	1.160	1.202	1.260	1.318
2	1.055	1.099	1.144	1.183	1.114	1.223	1.231	1.250	1.280	1.320	1.360
3	0.989	1.109	1.209	1.266	1.305	1.333	1.350	1.365	1.393	1.422	1.442
4	0.981	1.098	1.204	1.301	1.380	1.428	1.460	1.490	1.515	1.545	1.570

参考表2　動粘度推奨値

運転油温		滑り速度 m/s		
運転最高油温	始動時油温	2.5未満	2.5以上5未満	5以上
0 C° 以上　10°C未満	−10°C 以上　0C°未満	110 ～ 130	110 ～ 130	110 ～ 130
	0°C以上	110 ～ 150	110 ～ 150	110 ～ 150
10 C° 〃　30°C 〃	0°C以上	200 ～ 245	150 ～ 200	150 ～ 200
30 C° 〃　55°C 〃	〃	350 ～ 510	245 ～ 350	200 ～ 245
55 C° 〃　80°C 〃	〃	510 ～ 780	350 ～ 510	245 ～ 350
80 C° 〃　100°C 〃	〃	900 ～ 1100	510 ～ 780	350 ～ 510

図3　滑り速度係数

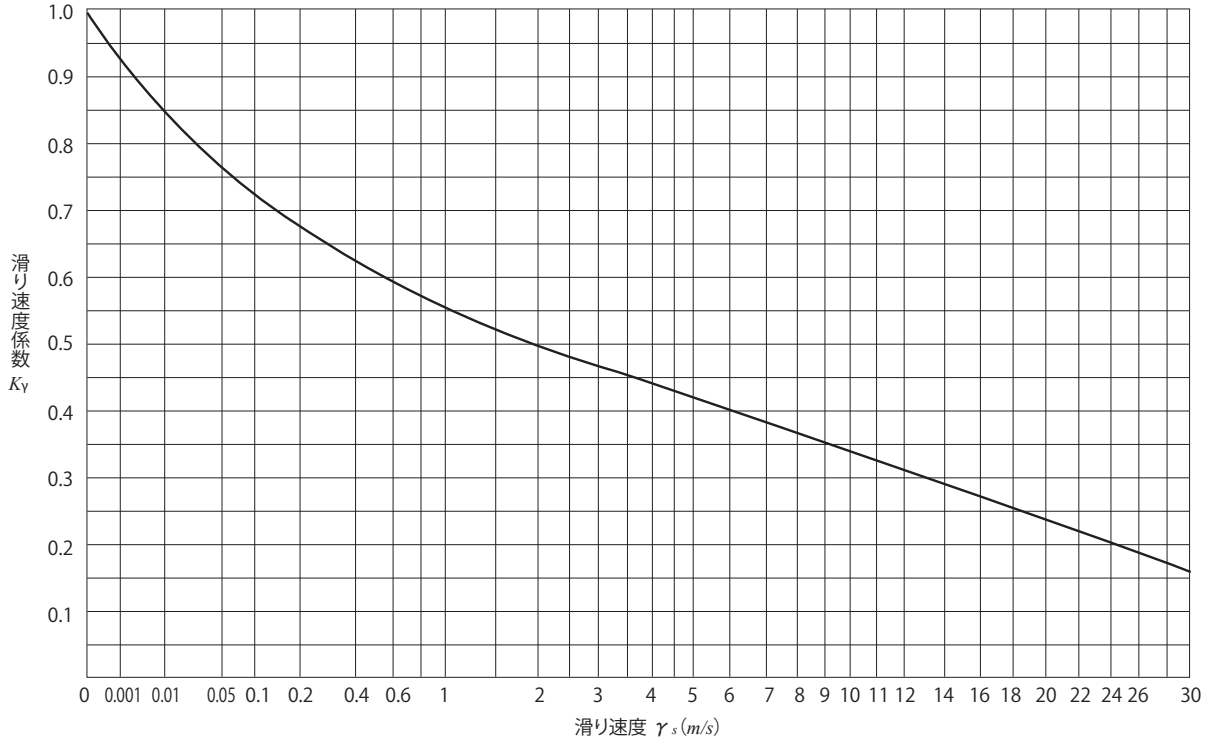
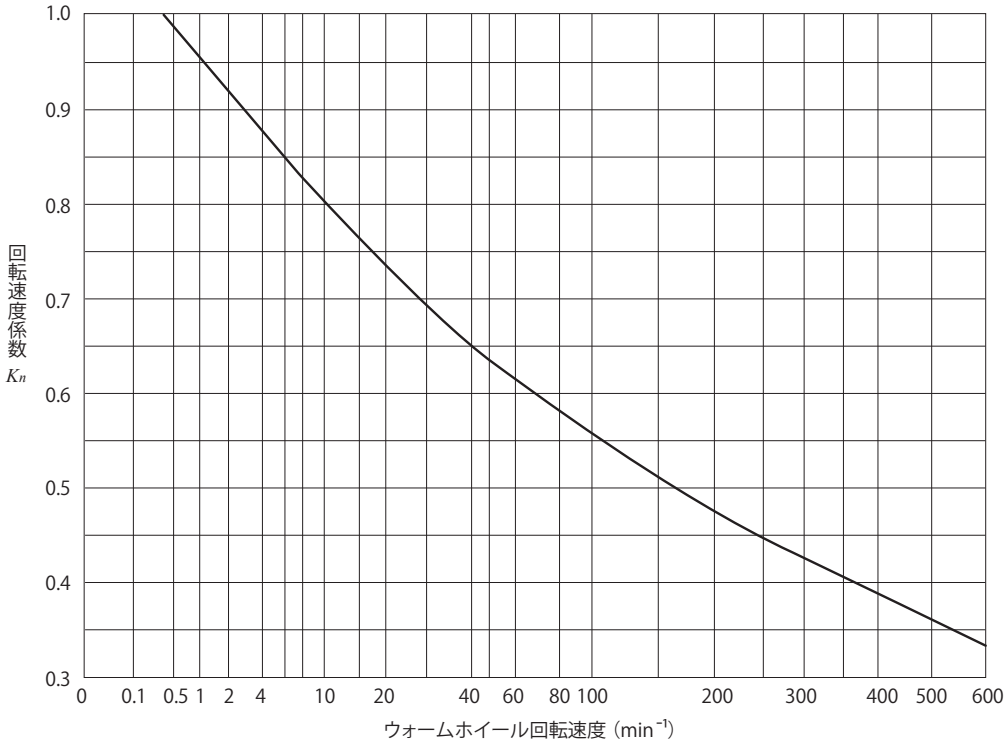


図4　回転速度係数



5.6 潤滑法係数 Z_M

潤滑法係数は表4によって求める。

表4　潤滑法係数 Z_M

滑り速度 m/s	10未満	10以上 14未満	14以上
油浴潤滑	1.0	0.85	-
強制潤滑	1.0	1.0	1.0

5.7 粗さ係数 Z_R

粗さ係数はウォームおよびウォームホイールの歯面の粗さが，ピッチングおよび摩耗に影響することを考慮して定めた係数であるが，これを正確に規定する十分な資料に乏しいから，現在のところ

$Z_R = 1.0$ ……（15）

とする。ただし歯面の粗さはウォームで3 S以内，ウォームホイールで12 S以内とする。.

歯面の粗さが，上記より粗い場合は1.0より小さい値をとる必要がある。

5.8 歯当たり係数 K_c

歯当たりの良否は負荷容量に大きい影響を及ぼすが，これを正確に規定するには資料に乏しいので，現在のところJIS B 1741（歯車の歯当たり）の区分 A に相当する歯当たりに対して

$K_c = 1.0$ ……（16）

とする。区分 B 及び C に対しては K_c を1.0より大きくとらねばならない

参考3: JISの 歯当たりの割合と，それに対応する K_c の概略値を参考表3に示す。

5.9 起動係数 K_s

起動係数は次による。

(1) 起動時のトルクが定期トルクの200％以下の場合表5から求める。

(2) 起動時のトルクが定期トルクの200％を超える場合は，$K_s = 1.0$とし，起動時のトルクを最大トルクとして変動荷重の計算（参考4参照）を行い，総合負荷を算出する。

5.10 時間係数 K_h

時間係数は期待寿命時間及び衝撃の程度によって表6から求める。期待寿命時間が表に示すものの中間にある場合は補間法によって求める。

参考表3　歯当たり区分と K_eの概略値

区分	歯当たりの割合		K_e
	歯すじ方向	歯たけ方向	
A	有効歯すじの長さの50%以上	有効歯たけの40%以上	1.0
B	〃　35 〃	〃　35 〃	1.3 - 1.4
C	〃　20 〃	〃　35 〃	1.5 - 1.7

備考：歯当たりに関する諸条件はJIS B 1741 による

表5　起動係数 K_s

1時間当りの起動回数	2回未満	2回以上5回未満	5回以上10回未満	10回以上
K_s	1.0	1.07	1.13	1.18

表6　時間係数 K_h

原動機側からの衝撃	期待寿命時間	K_h 被動機械からの衝撃		
		均一負荷	中程度の衝撃	激しい衝撃
均一負荷（電動機，タービン及び油圧モーターなど）	1,500 時間	0.80	0.90	1.0
	5,000 〃	0.90	1.0	1.25
	26,000 〃 (1)	1.0	1.25	1.50
	60,000 〃	1.25	1.50	1.75
軽度の衝撃（多気筒機関）	1,500 時間	0.90	1.0	1.25
	5,000 〃	1.0	1.25	1.50
	26,000 〃 (1)	1.25	1.50	1.75
	60,000 〃	1.50	1.75	2.0
中程度の衝撃（単気筒機関）	1,500 時間	1.0	1.25	1.50
	5,000 〃	1.25	1.50	1.75
	26,000 〃 (1)	1.50	1.70	2.0
	60,000 〃	1.75	2.0	2.25

注　1日当たりの運転時間が10時間で年間260日稼動の場合，10年に相当する。

5.11 許容応力係数 S_{clim}

歯面強さに対する許容応力係数および焼付限界滑り速度を表7に示す。

表7　歯面強さに対する許容応力係数 S_{clim}

ウォームホイールの材料	ウォームの材料	Sclim	焼付限界滑り速度（1）m/s
りん青銅遠心鋳造品	合金鋼浸炭焼入れ	1.55	30
	合金鋼HB400	1.34	20
	合金鋼HB250	1.12	10
りん青銅チル鋳物	合金鋼浸炭焼入れ	1.27	30
	合金鋼HB400	1.05	20
	合金鋼HB250	0.88	10
りん青銅砂型鋳物又は鍛造品	合金鋼浸炭焼入れ	1.05	30
	合金鋼HB400	0.84	20
	合金鋼HB250	0.70	10
アルミニウム青銅	合金鋼浸炭焼入れ	0.84	20
	合金鋼HB400	0.67	15
	合金鋼HB250	0.56	10
黄銅	合金鋼HB400	0.49	8
	合金鋼HB250	0.42	5
片状黒鉛強じん鋳鉄	同左ただし，ウォームホイールより硬度の高いもの	0.70	5
普通鋳鉄（パーライト質）	りん青銅鋳物又は鍛造品	0.63	2.5
	同左ただし，ウォームホイールより硬度の高いもの	0.42	2.5

注（1）：表中の S_{clim} の値を適用し得る最高の滑り速度をいう。計算された許容荷重以下の負荷で使用する場合でも，滑り速度がこの限界を超えていれば焼付きの危険がある。

参考4　変動荷重の計算

（1）異なる回転速度における均一トルクの組み合わせの場合

ウォームホイールに作用する最大の呼びトルク T_{21} [(1)] が，1サイクル当り U_1 秒間，それよりも小さい呼びトルク T_{22}, T_{23}… が U_2, U_3… 秒間作用し，それぞれの平均回転速度が n_{21}, n_{22}, n_{23}, … である場合，まず T_{21} 及び n_{21} を基準とする1サイクル当りの相当時間を次の式によって計算する。

$$U_e = U_1 + U_2\frac{n_{22}}{n_{21}}\left(\frac{T_{22}}{T_{21}}\right)^3 + U_3\frac{n_{23}}{n_{21}}\left(\frac{T_{23}}{T_{21}}\right)^3 + \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(R1)}$$

ここに

U_e　：T_{21} 及び n_{21} を基準とする相当時間（1サイクル当り）（s）

n_{21}, n_{22}, n_{23}　：ウォームホイールの平均回転速度（min^{-1}）

T_{21}, T_{22}, T_{23}　：ウォームホイールの呼びトルク（kgf・m）

よって26000時間内における総相当時間は次の通りである。

$$U_{ec} = \frac{U_e}{3600} \times \text{（26000時間内における総サイクル数）} \cdots\cdots \text{(R2)}$$

ここに U_{ec} ・ T_{21} 及び n_{21} を基準とする，26000時間当たりの総相当時間（h）

次に U_{ec} と参考表4により総合トルクを次の式によって計算する。

$$T_{2c} = T_{21}K_h' \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(R3)}$$

ここに

T_{2c}：T_{21}, T_{22}, T_{23}…を総合したトルク（kgf・m）

K_h'：参考表4による係数で，U_{ec} が表に示すものの中間にある場合は補間法によって求める。

参考表4 K_h'

U_{ee}	K_h	U_{ee}	K_h'
500 時間	0.77	5,000 時間	0.90
1,000 〃	0.79	10,000 〃	0.92
2,000 〃	0.81	25,000 〃	1.0
3,000 〃	0.84	26,000 〃	1.0

注（1）：起動時のピークトルクのような瞬間的に変化するものは含めない。そのようなものについては（2）項の計算法による。

備考　：変動荷重の1サイクルがちょうどウォームホイールの1回転と一致する場合には，ウォームホイールの特定の歯に，常に最大トルクのみがかかることとなるので，変動荷重の

計算式は適用されず，計算は，その最大トルクが期待寿命時間の全部に連続してかかるものとして行われねばならない。

式（R3）により求められた総合トルク T_{2c} から，それに適するウォームギヤの寸法を決めるには次に述べる（a）又は（b）による。

(a)　無衝撃の場合で，26000時間の寿命を期待する場合。ただし，起動時の衝撃トルクが定格トルクの200％以下で起動回数が1時間当り2回未満の場合は，無衝撃とみなす。

次の関係が成立するようにウォームギヤの寸法を決める。

$$T_{2c} \leqq T_{2\lim} \quad \cdots\cdots (R4)$$

ここに

$T_{2\lim}$ ：ウォームホイールの回転速度 n_{21} に対応する許容ウォームホイールトルク（kgf・m）

(b)　期待寿命が26000時間より長い場合又は短い場合，衝撃がある場合及び起動回数が1時間当り2回以上の場合。

次の関係が成立するようにウォームギヤの寸法を決める。

$$T_{2c} K_h K_s \leqq T_{2\lim} \quad \cdots\cdots (R5)$$

ここに

$T_{2\lim}$: ウォームホイールの回転速度 n_{21} に対応する許容ウォームホイールトルク（kgf・m）

(2)　起動時などのピークトルクと均一トルクの組み合わせの場合 {5.9の（2）参照}

ピークの値が T_{21} で，起動してからの定常運転速度に達するまでの加速時間が U_a 秒であるとき，定常運転及びトルクを T_{22} とすればピークトルクの相当作用時間 U_{1e}（s）は次の式によって計算される。

$$U_{1e} = \frac{U_a}{4}\left(1+\frac{T_{22}}{T_{21}}\right)\left\{1+\left(\frac{T_{22}}{T_{21}}\right)^2\right\} \quad \cdots\cdots (R6)$$

もし上記のような起動が1時間当りN回行われれば，1時間当りのピークトルク相当作用時間 U_{1e}'(s)は

$$U_{1e}' = NU_{1e} \quad \cdots\cdots (R7)$$

であり，実時間は NU_{1e} である。

さてこのようなピークトルクが運転1時間当り NU_a 秒間作用し，定常運転トルク T_{22} その他 T_{23}, T_{24}…などの均一トルクが U_2, U_3, U_4 …秒間作用し，それぞれの平均回転速度が，n_{21}, n_{22}, n_{23}, n_{24}, …である場合，1時間当りの相当時間 U_e（s）を次の式によって計算する。

$$U_e = U_{1e}' + U_2\frac{n_{22}}{n_{21}}\left(\frac{T_{22}}{T_{21}}\right)^3 + U_3\frac{n_{23}}{n_{21}}\left(\frac{T_{23}}{T_{21}}\right)^3 + \quad \cdots\cdots (R8)$$

ただし，基準とする回転速度 n_{21} はピークトルクのかかり始めの回転速度と終りの回転速度の平均値とする。したがって，停止状態から起動して n'_{21} に達する場合は $n_{21} = n'_{21}/2$ である。また基準とするトルクは T_{21} である。（参考図1参照）

よって26000時間内における総相当時間は次の通りである。

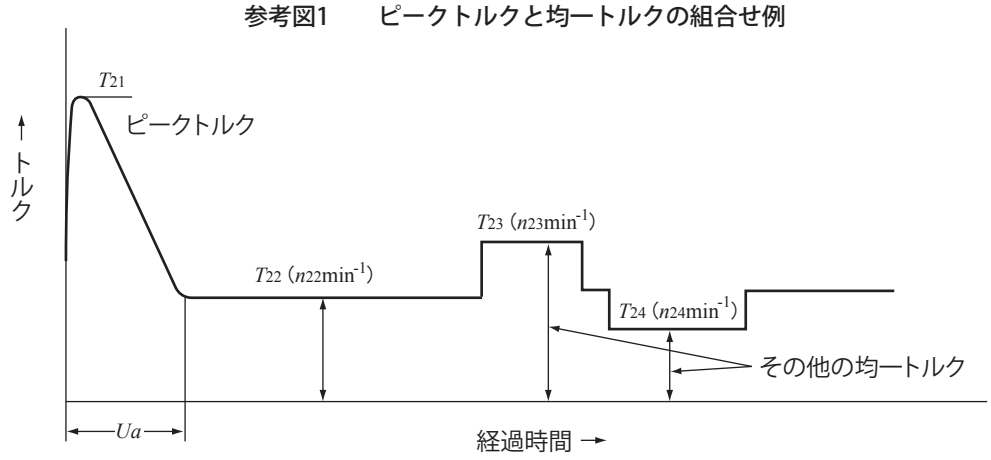
$$U_{ec} = \frac{U_e}{3{,}600} \times 26000 \quad \cdots\cdots (R9)$$

ここに

U_{ec} : T_{21} 及び n_{21} を基準とする26000時間当たりの総相当時間（h）

この U_{ec} は（1）項の式（R2）の U_{ec} と同等のものであるから，以下（1）項と同様に式（R3），（R4）又は（R5）によりウォームギヤの寸法を決める。ただし K_s は1.0とする。

参考図1　　ピークトルクと均一トルクの組合せ例



硬さ換算表

鋼のビッカース硬さに対する近似的換算値

ビッカース硬さ	ブリネル硬さ 10mm球・荷重3000kgf			ロックウェル硬さ [2]				ロックウェルスーパーフィシャル硬さ ダイヤモンド円錐圧子			ショア硬さ	引張強さ（近似値） MPa (kgf/mm²) [1]	ビッカース硬さ荷重
	標準球	Hult-gren 球	タングステンカーバイド球	Aスケール 荷重60kgf ダイヤモンド円錐圧子	Bスケール 荷重100kgf 径1/16in 球	Cスケール 荷重150kgf ダイヤモンド円錐圧子	Dスケール 荷重100kgf ダイヤモンド円錐圧子	15-N スケール 荷重15kgf	30-N スケール 荷重30kgf	45-N スケール 荷重45kgf			
940	-	-	-	85·6	-	68·0	76·9	93·2	84·4	75·4	97	-	940
920	-	-	-	85·3	-	67·5	76·5	93·0	84·0	74·8	96	-	920
900	-	-	-	85·0	-	67·0	76·1	92·9	83·6	74·2	95	-	900
880	-	-	(767)	84·7	-	66·4	75·7	92·7	83·1	73·6	93	-	880
860	-	-	(757)	84·4	-	65·9	75·3	92·5	82·7	73·1	92	-	860
840	-	-	(745)	84·1	-	65·3	74·8	92·3	82·2	72·2	91	-	840
820	-	-	(733)	83·8	-	64·7	74·3	92·1	81·7	71·8	90	-	820
800	-	-	(722)	83·4	-	64·0	73·8	91·8	81·1	71·0	88	-	800
780	-	-	(710)	83·0	-	63·3	73·3	91·5	80·4	70·2	87	-	780
760	-	-	(698)	82·6	-	62·5	72·6	91·2	79·7	69·4	86	-	760
740	-	-	(684)	82·2	-	61·8	72·1	91·0	79·1	68·6	84	-	740
720	-	-	(670)	81·8	-	61·0	71·5	90·7	78·4	67·7	83	-	720
700	-	615	(656)	81·3	-	60·1	70·8	90·3	77·6	66·7	81	-	700
690	-	610	(647)	81·1	-	59·7	70·5	90·1	77·2	66·2	-	-	690
680	-	603	(638)	80·8	-	59·2	70·1	89·8	76·8	65·7	80	-	680
670	-	597	630	80·6	-	58·8	69·8	89·7	76·4	65·3	-	-	670
660	-	590	620	80·3	-	58·3	69·4	89·5	75·9	64·7	79	-	660
650	-	585	611	80·0	-	57·8	69·0	89·2	75·5	64·1	-	-	650
640	-	578	601	79·8	-	57·3	68·7	89·0	75·1	63·5	77	-	640
630	-	571	591	79·5	-	56·8	68·3	88·8	74·6	63·0	-	-	630
620	-	564	582	79·2	-	56·3	67·9	88·5	74·2	62·4	75	-	620
610	-	557	573	78·9	-	55·7	67·5	88·2	73·6	61·7	-	-	610
600	-	550	564	78·6	-	55·2	67·0	88·0	73·2	61·2	74	-	600
590	-	542	554	78·4	-	54·7	66·7	87·8	72·7	60·5	-	2055 (210)	590
580	-	535	545	78·0	-	54·1	66·2	87·5	72·1	59·9	72	2020 (206)	580
570	-	527	535	77·8	-	53·6	65·8	87·2	71·7	59·3	-	1985 (202)	570
560	-	519	525	77·4	-	53·0	65·4	86·9	71·2	58·6	71	1950 (199)	560
550	(505)	512	517	77·0	-	52·3	64·8	86·6	70·5	57·8	-	1905 (194)	550
540	(496)	503	507	76·7	-	51·7	64·4	86·3	70·0	57·0	69	1860 (190)	540
530	(488)	495	497	76·4	-	51·1	63·9	86·0	69·5	56·2	-	1825 (186)	530
520	(480)	487	488	76·1	-	50·5	63·5	85·7	69·0	55·6	67	1795 (183)	520
510	(473)	479	479	75·7	-	49·8	62·9	85·4	68·3	54·7	-	1750 (179)	510
500	(465)	471	471	75·3	-	49·1	62·2	85·0	67·7	53·9	66	1705 (174)	500
490	(456)	460	460	74·9	-	48·4	61·6	84·7	67·1	53·1	-	1660 (169)	490
480	448	452	452	74·5	-	47·7	61·3	84·3	66·4	52·2	64	1620 (165)	480
470	441	442	442	74·1	-	46·9	60·7	83·9	65·7	51·3	-	1570 (160)	470
460	433	433	433	73·6	-	46·1	60·1	83·6	64·9	50·4	62	1530 (156)	460
450	425	425	425	73·3	-	45·3	59·4	83·2	64·3	49·4	-	1495 (153)	450
440	415	415	415	72·8	-	44·5	58·8	82·8	63·5	48·4	59	1460 (149)	440
430	405	405	405	72·3	-	43·6	58·2	82·3	62·7	47·4	-	1410 (144)	430
420	397	397	397	71·8	-	42·7	57·5	81·8	61·9	46·4	57	1370 (140)	420
410	388	388	388	71·4	-	41·8	56·8	81·4	61·1	45·3	-	1330 (136)	410
400	379	379	379	70·8	-	40·8	56·0	81·0	60·2	44·1	55	1290 (131)	400
390	369	369	369	70·3	-	39·8	55·2	80·3	59·3	42·9	-	1240 (127)	390
380	360	360	380	69·8	(110·0)	38·8	54·4	79·8	58·4	41·7	52	1205 (123)	380
370	350	350	350	69·2	-	37·7	53·6	79·2	57·4	40·4	-	1170 (120)	370
360	341	341	341	68·7	(109·0)	36·6	52·8	78·6	56·4	39·1	50	1130 (115)	360
350	331	331	331	68·1	-	35·5	51·9	78·0	55·4	37·8	-	1095 (112)	350
340	322	322	322	67·6	(108·0)	34·4	51·1	77·4	54·4	36·5	47	1070 (109)	340
330	313	313	313	67·0	-	33·3	50·2	76·8	53·6	35·2	-	1035 (105)	330

鋼のビッカース硬さに対する近似的換算値

ビッカース硬さ	ブリネル硬さ 10mm球・荷重3000kgf			ロックウェル硬さ (2)				ロックウェルスーパーフィシャル硬さ ダイヤモンド円錐圧子			ショア硬さ	引張強さ（近似値） MPa (kgf/mm²) (1)	ビッカース硬さ荷重
	標準球	Hult-gren 球	タングステンカーバイド球	Aスケール 荷重60kgf ダイヤモンド円錐圧子	Bスケール 荷重100kgf 径1/16in 球	Cスケール 荷重150kgf ダイヤモンド円錐圧子	Dスケール 荷重100kgf ダイヤモンド円錐圧子	15-N スケール 荷重15kgf	30-N スケール 荷重30kgf	45-N スケール 荷重45kgf			
320	303	303	303	66·4	(107·0)	33·2	49·4	76·2	52·3	33·9	45	1005 (103)	320
310	294	294	294	65·8	-	31·0	48·4	75·6	51·3	32·5	-	980 (100)	310
300	284	284	284	65·2	(105·5)	29·8	47·5	74·9	50·2	31·1	42	950 (97)	300
295	280	280	280	64·8	-	29·2	47·1	74·6	49·7	30·4	-	935 (96)	295
290	275	275	275	64·5	(104·5)	28·5	46·5	74·2	49·0	29·5	41	915 (94)	290
285	270	270	270	64·2	-	27·8	46·0	73·8	48·4	28·7	-	905 (92)	285
280	265	265	265	63·8	(103·5)	27·1	45·3	73·4	47·8	27·9	40	890 (91)	280
275	261	261	261	63·5	-	26·4	44·9	73·0	47·2	27·1	-	875 (89)	275
270	256	256	256	63·1	(102·0)	25·6	44·3	72·6	46·4	26·2	38	855 (87)	270
265	252	252	252	62·7	-	24·8	43·7	72·1	45·7	25·2	-	840 (86)	265
260	247	247	247	62·4	(101·0)	24·0	43·1	71·6	45·0	24·3	37	825 (84)	260
255	243	243	243	62·0	-	23·1	42·2	71·1	44·2	23·2	-	805 (82)	255
250	238	238	238	61·6	99·5	22·2	41·7	70·6	43·4	22·2	36	795 (81)	250
245	233	233	233	61·2	-	21·3	41·1	70·1	42·5	21·1	-	780 (79)	245
240	228	228	228	60·7	98·1	20·3	40·3	69·6	41·7	19·9	34	765 (78)	240
230	219	219	219	-	96·7	(18·0)	-	-	-	-	33	730 (75)	230
220	209	209	209	-	95·0	(15·7)	-	-	-	-	32	695 (71)	220
210	200	200	200	-	93·4	(13·4)	-	-	-	-	30	670 (68)	210
200	190	190	190	-	91·5	(11·0)	-	-	-	-	29	635 (65)	200
190	181	181	181	-	89·5	(8·5)	-	-	-	-	28	605 (62)	190
180	171	171	171	-	87·1	(6·0)	-	-	-	-	26	580 (59)	180
170	162	162	162	-	85·0	(3·0)	-	-	-	-	25	545 (56)	170
160	152	152	152	-	81·7	(0·0)	-	-	-	-	24	515 (53)	160
150	143	143	143	-	78·7	-	-	-	-	-	22	490 (50)	150
140	133	133	133	-	75·0	-	-	-	-	-	21	455 (46)	140
130	124	124	124	-	71·2	-	-	-	-	-	20	425 (44)	130
120	114	114	114	-	66·7	-	-	-	-	-	-	390 (40)	120
110	105	105	105	-	62·3	-	-	-	-	-	-	-	110
100	95	95	95	-	56·2	-	-	-	-	-	-	-	100
95	90	90	90	-	52·0	-	-	-	-	-	-	-	95
90	86	86	86	-	48·0	-	-	-	-	-	-	-	90
85	81	81	81	-	41·0	-	-	-	-	-	-	-	85

備考 : 太字体の数字はASTM E 140表1による（SAE-ASM-ASTMが合同で調整したものである。）

注 : （1）括弧（ ）を付けて示してある単位及び数値は，JIS Z 8438の換算表により psi から換算したものである。
なお 1MPa = 1N/ mm²

（2）表中括弧（ ）内の数字はあまり用いられない範囲のものであり参考として示したものである。

（3）JISハンドブック鉄鋼より引用

鋼のロックウェルC硬さに対する近似的換算値（1）

ロックウェルCスケール硬さ	ビッカース硬さ	ブリネル硬さ 10mm球・荷重3000kgf			ロックウェル硬さ [2]			ロックウェルスーパーフィシャル硬さ ダイヤモンド円錐圧子			ショア硬さ	引張強さ（近似値） MPa (kgf/mm²) [1]	ロックウェルCスケール硬さ
		標準球	Hult-gren球	タングステンカーバイド球	Aスケール 荷重60kgf ダイヤモンド円錐圧子	Bスケール 荷重100kgf 径1/16in球	Dスケール 荷重100kgf ダイヤモンド円錐圧子	15-Nスケール 荷重15kgf	30-Nスケール 荷重30kgf	45-Nスケール 荷重45kgf			
68	940	-	-	-	85·6	-	76·9	93·2	84·4	75·4	97	-	68
67	900	-	-	-	85·0	-	76·1	92·9	83·6	74·2	95	-	67
66	865	-	-	-	84·5	-	75·4	92·5	82·8	73·3	92	-	66
65	832	-	-	(739)	83·9	-	74·5	92·2	81·9	72·0	91	-	65
64	800	-	-	(722)	83·4	-	73·8	91·8	81·1	71·0	88	-	64
63	772	-	-	(705)	82·8	-	73·0	91·4	80·1	69·9	87	-	63
62	746	-	-	(688)	82·3	-	72·2	91·1	79·3	68·8	85	-	62
61	720	-	-	(670)	81·8	-	71·5	90·7	78·4	67·7	83	-	61
60	697	-	613	(654)	81·2	-	70·7	90·2	77·5	66·6	81	-	60
59	674	-	599	(634)	80·7	-	69·9	89·8	76·6	65·5	80	-	59
58	653	-	587	615	80·1	-	69·2	89·3	75·7	64·3	78	-	58
57	633	-	575	595	79·6	-	68·5	88·9	74·8	63·2	76	-	57
56	613	-	561	577	79·0	-	67·7	88·3	73·9	62·0	75	-	56
55	595	-	546	560	78·5	-	66·9	87·9	73·0	60·9	74	2075 (212)	55
54	577	-	534	543	78·0	-	66·1	87·4	72·0	59·8	72	2015 (205)	54
53	560	-	519	525	77·4	-	65·4	86·9	71·2	58·6	71	1950 (199)	53
52	544	(500)	508	512	76·8	-	64·6	86·4	70·2	57·4	69	1880 (192)	52
51	528	(487)	494	496	76·3	-	63·8	85·9	69·4	56·1	68	1820 (186)	51
50	513	(475)	481	481	75·9	-	63·1	85·5	68·5	55·0	67	1760 (179)	50
49	498	(464)	469	469	75·2	-	62·1	85·0	67·6	53·8	66	1695 (173)	49
48	484	451	455	455	74·7	-	61·4	84·5	66·7	52·5	64	1635 (167)	48
47	471	442	443	443	74·1	-	60·8	83·9	65·8	51·4	63	1580 (161)	47
46	458	432	432	432	73·6	-	60·0	83·5	64·8	50·3	62	1530 (156)	46
45	446	421	421	421	73·1	-	59·2	83·0	64·0	49·0	60	1480 (151)	45
44	434	409	409	409	72·5	-	58·5	82·5	63·1	47·8	58	1435 (146)	44
43	423	400	400	400	72·0	-	57·7	82·0	62·2	46·7	57	1385 (141)	43
42	412	390	390	390	71·5	-	56·9	81·5	61·3	45·5	56	1340 (136)	42
41	402	381	381	381	70·9	-	56·2	80·9	60·4	44·3	55	1295 (132)	41
40	392	371	371	371	70·4	-	55·4	80·4	59·5	43·1	54	1250 (127)	40
39	382	362	362	362	69·9	-	54·6	79·9	58·6	41·9	52	1215 (124)	39
38	372	353	353	353	69·4	-	53·8	79·4	57·7	40·8	51	1180 (120)	38
37	363	344	344	344	68·9	-	53·1	78·8	56·8	39·6	50	1160 (118)	37
36	354	336	336	336	68·4	(109·0)	52·3	78·3	55·9	38·4	49	1115 (114)	36
35	345	327	327	327	67·9	(108·5)	51·5	77·7	55·0	37·2	48	1080 (110)	35
34	336	319	319	319	67·4	(108·0)	50·8	77·2	54·2	36·1	47	1055 (108)	34
33	327	311	311	311	66·8	(107·5)	50·0	76·6	53·3	34·9	46	1025 (105)	33
32	318	301	301	301	66·3	(107·0)	49·2	76·1	52·1	33·7	44	1000 (102)	32
31	310	294	294	294	65·8	(106·0)	48·4	75·6	51·3	32·5	43	980 (100)	31
30	302	286	286	286	65·3	(105·5)	47·7	75·0	50·4	31·3	42	950 (97)	30
29	294	279	279	279	64·7	(104·5)	47·0	74·5	49·5	30·1	41	930 (95)	29

鋼のロックウェルC硬さに対する近似的換算値（1）

ロックウェルCスケール硬さ	ビッカース硬さ	ブリネル硬さ 10mm球・荷重3000kgf			ロックウェル硬さ (2)			ロックウェルスーパーフィシャル硬さ ダイヤモンド円錐圧子			ショア硬さ	引張強さ（近似値） MPa (kgf/mm²) (1)	ロックウェルCスケール硬さ
		標準球	Hult-gren球	タングステンカーバイド球	Aスケール 荷重60kgf ダイヤモンド円錐圧子	Bスケール 荷重100kgf 径1/16in球	Dスケール 荷重100kgf ダイヤモンド円錐圧子	15-Nスケール 荷重15kgf	30-Nスケール 荷重30kgf	45-Nスケール 荷重45kgf			
28	286	271	271	271	64·3	(104·0)	46·1	73·9	48·6	28·9	41	910 (93)	28
27	279	264	264	264	63·8	(103·0)	45·2	73·3	47·7	27·8	40	880 (90)	27
26	272	258	258	258	63·3	(102·5)	44·6	72·8	46·8	26·7	38	860 (88)	26
25	266	253	253	253	62·8	(101·5)	43·8	72·2	45·9	25·5	38	840 (86)	25
24	260	247	247	247	62·4	(101·0)	43·1	71·6	45·0	24·3	37	825 (84)	24
23	254	243	243	243	62·0	100·0	42·1	71·0	44·0	23·1	36	805 (82)	23
22	248	237	237	237	61·5	99·0	41·6	70·5	43·2	22·0	35	785 (80)	22
21	243	231	231	231	61·0	98·5	40·9	69·9	42·3	20·7	35	770 (79)	21
20	238	226	226	226	60·5	97·8	40·1	69·4	41·5	19·6	34	760 (77)	20
(18)	230	219	219	219	-	96·7	-	-	-	-	33	730 (75)	(18)
(16)	222	212	212	212	-	95·5	-	-	-	-	32	705 (72)	(16)
(14)	213	203	203	203	-	93·9	-	-	-	-	31	675 (69)	(14)
(12)	204	194	194	194	-	92·3	-	-	-	-	29	650 (66)	(12)
(10)	196	187	187	187	-	90·7	-	-	-	-	28	620 (63)	(10)
(8)	188	179	179	179	-	89·5	-	-	-	-	27	600 (61)	(8)
(6)	180	171	171	161	-	87·1	-	-	-	-	26	580 (59)	(6)
(4)	173	165	165	165	-	85·5	-	-	-	-	25	550 (56)	(4)
(2)	166	158	158	158	-	83·5	-	-	-	-	24	530 (54)	(2)
(0)	160	152	152	152	-	81·7	-	-	-	-	24	515 (53)	(0)

注：（1）太字体の数字はASTM E 140表1による（SAE-ASM-ASTMが合同で調整したものである。）
（2）括弧（ ）を付けて示してある単位及び数値は，JIS Z 8438換算表により psi から換算したものである。
なお 1MPa = 1N/ mm²
（3）JISハンドブック鉄鋼より引用

常用するはめ合いの穴の寸法許容差

単位：μm

寸法の区分（mm）		B	C		D			E			F			G		H					
をこえ	以下	B10	C9	C10	D8	D9	D10	E7	E8	E9	F6	F7	F8	G6	G7	H6	H7	H8	H9	H10	H11
-	3	+180 +140	+85 +60	+100	+34	+45 +20	+60	+24	+28 +14	+39	+12	+16 +6	+20	+8 +2	+12	+6	+10	+14 0	+25	+40	+60
3	6	+188 +140	+100 +70	+118	+48	+60 +30	+78	+32	+38 +20	+50	+18	+22 +10	+28	+12 +4	+16	+8	+12	+18 0	+30	+48	+75
6	10	+208 +150	+116 +80	+138	+62	+76 +40	+98	+40	+47 +25	+61	+22	+28 +13	+35	+14 +5	+20	+9	+15	+22 0	+36	+58	+90
10	14	+220	+138	+165	+77	+93	+120	+50	+59	+75	+27	+34	+43	+17	+24	+11	+18	+27	+43	+70	+110
14	18	+150	+95			+50			+32			+16		+6				0			
18	24	+244	+162	+194	+98	+117	+149	+61	+73	+92	+33	+41	+53	+20	+28	+13	+21	+33	+52	+84	+130
24	30	+160	+110			+65			+40			+20		+7				0			
30	40	+270 +170	+182 +120	+220	+119	+142	+180	+75	+89	+112	+41	+50	+64	+25	+34	+16	+25	+39	+62	+100	+160
40	50	+280 +180	+192 +130	+230		+80			+50			+25		+9				0			
50	65	+310 +190	+214 +140	+260	+146	+174	+220	+90	+106	+134	+49	+60	+76	+29	+40	+19	+30	+46	+74	+120	+190
65	80	+320 +200	+224 +150	+270		+100			+60			+30		+10				0			
80	100	+360 +220	+257 +170	+310	+174	+207	+260	+107	+126	+159	+58	+71	+90	+34	+47	+22	+35	+54	+87	+140	+220
100	120	+380 +240	+267 +180	+320		+120			+72			+36		+12							0
120	140	+420 +260	+300 +200	+360																	
140	160	+440 +280	+310 +210	+370	+208	+245 +145	+305	+125	+148 +85	+185	+68	+83 +43	+106	+39 +14	+54	+25	+40	+63 0	+100	+160	+250
160	180	+470 +310	+330 +230	+390																	
180	200	+525 +340	+355 +240	+425																	
200	225	+565 +380	+375 +260	+445	+242	+285 +170	+355	+146	+172 +100	+215	+79	+96 +50	+122	+44 +15	+61	+29	+46	+72 0	+115	+185	+290
225	250	+605 +420	+395 +280	+465																	
250	280	+690 +480	+430 +300	+510																	
280	315	+750 +540	+460 +330	+540	+271	+320 +190	+400	+162	+191 +110	+240	+88	+108 +56	+137	+49 +17	+69	+32	+52	+81 0	+130	+210	+320
315	355	+830 +600	+500 +360	+590																	
355	400	+910 +680	+540 +400	+630	+299	+350 +210	+440	+182	+214 +125	+265	+98	+119 +62	+151	+54 +18	+75	+36	+57	+89 0	+140	+230	+360
400	450	+1010 +760	+595 +440	+690																	
450	500	+1090 +840	+635 +480	+730	+327	+385 +230	+480	+198	+232 +135	+290	+108	+131 +68	+165	+60 +20	+83	+40	+63	+97 0	+155	+250	+400

備考　表中の各段で，上側の数値は上ノ寸法許容差，下側の数値は下ノ寸法許容差を示す。

常用するはめ合いの穴の寸法許容差

単位：μm

寸法の区分（mm）		Js				K		M		N		P		R	S	T	U	X
をこえ	以下	Js6	Js7	Js8	Js9	K6	K7	M6	M7	N6	N7	P6	P7	R7	S7	T7	U7	X7
-	3	±3	±5	±7	±12.5	0 -6	0 -10	-2 -8	-2 -12	-4 -10	-4 -14	-6 -12	-6 -16	-10 -20	-14 -24	-	-18 -28	-20 -30
3	6	±4	±6	±9	±15	+2 -6	+3 -9	-1 -9	0 -12	-5 -13	-4 -16	-9 -17	-8 -20	-11 -23	-15 -27	-	-19 -31	-24 -36
6	10	±4.5	±7.5	±11	±18	+2 -7	+5 -10	-3 -12	0 -15	-7 -16	-4 -19	-12 -21	-9 -24	-13 -28	-17 -32	-	-22 -37	-28 -43
10	14	±5.5	±9	±13.5	±21.5	+2 -9	+6 -12	-4 -15	0 -18	-9 -20	-5 -23	-15 -26	-11 -29	-16 -34	-21 -39	-	-26 -44	-33 -51
14	18																	-38 -56
18	24	±6.5	±10.5	±16.5	±26	+2 -11	+6 -15	-4 -17	0 -21	-11 -24	-7 -28	-18 -31	-14 -35	-20 -41	-27 -48	-	-33 -54	-46 -67
24	30															-33 -54	-40 -61	-56 -77
30	40	±8	±12.5	±19.5	±31	+3 -13	+7 -18	-4 -20	0 -25	-12 -28	-8 -33	-21 -37	-17 -42	-25 -50	-31 -59	-39 -64	-51 -76	-
40	50															-45 -70	-61 -86	
50	65	±9.5	±15	±23	±37	+4 -15	+9 -21	-5 -24	0 -30	-14 -33	-9 -39	-26 -45	-21 -51	-30 -60	-42 -72	-55 -85	-76 -106	-
65	80													-32 -62	-48 -78	-64 -94	-91 -121	
80	100	±11	±17.5	±27	±43.5	+4 -18	+10 -25	-6 -28	0 -35	-16 -38	-10 -45	-30 -52	-21 -59	-38 -73	-58 -93	-78 -113	-111 -146	-
100	120													-41 -76	-66 -101	-91 -126	-131 -166	
120	140	±12.5	±20	±31.5	±50	+4 -21	+12 -28	-8 -33	0 -40	-20 -45	-12 -52	-36 -61	-28 -68	-48 -88	-77 -117	-107 -147	-	-
140	160													-50 -90	-85 -125	-119 -159		
160	180													-53 -93	-93 -133	-131 -171		
180	200	±14.5	±23	±36	±57.5	+5 -24	+13 -33	-8 -37	0 -46	-22 -51	-14 -60	-41 -70	-33 -79	-60 -106	-105 -151	-	-	-
200	225													-63 -109	-113 -159			
225	250													-67 -113	-123 -169			
250	280	±16	±26	±40..5	±65	+5 -27	+16 -36	-9 -41	0 -52	-25 -57	-14 -66	-47 -79	-36 -88	-74 -126	-	-	-	-
280	315													-78 -130				
315	355	±18	±28.5	±44.5	±70	+7 -29	+17 -40	-10 -46	0 -57	-26 -62	-16 -73	-51 -87	-41 -93	-87 -144	-	-	-	-
355	400													-93 -150				
400	450	±20	±31.5	±48.5	±77.5	+8 -32	+18 -45	-10 -50	0 -63	-27 -67	-17 -80	-55 -95	-45 -108	-103 -166	-	-	-	-
450	500													-109 -172				

備考　表中の各段で，上側の数値は上ノ寸法許容差，下側の数値は下ノ寸法許容差を示す。

常用するはめ合いの軸の寸法許容差

単位：μm

寸法の区分（mm）		js				k		m		n	p	r	s	t	u	x
をこえ	以下	js5	js6	js7	js8	k5	k6	m5	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	x6
-	3	±2	±3	±5	±7	+4 0	+6	+6 +2	+8	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14	-	+24 +18	+26 +20
3	6	±2.5	±4	±6	±9	+6 +1	+9	+9 +4	+12	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19	-	+31 +23	+36 +28
6	10	±3	±4.5	±7.5	±11	+7 +1	+10	+12 +6	+15	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23	-	+37 +28	+43 +34
10	14	±4	±5.5	±9	±13.5	+9 +1	+12	+15 +7	+18	+23 +12	+29 +18	+34 +23	+39 +28	-	+44 +33	+51 +40
14	18															+56 +45
18	24	±4.5	±6.5	±10.5	±16.5	+11 +2	+15	+17 +8	+21	+28 +15	+35 +22	+41 +28	+48 +35	-	+54 +41	+67 +54
24	30													+54 +41	+61 +48	+77 +64
30	40	±5.5	±8	±12.5	±19.5	+13 +2	+18	+20 +9	+25	+33 +17	+42 +26	+50 +34	+59 +43	+64 +48	+76 +60	-
40	50													+70 +54	+86 +70	
50	65	±6.5	±9.5	±15	±23	+15 +2	+21	+24 +11	+30	+30 +20	+51 +32	+60 +41	+72 +53	+85 +66	+106 +87	-
65	80											+62 +43	+78 +59	+94 +75	+121 +102	
80	100	±7.5	±11	±17.5	±27	+18 +3	+25	+28 +13	+35	+45 +23	+59 +37	+73 +51	+93 +71	+113 +104	+146 +124	-
100	120											+76 +54	+101 +79	+126 +104	+166 +144	
120	140	±9	±12.5	±20	±31.5	+21 +3	+28	+33 +15	+40	+52 +27	+68 +43	+88 +63	+117 +92	+147 +122	-	-
140	160											+90 +65	+125 +100	+159 +134		
160	180											+93 +68	+133 +108	+171 +146		
180	200	±10	±14.5	±23	±36	+24 +4	+33	+37 +17	+46	+60 +31	+79 +50	+106 +77	+151 +122	-	-	-
200	225											+109 +80	+159 +130			
225	250											+113 +84	+169 +140			
250	280	±11.5	±16	±26	±40.5	+27 +4	+36	+43 +20	+52	+66 +34	+88 +56	+126 +94	-	-	-	-
280	315											+130 +98				
315	355	±12.5	±18	±28.5	±44.5	+29 +4	+40	+46 +21	+57	+73 +37	+98 +62	+144 +108	-	-	-	-
355	400											+150 +114				
400	450	±13.5	±20	±31.5	±48.5	+32 +5	+45	+50 +23	+63	+80 +40	+108 +68	+166 +126	-	-	-	-
450	500											+172 +132				

備考　表中の各段で，上側の数値は上ノ寸法許容差，下側の数値は下ノ寸法許容差を示す。

常用するはめ合いの軸の寸法許容差

単位：μm

寸法の区分（mm）		b	c	d		e			f			g		h						
をこえ	以下	b9	c9	d8	d9	e7	e8	e9	f6	f7	f8	g5	g6	h5	h6	h7	h8	h9	h10	h11
-	3	-140	-60	-20			-14			-6		-2					0			
		-165	-85	-34	-45	-24	-28	-39	-12	-16	-20	-6	-8	-4	-6	-10	-14	-25	-40	-60
3	6	-140	-70	-30			-20			-10		-4					0			
		-170	-100	-48	-60	-32	-38	-50	-18	-22	-28	-9	-12	-5	-8	-12	-18	-30	-48	-75
6	10	-150	-80	-40			-25			-13		-5					0			
		-186	-116	-62	-76	-40	-47	-61	-22	-28	-35	-11	-14	-6	-9	-15	-22	-36	-58	-90
10	14	-150	-95	-50			-32			-16		-6					0			
14	18	-193	-138	-77	-93	-50	-59	-75	-27	-34	-43	-14	-17	-8	-11	-18	-27	-43	-70	-110
18	24	-160	-110	-65			-40			-20		-7					0			
24	30	-212	-162	-98	-117	-61	-73	-92	-33	-41	-53	-16	-20	-9	-13	-21	-33	-52	-84	-130
30	40	-170	-120																	
		-232	-182	-80			-50			-25		-9					0			
40	50	-180	-130	-119	-142	-75	-89	-112	-41	-50	-64	-20	-25	-11	-16	-25	-39	-62	-100	-160
		-242	-192																	
50	65	-190	-140																	
		-264	-214	-100			-60			-30		-10					0			
65	80	-200	-150	-146	-174	-90	-106	-134	-49	-60	-76	-23	-29	-13	-19	-30	-46	-74	-120	-190
		-274	-224																	
80	100	-220	-170																	
		-307	-257	-120			-72			-36		-12					0			
100	120	-240	-180	-174	-207	-107	-126	-159	-58	-71	-90	-27	-34	-15	-22	-35	-54	-87	-140	-220
		-327	-267																	
120	140	-260	-200																	
		-360	-300																	
140	160	-280	-210	-145			-85			-43		-14					0			
		-380	-310	-208	-245	-125	-148	-185	-68	-83	-106	-32	-39	-18	-25	-40	-63	-100	-160	-250
160	180	-310	-230																	
		-410	-330																	
180	200	-340	-240																	
		-455	-355																	
200	225	-380	-260	-170			-100			-50		-15					0			
		-495	-375	-242	-285	-146	-172	-215	-79	-96	-122	-35	-44	-20	-29	-46	-72	-115	-185	-290
225	250	-420	-280																	
		-535	-395																	
250	280	-480	-300																	
		-610	-430	-190			-110			-56		-17					0			
280	315	-540	-330	-271	-320	-162	-191	-240	-88	-108	-137	-40	-49	-23	-32	-52	-81	-130	-210	-320
		-670	-460																	
315	355	-600	-360																	
		-710	-500	-210			-125			-62		-18					0			
355	400	-680	-400	-299	-350	-182	-214	-265	-98	-119	-151	-43	-54	-25	-36	-57	-89	-140	-230	-260
		-820	-540																	
400	450	-760	-440																	
		-915	-595	-230			-135			-68		-20					0			
450	500	-840	-480	-327	-385	-198	-232	-290	-108	-131	-165	-47	-60	-27	-40	-63	-97	-155	-250	-400
		-995	-635																	

備考　表中の各段で，上側の数値は上ノ寸法許容差，下側の数値は下ノ寸法許容差を示す。

インボリュート関数表 ①

α′ \ α°	14		15		16		17		18	
	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差
0	.004 981 9		.006 149 8		.007 492 7		.009 024 7		.010 760 4	
1	.005 000 0	18 1	.006 170 7	20 9	.007 516 6	23 9	.009 051 9	27 2	.010 791 2	30 8
2	.005 018 2	18 2	.006 191 7	21 0	.007 540 6	24 0	.009 079 2	27 3	.010 822 0	30 8
3	.005 036 4	18 2	.006 212 7	21 0	.007 564 7	24 1	.009 106 5	27 3	.010 852 8	30 8
4	.005 054 6	18 2	.006 233 7	21 0	.007 588 8	24 1	.009 133 9	27 4	.010 883 8	31 0
		18 3		21 1		24 2		27 5		30 9
5	.005 072 9		.006 254 8		.007 613 0		.009 161 4		.010 914 7	
6	.005 091 2	18 3	.006 276 0	21 2	.007 637 2	24 2	.009 188 9	27 5	.010 945 8	31 1
7	.005 109 6	18 4	.006 297 2	21 2	.007 661 4	24 2	.009 216 4	27 5	.010 976 9	31 1
8	.005 128 0	18 4	.006 318 4	21 2	.007 685 7	24 3	.009 244 0	27 6	.011 008 1	31 2
9	.005 146 5	18 5	.006 339 7	21 3	.007 710 1	24 4	.009 271 7	27 7	.011 039 3	31 2
		18 5		21 4		24 4		27 7		31 3
10	.005 165 0		.006 361 1		.007 734 5		.009 299 4		.011 070 6	
11	.005 183 5	18 5	.006 382 5	21 4	.007 759 0	24 5	.009 327 2	27 8	.011 101 9	31 3
12	.005 202 1	18 6	.006 403 9	21 4	.007 783 5	24 5	.009 355 1	27 9	.011 133 3	31 4
13	.005 220 8	18 7	.006 425 4	21 5	.007 808 1	24 6	.009 383 0	27 9	.011 164 8	31 5
14	.005 239 5	18 7	.006 447 0	21 6	.007 832 7	24 6	.009 410 9	27 9	.011 196 4	31 6
		18 7		21 6		24 7		28 1		31 6
15	.005 258 2		.006 468 6		.007 857 4		.009 439 0		.011 228 0	
16	.005 277 0	18 8	.006 490 2	21 6	.007 882 2	24 8	.009 467 0	28 0	.011 259 6	31 6
17	.005 295 8	18 8	.006 511 9	21 7	.007 906 9	24 7	.009 495 2	28 2	.011 291 3	31 7
18	.005 314 7	18 9	.006 533 7	21 8	.007 931 8	24 9	.009 523 4	28 2	.011 323 1	31 8
19	.005 333 6	18 9	.006 555 5	21 8	.007 956 7	24 9	.009 551 6	28 2	.011 355 0	31 9
		19 0		21 8		25 0		28 3		31 9
20	.005 352 6		.006 577 3		.007 981 7		.009 579 9		.011 386 9	
21	.005 371 6	19 0	.006 599 2	21 9	.008 006 7	25 0	.009 608 3	28 4	.011 418 9	32 0
22	.005 390 7	19 1	.006 621 1	21 9	.008 031 7	25 0	.009 636 7	28 4	.011 450 9	32 0
23	.005 409 8	19 1	.006 643 1	22 0	.008 056 8	25 1	.009 665 2	28 5	.011 483 0	32 1
24	.005 428 9	19 1	.006 665 2	22 1	.008 082 0	25 2	.009 693 7	28 5	.011 515 1	32 1
		19 2		22 1		25 2		28 6		32 3
25	.005 448 1		.006 687 3		.008 107 2		.009 722 3		.011 547 4	
26	.005 467 4	19 3	.006 709 4	22 1	.008 132 5	25 3	.009 751 0	28 7	.011 579 6	32 2
27	.005 486 7	19 3	.006 731 6	22 2	.008 157 8	25 3	.009 779 7	28 7	.011 612 0	32 4
28	.005 506 0	19 3	.006 753 9	22 3	.008 183 2	25 4	.009 808 5	28 8	.011 644 4	32 4
29	.005 525 4	19 4	.006 776 2	22 3	.008 208 7	25 5	.009 837 3	28 8	.011 676 9	32 5
		19 4		22 3		25 5		28 9		32 5
30	.005 544 8		.006 798 5		.008 234 2		.009 866 2		.011 709 4	
31	.005 564 3	19 5	.006 820 9	22 4	.008 259 7	25 5	.009 895 1	28 9	.011 742 0	32 6
32	.005 583 8	19 5	.006 843 4	22 5	.008 285 3	25 6	.009 924 1	29 0	.011 774 7	32 7
33	.005 603 4	19 6	.006 865 9	22 5	.008 311 0	25 7	.009 953 2	29 1	.011 807 4	32 7
34	.005 623 0	19 6	.006 888 4	22 5	.008 336 7	25 7	.009 982 3	29 1	.011 840 2	32 8
		19 7		22 6		25 8		29 2		32 8
35	.005 642 7		.006 911 0		.008 362 5		.010 011 5		.011 873 0	
36	.005 662 4	19 7	.006 933 7	22 7	.008 388 3	25 8	.010 040 7	29 2	.011 905 9	32 9
37	.005 682 2	19 8	.006 956 4	22 7	.008 414 2	25 9	.010 070 0	29 3	.011 938 9	33 0
38	.005 702 0	19 8	.006 979 1	22 7	.008 440 1	25 9	.010 099 4	29 4	.011 902 0	33 1
39	.005 721 8	19 8	.007 001 9	22 8	.008 466 1	26 0	.010 128 8	29 4	.012 005 1	33 1
		19 9		22 9		26 0		29 5		33 1
40	.005 741 7		.007 024 8		.008 492 1		.010 158 3		.012 038 2	
41	.005 761 7	20 0	.007 047 7	22 9	.008 518 2	26 1	.010 187 8	29 5	.012 071 5	33 3
42	.005 781 7	20 0	.007 070 6	22 9	.008 544 4	26 2	.010 217 4	29 6	.012 104 8	33 3
43	.005 801 7	20 0	.007 093 6	23 0	.008 570 6	26 2	.010 247 1	29 7	.012 138 1	33 3
44	.005 821 8	20 1	.007 116 7	23 1	.008 596 9	26 3	.010 276 8	29 7	.012 171 5	33 4
		20 2		23 1		26 3		29 8		33 5
45	.005 842 0		.007 139 8		.008 623 2		.010 306 6		.012 205 0	
46	.005 862 2	20 2	.007 163 0	23 2	.008 649 6	26 4	.010 336 4	29 8	.012 238 6	33 6
47	.005 882 4	20 2	.007 186 2	23 2	.008 676 0	26 4	.010 366 3	29 9	.012 272 2	33 6
48	.005 902 7	20 3	.007 209 5	23 3	.008 702 5	26 5	.010 396 3	30 0	.012 305 9	33 7
49	.005 923 0	20 3	.007 232 8	23 3	.008 729 0	26 5	.010 426 3	30 0	.012 339 6	33 7
		20 4		23 3		26 6		30 1		33 8
50	.005 943 4		.007 256 1		.008 755 6		.010 456 4		.012 373 4	
51	.005 963 8	20 4	.007 279 6	23 5	.008 782 3	26 7	.010 486 5	30 1	.012 407 3	33 9
52	.005 984 3	20 5	.007 303 0	23 4	.008 809 0	26 7	.010 516 7	30 2	.012 441 2	33 9
53	.006 004 8	20 5	.007 326 6	23 6	.008 835 8	26 8	.010 546 9	30 2	.012 475 2	34 0
54	.006 025 4	20 6	.007 350 1	23 5	.008 862 6	26 8	.010 577 3	30 4	.012 509 3	34 1
		20 6		23 7		26 9		30 3		34 1
55	.006 046 0		.007 373 8		.008 889 5		.010 607 6		.012 543 4	
56	.006 066 7	20 7	.007 397 5	23 7	.008 916 4	26 9	.010 638 1	30 5	.012 577 6	34 2
57	.006 087 4	20 7	.007 421 2	23 7	.008 943 4	27 0	.010 668 6	30 5	.012 611 9	34 3
58	.006 108 1	20 7	.007 445 0	23 8	.008 970 4	27 0	.010 699 1	30 5	.012 646 2	34 3
59	.006 128 9	20 8	.007 468 8	23 8	.008 997 5	27 1	.010 729 8	30 7	.012 680 6	34 4
		20 9		23 9		27 2		30 6		34 5
60	.006 149 8		.007 492 7		.009 024 7		.010 760 4		.012 715 1	

インボリュート関数表 ②

α′ \ α°	19		20		21		22		23	
	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差
0	.012 715 1		.014 904 4		.017 344 9		.020 053 8		.023 049 1	
1	.012 749 6	34 5	.014 943 0	38 6	.017 387 8	42 9	.020 101 3	47 5	.023 101 5	52 4
2	.012 784 2	34 6	.014 981 6	38 6	.017 430 8	43 0	.020 148 9	47 6	.023 154 1	52 6
3	.012 818 8	34 6	.015 020 3	38 7	.017 473 8	43 0	.020 196 6	47 7	.023 206 7	52 6
4	.012 853 5	34 7	.015 059 1	38 8	.017 516 9	43 1	.020 244 4	47 8	.023 259 4	52 7
		34 8		38 8		43 2		47 8		52 8
5	.012 888 3		.015 097 9		.017 560 1		.020 292 2		.023 312 2	
6	.012 923 2	34 9	.015 136 9	39 0	.017 603 4	43 3	.020 340 1	47 9	.023 365 1	52 9
7	.012 958 1	34 9	.015 175 8	38 9	.017 646 8	43 4	.020 388 1	48 0	.023 418 1	53 0
8	.012 993 1	35 0	.015 214 9	39 1	.017 690 2	43 4	.020 436 2	48 1	.023 471 1	53 0
9	.013 028 1	35 0	.015 254 0	39 1	.017 733 7	43 5	.020 484 4	48 2	.023 524 2	53 1
		35 1		39 2		43 6		48 2		53 3
10	.013 063 2		.015 293 2		.017 777 3		.020 532 6		.023 577 5	
11	.013 098 4	35 2	.015 322 5	39 3	.017 820 9	43 6	.020 580 9	48 3	.023 630 8	53 3
12	.013 133 6	35 2	.015 371 9	39 4	.017 864 6	43 7	.020 629 3	48 4	.023 684 2	53 4
13	.013 168 9	35 3	.015 411 3	39 4	.017 908 4	43 8	.020 677 8	48 5	.023 737 6	53 4
14	.013 204 3	35 4	.015 450 7	39 4	.017 952 3	43 9	.020 726 4	48 6	.023 791 2	53 6
		35 5		39 6		44 0		48 6		53 7
15	.013 239 8		.015 490 3		.017 996 3		.020 775 0		.023 844 9	
16	.013 275 3	35 5	.015 529 9	39 6	.018 040 3	44 0	.020 823 8	48 8	.023 898 6	53 7
17	.013 310 8	35 5	.015 569 6	39 7	.018 084 4	44 1	.020 872 6	48 8	.023 952 4	53 8
18	.013 346 5	35 7	.015 609 4	39 8	.018 128 6	44 2	.020 921 5	48 9	.024 006 3	53 9
19	.013 382 2	35 7	.015 649 2	39 8	.018 172 8	44 2	.020 970 4	48 9	.024 060 3	54 0
		35 8		39 9		44 4		49 1		54 1
20	.013 418 0		.015 689 1		.018 217 2		.021 019 5		.024 114 4	
21	.013 453 8	35 8	.015 729 1	40 0	.018 261 6	44 4	.021 068 6	49 1	.024 168 6	54 2
22	.013 489 7	35 9	.015 769 2	40 1	.018 306 1	44 5	.021 117 8	49 2	.024 222 8	54 2
23	.013 525 7	36 0	.015 809 3	40 1	.018 350 6	44 5	.021 167 1	49 3	.024 277 2	54 4
24	.013 561 7	36 0	.015 849 5	40 2	.018 395 3	44 7	.021 216 5	49 4	.024 331 6	54 4
		36 1		40 3		44 7		49 5		54 5
25	.013 597 8		.015 889 8		.018 440 0		.021 266 0		.024 386 1	
26	.013 634 0	36 2	.015 930 1	40 3	.018 484 8	44 8	.021 315 5	49 5	.024 440 7	54 6
27	.013 670 2	36 2	.015 970 5	40 4	.018 529 6	44 8	.021 365 1	49 6	.024 495 4	54 7
28	.013 706 5	36 3	.016 011 0	40 5	.018 574 6	45 0	.021 414 8	49 7	.024 550 2	54 8
29	.013 742 9	36 4	.016 051 6	40 6	.018 619 6	45 0	.021 464 6	49 8	.024 605 0	54 8
		36 5		40 6		45 1		49 9		55 0
30	.013 779 4		.016 092 2		.018 664 7		.021 514 5		.024 660 0	
31	.013 815 9	36 5	.016 132 9	40 7	.018 709 9	45 2	.021 564 4	49 9	.024 715 0	55 0
32	.013 852 5	36 6	.016 173 7	40 8	.018 755 1	45 2	.021 614 5	50 1	.024 770 2	55 2
33	.013 889 1	36 6	.016 214 5	40 8	.018 800 4	45 3	.021 664 6	50 1	.024 825 4	55 2
34	.013 925 8	36 7	.016 255 4	40 9	.018 845 8	45 4	.021 714 8	50 2	.024 880 7	55 3
		36 8		41 0		45 5		50 3		55 4
35	.013 962 6		.016 296 4		.018 891 3		.021 765 1		.024 936 1	
36	.013 999 4	36 8	.016 337 5	41 1	.018 936 9	45 6	.021 815 4	50 3	.024 991 6	55 5
37	.014 036 4	37 0	.016 378 6	41 1	.018 982 5	45 6	.021 865 9	50 5	.025 047 1	55 5
38	.014 073 4	37 0	.016 419 8	41 2	.019 028 2	45 7	.021 916 4	50 5	.025 102 8	55 7
39	.014 110 4	37 0	.016 461 1	41 3	.019 074 0	45 8	.021 967 0	50 6	.025 158 5	55 7
		37 1		41 3		45 9		50 7		55 8
40	.014 147 5		.016 502 4		.019 119 9		.022 017 7		.025 214 3	
41	.014 184 7	37 2	.016 543 9	41 5	.019 165 9	46 0	.022 068 5	50 8	.025 270 3	56 0
42	.014 222 0	37 3	.016 585 4	41 5	.019 211 9	46 0	.022 119 3	50 8	.025 326 3	56 0
43	.014 259 3	37 3	.016 626 9	41 5	.019 258 0	46 1	.022 170 3	51 0	.025 382 4	56 1
44	.014 296 7	37 4	.016 668 6	41 7	.019 304 2	46 2	.022 221 3	51 0	.025 438 6	56 2
		37 5		41 7		46 2		51 1		56 2
45	.014 334 2		.016 710 3		.019 350 4		.022 272 4		.025 494 8	
46	.014 371 7	37 5	.016 752 1	41 8	.019 396 8	46 4	.022 323 6	51 2	.025 551 2	56 4
47	.014 409 3	37 6	.016 793 9	41 8	.019 443 2	46 4	.022 374 9	51 3	.025 607 6	56 4
48	.014 447 0	37 7	.016 835 9	42 0	.019 489 7	46 5	.022 426 2	51 3	.025 664 2	56 6
49	.014 484 7	37 7	.016 877 9	42 0	.019 536 3	46 6	.022 477 7	51 5	.025 720 8	56 6
		37 8		42 1		46 6		51 5		56 7
50	.014 522 5		.016 920 0		.019 582 9		.022 529 2		.025 777 5	
51	.014 560 4	37 9	.016 962 1	42 1	.019 629 6	46 7	.022 580 8	51 6	.025 834 3	56 8
52	.014 598 3	37 9	.017 004 4	42 3	.019 676 5	46 9	.022 632 5	51 7	.025 891 2	56 9
53	.014 636 3	38 0	.017 046 7	42 3	.019 723 3	46 8	.022 684 3	51 8	.025 948 2	57 0
54	.014 674 4	38 1	.017 089 1	42 4	.019 770 3	47 0	.022 736 1	51 8	.026 005 3	57 1
		38 2		42 4		47 1		52 0		57 2
55	.014 712 6		.017 131 5		.019 817 4		.022 788 1		.026 062 5	
56	.014 750 8	38 2	.017 174 0	42 5	.019 864 5	47 1	.022 840 1	52 0	.026 119 7	57 2
57	.014 789 1	38 3	.017 216 6	42 6	.019 911 7	47 2	.022 892 2	52 1	.026 177 1	57 4
58	.014 827 5	38 4	.017 259 3	42 7	.019 959 0	47 3	.022 944 4	52 2	.026 234 5	57 4
59	.014 865 9	38 4	.017 302 1	42 8	.020 006 3	47 3	.022 996 7	52 3	.026 292 0	57 5
		38 5		42 8		47 5		52 4		57 7
60	.014 904 4		.017 344 9		.020 053 8		.022 049 1		.026 349 7	

インボリュート関数表 ③

α′ \ α°	24		25		26		27		28	
	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差
0	.026 349 7		.029 975 3		.033 947 0		.038 286 6		.043 017 2	
		57 7		63 3		69 2		75 5		82 3
1	.026 407 4		.030 038 6		.034 016 2		.038 362 1		.043 099 5	
		57 8		63 4		69 4		75 7		82 4
2	.026 465 2		.030 102 0		.034 085 6		.038 437 8		.043 181 9	
		57 9		63 5		69 4		75 8		82 6
3	.026 523 1		.030 165 5		.034 155 0		.038 513 6		.043 264 5	
		57 9		63 6		69 6		75 9		82 6
4	.026 581 0		.030 229 1		.034 224 6		.038 589 5		.043 347 1	
		58 1		63 7		69 6		76 0		82 8
5	.026 639 1		.030 292 8		.034 294 2		.038 665 5		.043 429 9	
		58 2		63 8		69 8		76 1		82 9
6	.026 697 3		.030 356 6		.034 364 0		.038 741 6		.043 512 8	
		58 2		63 9		69 9		76 3		82 9
7	.026 755 5		.030 420 5		.034 433 9		.038 817 9		.043 595 7	
		58 4		63 9		69 9		76 3		83 2
8	.026 813 9		.030 484 4		.034 503 8		.038 894 2		.043 678 9	
		58 4		64 1		70 1		76 4		83 2
9	.026 872 3		.030 548 5		.034 573 9		.038 970 6		.043 762 1	
		58 5		64 2		70 2		76 6		83 3
10	.026 930 8		.030 612 7		.034 644 1		.039 047 2		.043 845 4	
		58 6		64 2		70 3		76 7		83 5
11	.026 989 4		.030 676 9		.034 714 4		.039 123 9		.043 928 9	
		58 7		64 4		70 3		76 7		83 5
12	.027 048 1		.030 741 3		.034 784 7		.039 200 6		.044 012 4	
		58 8		64 5		70 5		76 9		83 7
13	.027 106 9		.030 805 8		.034 855 2		.039 277 5		.044 096 1	
		58 9		64 5		70 6		77 0		83 8
14	.027 165 8		.030 870 3		.035 925 8		.039 354 5		.044 179 9	
		59 0		64 7		70 7		77 1		84 0
15	.027 224 8		.030 935 0		.035 996 5		.039 431 6		.044 263 9	
		59 1		64 7		70 8		77 2		84 0
16	.027 283 9		.030 999 7		.035 067 3		.039 508 8		.044 347 9	
		59 1		64 9		70 9		77 4		84 2
17	.027 343 0		.031 064 6		.035 138 2		.039 586 2		.044 432 1	
		59 3		64 9		71 0		77 4		84 2
18	.027 402 3		.031 129 5		.035 209 2		.039 663 6		.044 516 3	
		59 4		65 1		71 1		77 5		84 4
19	.027 461 7		.031 194 6		.035 280 3		.039 741 1		.044 600 7	
		59 4		65 1		71 2		77 7		84 6
20	.027 521 1		.031 259 7		.035 351 5		.039 818 8		.044 685 3	
		59 5		65 3		71 3		77 8		84 6
21	.027 580 6		.031 325 0		.035 422 8		.039 896 6		.044 769 9	
		59 7		65 3		71 4		77 9		84 7
22	.027 640 3		.031 390 3		.035 494 2		.039 974 5		.044 854 6	
		59 7		65 4		71 6		77 9		84 9
23	.027 700 0		.031 455 7		.035 565 8		.040 052 4		.044 939 5	
		59 8		65 6		71 6		78 2		85 0
24	.027 759 8		.031 521 3		.035 637 4		.040 130 6		.045 024 5	
		59 9		65 6		71 7		78 2		85 1
25	.027 819 7		.031 586 9		.035 709 1		.040 208 8		.045 109 6	
		60 0		65 8		71 9		78 3		85 2
26	.027 879 7		.031 652 7		.035 781 0		.040 287 1		.045 194 8	
		60 1		65 8		71 9		78 4		85 3
27	.027 939 8		.031 718 5		.035 852 9		.040 365 5		.045 280 1	
		60 1		65 9		72 0		78 6		85 5
28	.027 999 9		.031 784 4		.035 924 9		.040 444 1		.045 365 6	
		60 3		66 0		72 2		78 6		85 6
29	.028 060 2		.031 850 4		.035 997 1		.040 522 7		.045 451 2	
		60 4		66 2		72 3		78 8		85 7
30	.028 120 6		.031 916 6		.036 069 4		.040 601 5		.045 536 9	
		60 4		66 2		72 3		78 9		85 8
31	.028 181 0		.031 982 8		.036 141 7		.040 680 4		.045 622 7	
		60 6		66 3		72 5		79 0		85 9
32	.028 241 6		.032 049 1		.036 214 2		.040 759 4		.045 708 6	
		60 6		66 5		72 6		79 1		86 1
33	.028 302 2		.032 115 6		.036 286 8		.040 838 5		.045 794 7	
		60 8		66 5		72 6		79 2		86 1
34	.028 363 0		.032 182 1		.036 359 4		.040 917 7		.045 880 8	
		60 9		66 6		72 8		79 3		86 3
35	.028 423 8		.032 248 7		.036 432 2		.040 997 0		.045 967 1	
		61 9		66 7		72 9		79 5		86 4
36	.028 484 7		.032 315 4		.036 505 1		.041 076 5		.046 053 5	
		61 1		66 9		73 0		79 6		86 6
37	.028 545 8		.032 382 3		.036 578 1		.041 156 1		.046 140 1	
		61 1		66 9		73 1		79 6		86 6
38	.028 606 9		.032 449 2		.036 651 2		.041 235 7		.046 226 7	
		61 2		67 0		73 2		79 8		86 8
39	.028 668 1		.032 516 2		.036 724 4		.041 315 5		.046 313 5	
		61 3		67 1		73 3		79 9		86 9
40	.028 729 4		.032 583 3		.036 797 7		.041 395 4		.046 400 4	
		61 4		67 3		73 5		80 0		87 0
41	.028 790 8		.032 650 6		.036 871 2		.041 475 4		.046 487 4	
		61 5		67 3		73 5		80 1		87 1
42	.028 852 3		.032 717 9		.036 944 7		.041 555 5		.046 574 5	
		61 6		67 4		73 6		80 3		87 3
43	.028 913 9		.032 785 3		.037 018 3		.041 635 8		.046 661 8	
		61 6		67 5		73 8		80 3		87 3
44	.028 975 5		.032 852 8		.037 092 1		.041 716 1		.046 749 1	
		61 8		67 7		73 8		80 5		87 5
45	.029 037 3		.032 920 5		.037 165 9		.041 796 6		.046 836 6	
		61 9		67 7		74 0		80 6		87 6
46	.029 099 2		.032 988 2		.037 239 9		.041 877 2		.046 924 2	
		62 0		67 8		74 0		80 7		87 8
47	.029 161 2		.033 056 0		.037 313 9		.041 957 9		.047 012 0	
		62 0		67 9		74 2		80 8		87 8
48	.029 223 2		.033 123 9		.037 388 1		.042 038 7		.047 099 8	
		62 2		68 1		74 3		80 9		88 0
49	.029 285 4		.033 192 0		.037 462 4		.042 119 6		.047 187 8	
		62 2		68 1		74 4		81 0		88 1
50	.029 347 6		.033 260 1		.037 536 8		.042 200 6		.047 275 9	
		62 4		68 2		74 5		81 2		88 2
51	.029 410 0		.033 328 3		.037 611 3		.042 281 8		.047 364 1	
		62 4		68 4		74 6		81 2		88 4
52	.029 472 4		.033 396 7		.037 685 9		.042 363 0		.047 452 5	
		62 5		68 4		74 7		81 4		88 4
53	.029 534 9		.033 465 1		.037 760 6		.042 444 4		.047 540 9	
		62 7		68 5		74 8		81 5		88 6
54	.029 597 6		.033 533 6		.037 835 4		.042 525 9		.047 629 5	
		62 7		68 7		74 9		81 6		88 7
55	.029 660 3		.033 602 3		.037 910 3		.042 607 5		.047 718 2	
		62 8		68 7		75 0		81 7		88 8
56	.029 723 1		.033 671 0		.037 985 3		.042 689 2		.047 807 0	
		62 9		68 8		75 2		81 8		89 0
57	.029 786 0		.033 739 8		.038 060 5		.042 771 0		.047 896 0	
		63 0		69 0		75 2		82 0		89 1
58	.029 849 0		.033 808 8		.038 135 7		.042 853 0		.047 985 1	
		63 1		69 0		75 4		82 1		89 2
59	.029 912 1		.033 877 8		.038 211 1		.042 935 1		.048 074 3	
		63 2		69 2		75 5		82 1		89 3
60	.029 975 3		.033 947 0		.038 286 6		.043 017 2		.048 163 6	

インボリュート関数表 ④

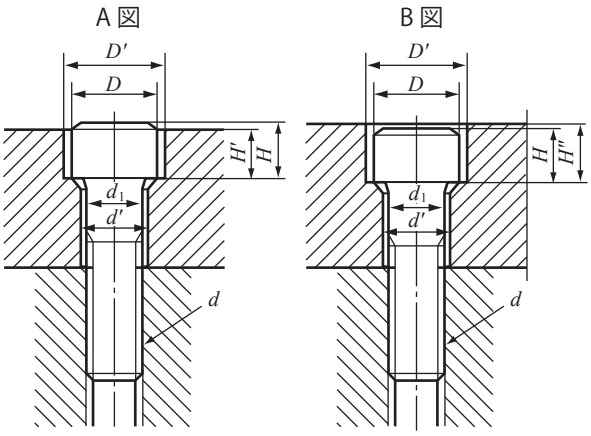
α′ \ α°	29		30		31		32		33	
	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差	inv α	差
0	.048 163 6		.053 751 5		.059 808 6		.066 364 0		.073 448 9	
		89 4		97 0		105 0		113 6		122 8
1	.048 253 0	89 6	.053 848 5	97 2	.059 913 6	105 3	.066 477 6	113 9	.073 571 7	122 9
2	.048 342 6	89 7	.053 945 7	97 3	.060 018 9	105 3	.066 591 5	113 9	.073 694 6	123 1
3	.048 432 3	89 8	.054 043 0	97 4	.060 124 2	105 5	.066 705 4	114 1	.073 817 7	123 2
4	.048 522 1		.054 140 4		.060 229 7		.066 819 5		.073 940 9	
		89 9		97 5		105 7		114 2		123 4
5	.048 612 0		.054 237 9		.060 335 4		.066 933 7		.074 064 3	
		90 0		97 7		105 8		114 4		123 5
6	.048 702 0	90 2	.054 335 6	97 8	.060 441 2	105 9	.067 048 1	114 6	.074 187 8	123 7
7	.048 792 2	90 3	.054 433 4	98 0	.060 547 1	106 1	.067 162 7	114 7	.074 311 5	123 9
8	.048 882 5	90 5	.054 531 4	98 1	.060 653 2	106 2	.067 277 4	114 8	.074 435 4	124 0
9	.048 973 0		.054 629 5		.060 759 4		.067 392 2		.074 559 4	
		90 5		98 2		106 3		115 0		124 1
10	.049 063 5		.054 727 7		.060 865 7		.067 507 2		.074 683 5	
		90 7		98 3		106 5		115 1		124 4
11	.049 154 2	90 8	.054 826 0	98 5	.060 972 2	106 6	.067 622 3	115 3	.074 807 9	124 5
12	.049 245 0	90 9	.054 924 5	98 6	.061 078 8	106 8	.067 737 6	115 4	.074 932 4	124 6
13	.049 335 9	91 0	.055 023 1	98 7	.061 185 6	106 9	.067 853 0	115 6	.075 057 0	124 8
14	.049 426 9		.055 121 8		.061 292 5		.067 968 6		.075 181 8	
		91 2		98 9		107 0		115 7		125 0
15	.049 518 1		.055 220 7		.061 399 5		.068 084 3		.075 306 8	
		91 3		99 0		107 2		115 9		125 1
16	.049 609 4	91 4	.055 319 7	99 1	.061 506 7	107 3	.068 200 2	116 0	.075 431 9	125 2
17	.049 700 8	91 6	.055 418 8	99 3	.061 614 0	107 5	.068 316 2	116 2	.075 557 1	125 5
18	.049 792 4	91 6	.055 518 1	99 4	.061 721 5	107 6	.068 432 4	116 3	.075 682 6	125 6
19	.049 884 0		.055 617 5		.061 829 1		.068 548 7		.075 808 2	
		91 8		99 5		107 7		116 5		125 7
20	.049 975 8		.055 717 0		.061 936 8		.068 665 2		.075 933 9	
		91 9		99 6		107 9		116 6		125 9
21	.050 067 7	92 1	.055 816 6	99 8	.062 044 7	108 0	.068 781 8	116 8	.076 059 8	126 1
22	.050 159 8	92 1	.055 916 4	100 0	.062 152 7	108 2	.068 898 6	116 9	.076 185 9	126 2
23	.050 251 9	92 3	.056 016 4	100 0	.062 260 9	108 3	.069 015 5	117 1	.076 312 1	126 4
24	.050 344 2		.056 116 4		.062 369 2		.069 132 6		.076 438 5	
		92 5		100 2		108 5		117 3		126 6
25	.050 436 7		.056 216 6		.062 477 7		.069 249 9		.076 565 1	
		92 5		100 3		108 6		117 3		126 7
26	.050 529 2	92 7	.056 316 9	100 5	.062 586 3	108 7	.069 367 2	117 6	.076 691 8	126 9
27	.050 621 9	92 8	.056 417 4	100 6	.062 695 0	108 9	.069 484 8	117 6	.076 818 7	127 0
28	.050 714 7	92 9	.056 518 0	100 7	.062 803 9	109 0	.069 602 4	117 9	.076 945 7	127 2
29	.050 807 6		.056 618 7		.062 912 9		.069 720 3		.077 072 9	
		93 0		100 9		109 2		118 0		127 4
30	.050 900 6		.056 719 6		.063 022 1		.069 838 3		.077 200 3	
		93 2		101 0		109 3		118 1		127 5
31	.050 993 8	93 3	.056 820 6	101 1	.063 131 4	109 4	.069 956 4	118 3	.077 327 8	127 7
32	.051 087 1	93 5	.056 921 7	101 3	.063 240 8	109 6	.070 074 7	118 4	.077 455 5	127 8
33	.051 180 6	93 5	.057 023 0	101 4	.063 350 4	109 8	.070 193 1	118 6	.077 583 3	128 0
34	.051 274 1		.057 124 4		.063 460 2		.070 311 7		.077 711 3	
		93 7		101 5		109 8		118 7		128 2
35	.051 367 8		.057 225 9		.063 570 0		.070 430 4		.077 839 5	
		93 8		101 7		110 1		118 9		128 3
36	.051 461 6	93 9	.057 327 6	101 8	.063 680 1	110 1	.070 549 3	119 1	.077 967 8	128 5
37	.051 555 5	94 1	.057 429 4	101 9	.063 790 2	110 3	.070 668 4	119 2	.078 096 3	128 6
38	.051 649 6	94 2	.057 531 3	102 1	.063 900 5	110 5	.070 787 6	119 3	.078 224 9	128 8
39	.051 743 8		.057 633 4		.064 011 0		.070 906 9		.078 353 7	
		94 3		102 2		110 6		119 6		129 0
40	.051 838 1		.057 735 6		.064 121 6		.071 026 5		.078 482 7	
		94 5		102 4		110 7		119 6		129 1
41	.051 932 6	94 5	.057 838 0	102 5	.064 232 3	110 9	.071 146 1	119 8	.078 611 8	129 3
42	.052 027 1	94 7	.057 940 5	102 6	.064 343 2	111 0	.071 265 9	120 0	.078 741 1	129 5
43	.052 121 8	94 9	.058 043 1	102 7	.064 454 2	111 2	.071 385 9	120 1	.078 870 6	129 6
44	.052 216 7		.058 145 8		.064 565 4		.071 506 0		.079 000 2	
		94 9		102 9		111 3		120 3		129 8
45	.052 311 6		.058 248 7		.064 676 7		.071 626 3		.079 130 0	
		95 1		103 1		111 5		120 4		130 0
46	.052 406 7	95 2	.058 351 8	103 1	.064 788 2	111 6	.071 746 7	120 6	.079 260 0	130 1
47	.052 501 9	95 4	.058 454 9	103 3	.064 899 8	111 8	.071 867 3	120 7	.079 390 1	130 3
48	.052 597 3	95 5	.058 558 2	103 5	.065 011 6	111 9	.071 988 0	120 9	.079 520 4	130 4
49	.052 692 8		.058 661 7		.065 123 5		.072 108 9		.079 650 8	
		95 6		103 5		112 0		121 1		130 6
50	.052 788 4		.058 765 2		.065 235 5		.072 230 0		.079 781 4	
		95 7		103 8		112 2		121 2		130 8
51	.052 884 1	95 9	.058 869 0	103 8	.065 347 7	112 3	.072 351 2	121 3	.079 912 2	130 9
52	.052 980 0	95 9	.058 972 8	104 0	.065 460 0	112 5	.072 472 5	121 5	.080 043 1	131 1
53	.053 075 9	96 2	.059 076 8	104 1	.065 572 5	112 6	.072 594 0	121 7	.080 174 2	131 3
54	.053 172 1		.059 180 9		.065 685 1		.072 715 7		.080 305 5	
		96 2		104 3		112 8		121 8		131 4
55	.053 268 3		.059 285 2		.065 797 9		.072 837 5		.080 436 9	
		96 4		104 4		112 9		122 0		131 6
56	.053 364 7	96 5	.059 389 6	104 5	.065 910 8	113 1	.072 959 5	122 1	.080 568 5	131 8
57	.053 461 2	96 6	.059 494 1	104 7	.066 023 9	113 2	.073 081 6	122 3	.080 700 3	131 9
58	.053 557 8	96 8	.059 598 8	104 8	.066 137 1	113 4	.073 203 9	122 4	.080 832 2	132 1
59	.053 654 6		.059 703 6		.066 250 5		.073 326 3		.080 964 3	
		96 9		105 0		113 5		122 6		132 3
60	.053 751 5		.059 808 6		.066 364 0		.073 448 9		.081 096 6	

メートル並目 および 細目ネジのピッチ

JIS B0205, 0207抜粋

ネジの呼び	ピッチ P			
	並目	細目		
M1	0.25	0.2		
M1.1	0.25	0.2		
M1.2	0.25	0.2		
M1.4	0.3	0.2		
M1.6	0.35	0.2		
M1.8	0.35	0.2		
M2	0.4	0.25		
M2.2	0.45	0.25		
M2.5	0.45	0.35		
M3	0.5	0.35		
M3.5	0.6	0.35		
M4	0.7	0.5		
M4.5	0.75	0.5		
M5	0.8	0.5		
M6	1	0.75		
M8	1.25	0.75	1	
M10	1.5	0.75	1	1.25
M12	1.75	1	1.25	1.5
M14	2	1	1.25	1.5
M16	2	1	1.5	1.5
M18	2.5	1	1.5	2
M20	2.5	1	1.5	2
M22	2.5	1	1.5	2
M24	3	1	1.5	2
M27	3	1	1.5	2
M30	3.5	1	1.5	2

次に記載することがらは，参考のために示すものであって，規格の一部ではない。



六角穴付きボルトに対するざぐりおよびボルト穴の寸法

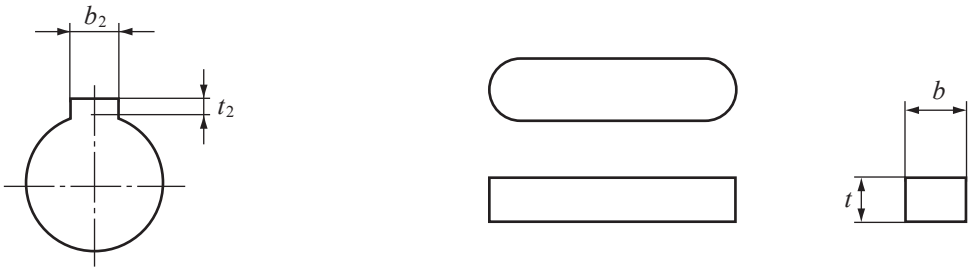
単位: mm

ねじの呼び (d)	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M45	M48	M52
d_1	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42	45	48	52
d'	3.4	4.5	5.5	6.6	9	11	14	16	18	20	22	24	26	30	33	36	39	42	45	48	52	56
D	5.5	7	8.5	10	13	16	18	21	24	27	30	33	36	40	45	50	54	58	63	68	72	78
D'	6.5	8	9.5	11	14	17.5	20	23	26	29	32	35	39	43	48	54	58	62	67	72	76	82
H	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36	39	42	45	48	52
H'	2.7	3.6	4.6	5.5	7.4	9.2	11	12.8	14.5	16.5	18.5	20.5	22.5	25	28	31	34	37	39	42	45	49
H''	3.3	4.4	5.4	6.5	8.6	10.8	13	15.2	17.5	19.5	21.5	23.5	25.5	29	32	35	38	41	44	47	50	54

備考　上表のボルト穴径 (d') は，JIS B 1001（ボルト穴径及びざぐり径）のボルト穴径２級による。

平行キー及びキー溝寸法

当社のギヤのキーみぞ寸法は下記の規格を採用しており、全てJIS B 1301に準拠しております。



キー材の寸法許容差

$b \times t$	3 × 3	4 × 4	5 × 5	6 × 6	8 × 7	10 × 8	12 × 8	14 × 9
b 許容差（h）	h9	h9	h9	h9	h9	h9	h9	h9
t 許容差（h）	h9	h9	h9	h9	h11	h11	h11	h11

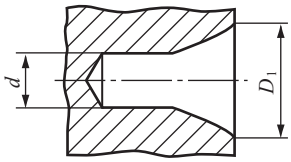
当社のギヤの穴径に適応するキーサイズ

単位：mm

適応する軸径	対応するKGギヤの穴径	キーみぞの寸法 $b_2 \times t_2$	幅		深さ	
			b_2	許容差 Js 9	t_2	許容差
ϕ 8 ～ ϕ10	ϕ 8	3 × 1.4	3	±0.0125	1.4	+0.1 0
	ϕ10					
ϕ10 ～ ϕ12	ϕ12	4 × 1.8	4	±0.015	1.8	
ϕ12 ～ ϕ17	ϕ14	5 × 2.3	5		2.3	
	ϕ15					
	ϕ16					
ϕ17 ～ ϕ22	ϕ18	6 × 2.8	6		2.8	
	ϕ20					
	ϕ22					
ϕ22 ～ ϕ30	ϕ25	8 × 3.3	8	±0.018	3.3	+0.2 0
	ϕ28					
	ϕ30					
ϕ30 ～ ϕ38	ϕ32	10 × 3.3	10		3.3	
	ϕ35					
ϕ38 ～ ϕ44	ϕ40	12 × 3.3	12	±0.0215	3.3	
ϕ44 ～ ϕ50	ϕ45	14 × 3.8	14		3.8	
	ϕ50					

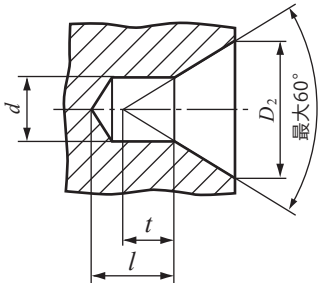
センタ穴旧 JIS B1011

R形



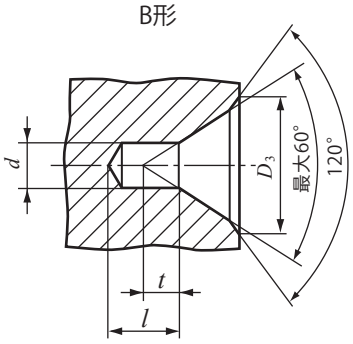
円弧形状をもつもの
（JIS B 4304によるセンタ穴ドリル）

A形



面取りをもたないもの
（JIS B 4304によるセンタ穴ドリル）

B形



面取りをもつもの
(JIS B 4304によるセンタ穴ドリル)

注* : 寸法 l は，センタ穴ドリルの長さに基づくが、t よりも短くてはならない。

推奨するセンタ穴の寸法

単位 : mm

d 呼び	種類				
	R 形 JIS B 4304による	A 形 JIS B 4304による		B 形 JIS B 4304による	
	D_1 呼び	D_2 呼び	*t* 参考	D_3 呼び	*t* 参考
(0.5)		1.06	0.5		
(0.63)		1.32	0.6		
(0.8)		1.70	0.7		
1.0	2.12	2.12	0.9	3.15	0.9
(1.25)	2.65	2.65	1.1	4	1.1
1.6	3.35	3.35	1.4	5	1.4
2.0	4.25	4.25	1.8	6.3	1.8
2.5	5.3	5.30	2.2	8	2.2
3.15	6.7	6.70	2.8	10	2.8
4.0	8.5	8.50	3.5	12.5	3.5
(5.0)	10.6	10.60	4.4	16	4.4
6.3	13.2	13.20	5.5	18	5.5
(8.0)	17.0	17.00	7.0	22.4	7.0
10.0	21.2	21.20	8.7	28	8.7

備考　括弧を付けて示した呼びのものは、なるべく用いない。

参考文献

本資料編作成に際し，下記の文献を参考または引用しました。

＜日本工業規格＞

JIS B 0041：1999　製図－センタ穴の簡略図示方法
JIS B 0102：1999　歯車記号－幾何学的定義
JIS B 0121：1999　歯車記号－幾何学的データの記号
JIS B 1301：1996　キー及びキー溝
JIS B 1701－1：1999　円筒歯車－インボリュート歯車歯形　第１部：標準基準ラック歯形
JIS B 1701－2：1999　円筒歯車－インボリュート歯車歯形　第２部：モジュール
JIS B 1702－1：1998　円筒歯車－精度等級
　第１部：歯車の歯面に関する誤差の定義及び許容値
JIS B 1702－2：1998　円筒歯車－精度等級
　第２部：両歯面かみ合い誤差及び歯溝の振れの定義並びに精度許容値
JIS B 1706－1：1999　すぐばかさ歯車－第１部：基準ラック
JIS B 1706－2：1999　すぐばかさ歯車－第１部：モジュール及びダイヤメトラルピッチ
旧JIS B 0102　歯車用語
旧JIS B 0121　歯車記号
旧JIS B 1701　インボリュート歯車の形状及び寸法
旧JIS B 1702　平歯車及びはすば歯車の精度
旧JIS B 1703　平歯車及びはすば歯車のバックラッシ
JIS B 1704　かさ歯車の精度
JIS B 1705　かさ歯車のバックラッシ
旧JIS B 1741　歯車の歯当たり
旧JIS B 1752　平歯車及びはすば歯車の測定方法
JIS B 4354　歯車用ホブ
JIS B 4355　小形歯車用ホブ
JIS B 4356　ピニオンカッタ
JIS B 4358　ラックカッタ
JIS K 2219　ギヤー油

＜日本歯車工業界規格＞

JGMA 1101－01（2000）　平歯車およびはすば歯車の中心距離の許容値
JGMA 1102－01（2000）　平歯車およびはすば歯車の軸の平行度
JGMA ／ TR0001（2000）　新旧JIS歯車精度の規格値対比表
JGMA 131－02（1965）　円筒ウォームの寸法
JGMA 401－01（1974）　平歯車及びはすば歯車の曲げ強さ計算式
JGMA 402－01（1975）　平歯車及びはすば歯車の歯面強さ計算式
JGMA 403－01（1976）　かさ歯車の曲げ強さ計算式
JGMA 404－01（1977）　かさ歯車の歯面強さ計算式
JGMA 405－01（1978）　円筒ウォームギヤの強さ計算式

＜外国規格＞

AGMA 250. 04（1981）　Lubrication of Industrial Enclosed Gear Drives
DIN E 3994（1963）　05歯形をもつ平歯車の転位
DIN E 3995（1963）　05歯形をもつ外歯平歯車（第1部から第8部）

＜単行本またはそれに類する資料＞
仙波正荘,「歯車（第１巻)」，日刊工業新聞社（1953）
成瀬政男（監修),「歯車の研究」，養賢堂（1960）
中田孝，和栗明，松山多賀一（監修),「歯車便覧」，日刊工業新聞社（1961）
DARLE W. DUDLY,「GEAR HANDBOOK」,MCGRAW-HILL BOOK Co.（1962）
平澤次郎,「設計家の歯車」，理工図書（1964）
酒井高男,「機構学大要」，養賢堂（1967）
山本晃 他（編集),「ねじ便覧」，日刊工業新聞社（1968）
仙波正荘（編集),「歯車規格集」，日本歯車工業会（1968）
仙波正荘,「小形歯車」，日刊工業新聞社（1969）
仙波正荘,「歯車（第１巻）新版」，日刊工業新聞社（1971）
中田孝,「新版 転位歯車」，誠文堂新光社（1971）
槌川武男，渡辺真（編集)「歯車加工ハンディブック」，日刊工業新聞社（1971）
塚本尚久,「円筒ウォームギヤ減速機の設計製図」，技報堂（1971）
G・ニーマン著，成瀬長太郎（訳),「機械要素」，養賢堂（1971）
大山政一,「歯車組立作業の秘けつ」，技術評論社（1971）
技能士の友編集部編,「歯車のハタラキ」，大河出版（1973）
仙波正荘（編集)「歯車伝動機構設計のポイント」，日本規格協会（1974）
大山政一，石川昌一,「トラブルのない歯車」，技術評論社（1974）
近畿歯車懇話会編，会田俊夫（監修)「円筒歯車の設計」，大河出版（1974分冊）
近畿歯車懇話会編，会田俊夫（監修)「円筒歯車の製作」，大河出版（1976分冊）
仙波正荘,「強い歯車の設計」，日刊工業新聞社（1976）
内山弘,「歯車概論」，啓学出版（1977）
仙波正荘,「新版 歯車の転位」，開発社（1978改訂版）
近畿歯車懇話会編，会田俊夫（監修)「かさ歯車とウォームギヤ」，大河出版（1979）
近畿歯車懇話会編，会田俊夫（監修)「歯車の精度と性能」，大河出版（1979）
日本機械学会編,「歯車強さの設計資料」，日本機械学会（1979）
仙波正荘,「歯車の強さ計算法」，日刊工業新聞社（1980）
和栗明（編著),「歯車の設計・製作とその耐久力」，養賢堂（1980）
佐々木賢市,「歯車製作の手順と実際」，技術評論社（1981）
豊田利夫,「設備診断の進め方」，日本プラントメンテナンス協会（1982）
長岡歯車製作所編,「歯車計算ハンドブック」，啓学出版（1983）
宗孝,「機械要素の設計基準」，日刊工業新聞社（1980）
両角宗晴,「遊星歯車と差動歯車の設計計算法」，産経出版社（1984）
両角宗晴,「ねじ解析理論とその応用」，産経出版社（1985）
日本歯車工業会編,「新歯車規格集」，日本歯車工業会（1990）

＜工業系雑誌および企業カタログ＞
Gleason Works,「INSTALLATION OF BEVEL GEARS」（1965）
小泉晋,「歯車の騒音と対策」，応用機械工学（1974-9），大河出版
宗孝,「機械要素の実践的設計」，機械設計（1976-1），日刊工業新聞社
日刊工業新聞社編,「機械要素の設計演習レポート《歯車》」，機械設計、（1976-7）
日刊工業新聞社編,「機械要素の設計演習レポート《歯車》」，機械設計別冊,（1976-7），日刊工業新聞社

SI 単位への切換えで問題になる単位の換算率表

	N	dyn	kgf
力	1	1×10^{5}	$1.019\,72 \times 10^{-1}$
	1×10^{-5}	1	$1.019\,72 \times 10^{-6}$
	9.806 65	$9.806\,65 \times 10^{5}$	1

	Pa	bar	kgf/cm²	atm	mmH₂O	mmHg 又は Torr
圧力	1	1×10^{-5}	$1.019\,72 \times 10^{-5}$	$9.869\,23 \times 10^{-6}$	$1.019\,72 \times 10^{-1}$	$7.500\,62 \times 10^{-3}$
	1×10^{5}	1	1.019 72	$9.869\,23 \times 10^{-1}$	$1.019\,72 \times 10^{4}$	$7.500\,62 \times 10^{2}$
	$9.806\,65 \times 10^{4}$	$9.806\,65 \times 10^{-1}$	1	$9.678\,41 \times 10^{-1}$	1×10^{4}	$7.355\,59 \times 10^{2}$
	$1.013\,25 \times 10^{5}$	1.013 25	1.033 23	1	$1.033\,23 \times 10^{4}$	$7.600\,00 \times 10^{2}$
	9.806 65	$9.806\,65 \times 10^{-5}$	1×10^{-4}	$9.678\,41 \times 10^{-5}$	1	$7.355\,59 \times 10^{-2}$
	$1.333\,22 \times 10^{2}$	$1.333\,22 \times 10^{-3}$	$1.359\,51 \times 10^{-3}$	$1.315\,79 \times 10^{-3}$	$1.359\,51 \times 10$	1

注　IPa=IN/m²

	Pa	Mpa or N/mm²	kfg/mm²	kgf/cm²
応力	1	1×10^{-6}	$1.019\,72 \times 10^{-7}$	$1.019\,72 \times 10^{-5}$
	1×10^{6}	1	$1.019\,72 \times 10^{-1}$	$1.019\,72 \times 10$
	$9.806\,65 \times 10^{6}$	9.806 65	1	1×10^{2}
	$9.806\,65 \times 10^{4}$	$9.806\,65 \times 10^{-2}$	1×10^{-2}	1

	Pa·s	cP	P
粘度	1	1×10^{3}	1×10
	1×10^{-3}	1	1×10^{-2}
	1×10^{-1}	1×10^{2}	1

注　IP = Idyn·s/cm² = Ig/cm·S,
IPa·s = IN·s/m², IcP = ImPa·s

KG GEAR'S WORLD WIDE NETWORK

SINGAPORE

TRIPOD TRADING PTE LTD.
10 Dickson Road,Singapore 209498
TEL 65 – 62950933
FAX 65 – 62950233
e-mail tripod@cyberway.com.sg

HAKURUMA TECNOLOGY PTE LTD.
13 kaki Bukit Road 1
#01-06/07 Eunos Technolink Singapore
451928
TEL 65 – 65478542
FAX 65 – 68489523
http://www.hakuruma.com
e-mail hakuruma@signet.com.sg

MALAYSIA

LETROMEC INDUSTRIES (M) SDN. BHD.
33, Persiaran Mahsuri 1/1, Sunway Tunas,
11900 Penang,Malaysia
TEL 60 – 4 – 6443741
FAX 60 – 4 – 6443749
http://www.letromec.com
e-mail ltlee@pc.jaring.my

HAKURUMA INDUSTRIES (M) SDN BHD.
No.23-B, Jalan TPP1/10, Taman
Perindustrian Puchong, Batu 12,
Jalan Puchong 47100 Puchong Selangor
D E Malaysia
TEL 60 – 3 – 80606971
FAX 60 – 3 – 80622840
http://www.hakuruma.com
e-mail hakuruma@streamyx.com

TAIWAN

YUNG HO COMPANY LTD.
5F. No.36 Kuan Chien Rd,Taipei 100 Taiwan,R.O.C.
TEL 886 – 2 – 2311-6561
FAX 886 – 2 – 2311-6469
e-mail shyungho@ms.hinet

THAILAND

SIAM IKEDA CO., LTD.
68-70 Soi Chalermkade 1 Yukoi 2 Road, Pomprab Bangkok 10100 Thailand
TEL 66 – 2 – 621 – 5583
FAX 66 – 2 – 621 – 5584
http://www.siamikeda.com
e-mail siamikeda@hotmail.com

KOREA

SAMSUNG KI KONG
1025-4 Chimsan 1-dong,Buk-Gu,Daegu 702-862, Korea
TEL 82 – 53 – 351 – 4700
FAX 82 – 53 – 351 – 8383
http://www.ssgg.co.kr
e-mail ssgg@ssgg.co.kr

USA

STOCK DRIVE PRODUCTS
2101 Jericho Turnpike, Box 5416, New Hyde Park, NY 11042-5416
TEL 1 – 516 – 328 – 3300
FAX 1 – 516 – 326 – 8827
http://www.sdp-si.com
e-mail support@sdp-si.com

UNITED KINGDOM

RELIANCE PRECISION MECHATRONICS
Rowley Mills Lepton Huddersfield England
HD8 0LE
TEL 44 – 0 – 1484 – 601002
FAX 44 – 0 – 1484 – 601061
http://www.reliance.co.uk
e-mail sales@rpmechatronics.co.uk

Reliance Holland
e-mail jb@reliance.co.uk

Reliance France
e-mail ph@reliance.co.uk

CHINA

HAKURUMA TECHNOLOGY PTE LTD. Representative office
Room 1301, Anji Building 760 Xizang Road Shanghai 200011 China
TEL 86 – 021 – 51019367
FAX 86 – 021 – 51019173
http://www.hakuruma.com
e-mail hakurumachina@hotmail.com

HANG ZHOU TOPSTAR TRANSMISSION CO., LTD.
Room 1, 11F, Tongbao Mansion, No.10,
Huancheng North Rioad, Hangzhou 310004 China
TEL 86 – 0571 – 85807183
FAX 86 – 0571 – 85807300

CATALOGUE No.
KG902

2008 年 10 月 1 日　初版発行
2009 年 6 月 23 日　第 2 版発行

編集／協育歯車工業株式会社
発行／協育歯車工業株式会社

ホームページアドレス　URL http://www.kggear.co.jp/

本　　社　〒 110-0015　東京都台東区東上野 1-8-3
総 務 部　電話(03)3831-8238㈹　FAX(03)3835-2877

営 業 部　〒 344-0057　埼玉県春日部市南栄町 14-9-13
電話(048)754-5842　FAX(048)754-1299

大 阪 支 店　〒 578-0965　大阪府東大阪市本庄西 1-4-46
電話(06)6745-4011㈹　FAX(06)6745-4089

名古屋支店　〒 456-0053　名古屋市熱田区一番 2-24-9
電話(052)652-7211㈹　FAX(052)652-7213

春日部工場　〒 344-0057　埼玉県春日部市南栄町 14-9-13
電話(048)754-5842　FAX(048)754-1299

技　　術　電話(048)763-4905(ダイヤルイン)

KYOUIKU GEAR MFG. CO., LTD.
Singapore Branch
BLK 808 French Road, #07-163,
Kitchener Complex, Singapore 200808
TEL : 65-62996494
FAX : 65-62995405

制作／全研本社株式会社