

歯車の基礎知識

『歯車の基礎知識』

1. 歯車とは

歯車とは「次々にかみ合う歯によって、運動を伝達する機械要素」を言う。あるいは、「回転できる二軸に固定する剛体に凹凸面（歯）を設け、一方の凸面が相手の凹面に次々に入り込んで、すべり接触を行うことによって、一つの軸から他の軸に回転運動を伝える（回転運動の極限の場合として、一方が直進運動を行うもの{ラック}も含む）機械要素を歯車と言う」などと定義されている。

2. 歯車の特徴

一つの軸からもう一方の軸へ動力を伝達する方法として、歯車・ローラーチェーン・ベルト・ロープ及び摩擦車などいろいろあるが、確実に滑りなく動力を伝達する方法として歯車が最も優れている。その理由として次のことが考えられる。

- ①時計用歯車のような小さい歯車から、船用タービン歯車のような大きい歯車まで、伝達動力の範囲が広い。
- ②端数の組合わせを替えることにより、回転比を自由に且つ適確に選べること。
- ③歯車の組合わせの数を増減することによって、回転軸相互の関係位置が自由にできること。
- ④歯車を使用した装置の構造は、比較的簡単でその製作も容易であること。一方欠点としては、ある歯車の歯数の組合わせが決まると回転比は一定不変となり、無段変速ができないことである。

3. 歯車の種類

歯車はその形状、用途、材質その他いろいろな種類に分けられるが、歯車軸によって分類するとつぎの3つに分類できる。

- ①二軸が互いに平行である歯車
平歯車・はすば歯車・内歯車・ラック
- ②二軸が一点で交わる歯車
すぐばかさ歯車・曲がり歯かさ歯車
- ③二軸が食い違っていて平行でもなければ交わりもしない。
ねじ歯車・ウォームギヤ・ハイポイドギヤ

4. 歯車の各部の名称

一対のかみ合った標準歯車を用いて歯車の各部の名称を説明する。

- ①歯車の大きさを表す基本寸法
歯の大きさは、ミリメートル式のモジュール m 、またはインチ式（米英系）のダイヤメトラルピッチ p で表す。
モジュールとは基準ピッチ t_0 を円周率 $\pi=3.1416$ で割った値である。
- ②ピッチ円直径 d_0
 $d_0 = Z_1 \times m$ Z_1 : 歯車の歯数 m : モジュール
- ③歯末のたけ h_k
歯末のたけは標準歯車ではモジュールの値と同じである。
 $h_k = m$
- ④歯元のたけ h_f
歯元のたけはピッチ円半径から歯底円半径を引いた値で決まる。
 $h_f = 1.25m$
- ⑤頂げき C_k
歯車がかみ合った時、小歯車の歯先と大歯車の歯元（または大歯車の歯先と小歯車の歯元）との間にすきまがある。このすきまは、歯と歯がかじらないように作った逃げで、これを頂げきと言う。
 $C_k = 0.25m$
- ⑥有効歯たけ h
有効歯たけはかみ合いに有効に作用する歯たけである。次の式で表される歯車を並歯と言う。
 $h = 2m$
- ⑦歯先円直径 d_{k1}
歯先円直径は、歯先を連ねた円の直径で次の式で与えられる。
 $d_{k1} = d_0 + 2m$
- ⑧歯底円直径 d_{r1}



歯車の基礎知識

歯底円直径は、歯底を連ねた円の直径で次の式で与えられる。

$$d_{r1} = d_o - 2 \cdot 5m$$

⑨基礎円直径 d_{g1}

インボリュート曲線を作成する際に、丸い筒に糸を巻きつけ、その糸の先に鉛筆をつけて、糸を引っ張りながらその糸をほどいていくと描かれた曲線がインボリュート曲線ですが、この時使用した丸い筒の直径を基礎円直径と言う。

$$d_{g1} = d_o \cos \alpha \quad \alpha : \text{圧力角}$$

⑩円ピッチ t_o

円ピッチとは、ピッチ円の円周長さを歯数で割った値である。

$$t_o = \pi d_o / Z_1 = \pi m$$

⑪法線ピッチ t_e

法線ピッチは次式で与えられる。

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

⑫中心距離 a

かみ合う一對の歯車の中心距離はそれぞれのピッチ円半径を加えたものである。

$$a = m (Z_1 + Z_2) / 2$$

⑬圧力角

小歯車と大歯車の基礎円への共通接線（これを作用線と言う）と中心線に対する垂直角となす角度を圧力角と言う。一般に圧力角は 20° と 14.5° が普通である。

⑭かみ合い率 ϵ

かみ合い率は作用線上のかみ合い長さを法線ピッチで割った値で、歯車のかみ合いに重要な要素である。

⑮歯厚

歯厚には円弧歯厚、弦歯圧及びまたぎ歯厚がある。

⑯バックラッシュ

バックラッシュとは歯車をかみ合わせた時の歯面間の遊び、またはすきまのことを言う。歯車装置を製作する時、歯車や歯車箱の製作上の誤差や歯車が回転した時の温度上昇による膨張により歯と歯がせって正しいかみ合わせができなくなるので、これを防止するためにバックラッシュが必要となる。

⑰切り下げ

切り下げとは、工具の歯先で歯車の歯元における歯形曲線の一部が切り下げられる現象を言う。切り下げが生じると、インボリュート歯面の一部が取り去られるので、かみ合い長さが減少したり歯元がくびれることで歯の曲げ強さが弱くなるなどの不都合が発生する。

⑱歯形修整

歯形修整とは、歯先修整と歯元修整の総称を言う。

歯先修整とは、正しい歯形曲線に対し歯先を逃がすことを言い、歯に荷重がかかり、たわんだ時に歯先が相手の歯元に食い込むのを避けることと、油膜を切ることを避けること及び騒音を小さくするなどの効果がある。

歯元修整とは、正しい歯形曲線に対し歯元を逃がすことを言い、目的は歯先修整と同じである。

⑲セミトッピング[Fig. 1]

前項の歯形修整と同じ目的で施す方法を言う。これはあらかじめセミトッピングできるように製作した歯切り工具により、歯面を仕上げるのと同時に歯先の面取り加工を行うものである。セミトッピングした歯車は厳密に言うとセミトッピングに相当したかみ合い率が小さくなるが、一般にセミトッピング量はごくわずかであるため、実用上問題ないと考えられている。

⑳クラウニングとレリービング[Fig. 2] [Fig. 3]

歯車を製作する時の歯すじ方向誤差、歯車箱を製作する時や組立誤差による軸の平行誤差、軸の食い違い及び歯車が実際に運転された時の荷重による歯のたわみや軸のたわみはいずれも歯面の当たり面積が少なくなるような悪い影響を与え、その量が大きくなることを片当たりと言う。片当たりは、本来なら歯車の歯幅で一樣に受けるべき荷重をごく狭い面積で受けるため、歯の折損やピッチング（歯面から金属の小片が除去されて小さな穴やくぼみのできる状態）の発生と言う好ましくない現象になる。これを避けるためにクラウニングまたはレリービングを施す。

Fig. 1 セミトッピング

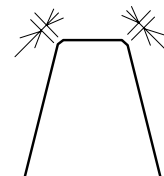


Fig. 2 クラウニング

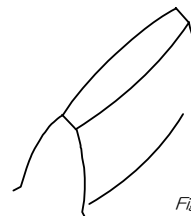
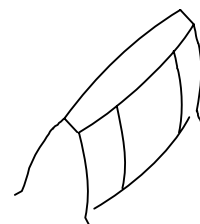


Fig. 3 レリービング



歯車の基礎知識

5. 代表的な歯車の特性・特徴

《円筒歯車》

(特性・特徴)

「ピッチ面が円筒である歯車」を円筒歯車という。円板、円筒の外周又は内側に歯を付けたものを言う。

平歯車

「歯筋が軸に平行な直線である円筒歯車」で、最もポピュラーな歯車である。歯車の代表といえスパークギヤとも言う。

はすば歯車

「歯筋がツルマキ線である円筒歯車」で、平歯車の歯を斜めにしたように見え、一般にそう思われがちであるが、正確には円筒の外周にツルマキ線上にしたものである。ヘリカルギヤとも言う。

平歯車に比べ、かみ合い率が向上するので、強度・騒音に対して有利である。

やまば歯車

「左右両ネジレはすば歯車の組み合わせたもの」で、歯を真横から見ると歯が山のように見えるからこう呼ばれる。ただし、反対から見ると山が下向きに見える。

ラック

「平らな板またはまっすぐな棒の一面に、等間隔に同形の歯を刻んだもの」で円筒歯車の半径が無限大に大きくなったものの一部といえる。歯筋がすぐばのもの、はすばのものがあり、組み合わせられる小歯車(ピニオン)は普通の円筒歯車である。

内歯車

「円筒または円すいの内側に歯が作られている歯車」で、この反対、つまり普通の歯車は外歯歯車である。内歯車のかみ合う相手は必ず外歯歯車である。また、円すいの内側に歯を付けたものは2軸が平行にならず、相手もかさ歯車になる。

《かさ歯車》

(特性・特徴)

「交わる2軸間に運動を伝達する円すい形の歯車」を言う。ベベルギヤとも言う。

交わる2軸の角度は自由に設定できるが、直角に交わるものがほとんどであり、機械の構成上、製作上から直角が一番良く精度も出し易い。

すぐばかさ歯車

「歯筋がピッチ円すいの母直線と一致するようなかさ歯車」で、要するに歯がまっすぐなものである。

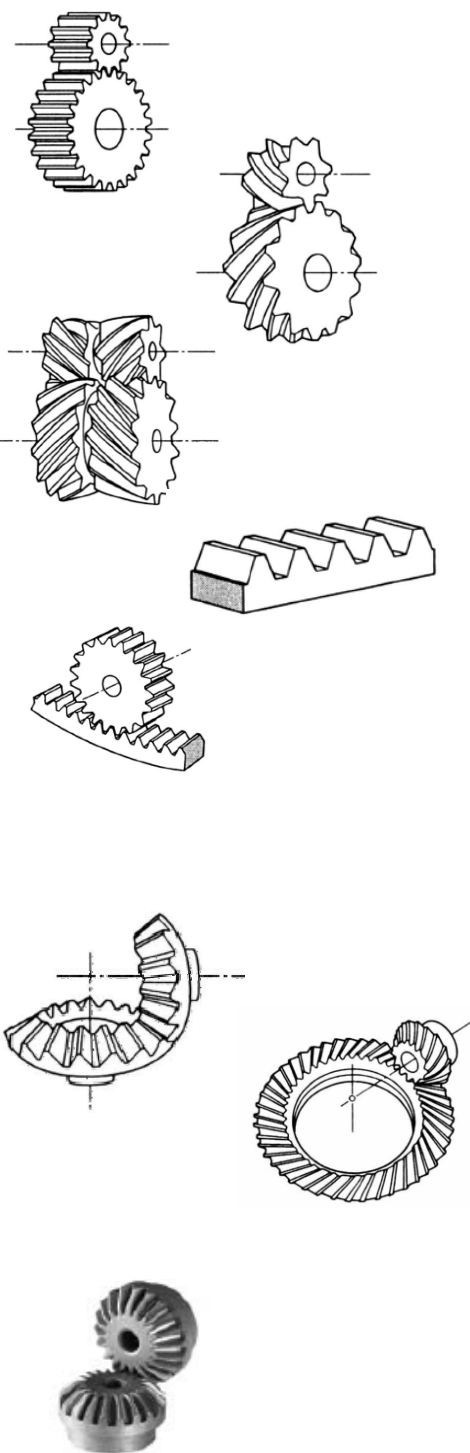
まがりばかさ歯車

定義ははすば歯車と同じで「これとかみ合う冠歯車の歯筋が曲線であるかさ歯車」であるが、はすば歯車の歯筋が実際は曲線であるにもかかわらず、見た目に直線に見えるのに対し、まがりばかさ歯車は曲がって見える。

まがりばかさ歯車のなかで、歯筋のネジレ角が0のもののをゼロロールベベルギヤという。

マイタ歯車

直交する2軸の両方のかさ歯車の歯数が同じ場合には、この1組2個の歯車のことを言う。両方の歯数が同じことからピッチ面は45°である。



歯車の基礎知識

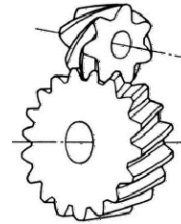
《くいちがい軸》

(特性・特徴)

「交わらず、かつ平行でもない2軸、すなわち食い違い軸の間に伝達する歯車の総称」を言い、2軸が平行であると円筒歯車になり、2軸が交わる場合ではかさ歯車になり、そのどちらでもないのがこれである。

ねじ歯車

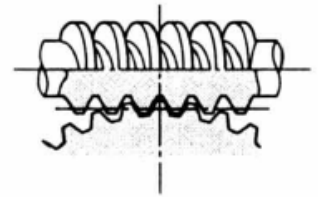
「円筒歯車の対を食い違い軸間の運動伝達に利用した時の歯車」で、円筒歯車の平行な2軸をひねって、平行でなくしたものである。これは、片方の1個だけでは円筒歯車になる。



ウォームギヤ

「ウォームとこれにかみ合うウォームホイールからなる歯車の総称」で、ねじ歯車の小歯車をうんとねじったものである。ほかの歯車は転がり接触しているのに対し、これは滑り接触になるため、熱を発生し機械効率が悪いが、音が静かである特徴がある。

通常の1対の歯車は、どちらを駆動歯車にしても回転は伝わるが、ウォームギヤはウォームからしか駆動できない、非可逆性の特徴がある。



ハイポイドギヤ

「食い違い軸の間に運動を伝達する円すい状の歯車の対」で、かさ歯車の2軸が交わらないものである。

一般に、減速比は1/10までであるが、**ハイレシオ ハイポイドギヤ**は高減速比が可能で、設計によってはウォームギヤ同様に非可逆性を持たせることができる。

ハイポイドギヤの2軸の食い違い距離を大きくしたものを**スピロイドギヤ**という。



6. プラスチック歯車

プラスチック歯車は次のような特徴を生かして、化学・食品・家電・事務機・精密機械などの分野に広く利用されている。

- 軽い
- 薬品に侵されにくい
- さびない
- 騒音が少ない
- 自己潤滑性が有り、無潤滑運転も可能
- 大量生産によるコストダウンが可能

プラスチック歯車を使用する際の注意を下記に述べる。

① 金属製の歯車と組み合わせる。

プラスチックは熱伝導率が小さいので、温度が上昇し易い。そこで相手歯車を金属製にすれば温度上昇を低く抑えることができる。

② バックラッシュと中心間距離を大き目にとる

プラスチックは金属に比べて、温度上昇や吸湿による寸法増加が大きいので、これを見込んでバックラッシュと中心間距離を大き目にとっておく。ポリアセタールの歯車で常温の時バックラッシュはモジュールの6~10%程度とり、中心距離はモジュールの20%程度大き目にとる。運転中に温度上昇がある場合は熱膨張を考慮して更に大きくする。

③ プラスチック歯車の取り付け

プラスチック歯車は固定された軸の回りを回転させる使い方が多い。軸と共に回転させるため歯車を固定する時は、軽負荷の時は圧入する。負荷が大きい時は軸とボスの断面をD字形にして圧入することもあるが、プラスチック側が割れる原因になることも多いので、使用する時には充分注意をする。

④ 複合歯車

プラスチック歯車で最も特徴が生かせるのが複合歯車である。大小の歯車の組み合わせ、歯車とカム、プーリ、ラチェットなどいろいろな組み合わせのものを一体化し、小型化とコストダウンを図る。

⑤ プラスチック歯車の形状

歯車に限らずプラスチックの成形の原則は、肉厚を均一にし、強度上許される限り薄く設計することである。肉厚が不均一であると、成形時の冷却が不均一となるため、内部歪みが生じたり、肉厚部にヒケやボイドが発生する。また、肉厚が厚いと成形サイクルが長くなったり、寸法精度が出ないと言った不具合が発生する。

歯車の基礎知識

⑥潤滑

プラスチックに自己潤滑性がある場合、低速で低負荷の場合潤滑剤は使用しない。中負荷以上の時や、ウォームの潤滑は油またはグリースを使用する場合と、フッ素系樹脂や油を含油したプラスチックを使用する場合がある。

騒音が大きい時、ごく少量の油やグリースを歯面に塗ると騒音が飛躍的に下がる。また高速の場合には冷却のために十分な油を供給するのが良い。

7. 歯車の不具合

《折損》

歯の折損はたいていの場合、疲労折損が問題になり、これは材料の疲労限度以上の曲げ応力が歯に繰り返し加わった時に生じる。普通、歯元すみ肉部分におけるき裂として始まり、歯の根本に沿って歯筋方向に、或いは斜め上にこのき裂が進行して折損に至る。破面は比較的滑らかで、き裂の起点が認められ、その周りに貝殻状の模様が見られることが多い。なお、疲労折損は設計不良、過負荷、片当たり及びすみ肉部丸み半径過小などのため発生するが、表面付近の欠陥などによっても発生する。

《摩耗》

現用の歯車歯形の大部分がインポリユート系の曲線であるため、歯のかみ合いは滑りを伴う転がり接触であり、歯面間の潤滑油膜が不足すると歯面材料が摩耗することは避けられない。

《塑性変形》

過大応力により材料が降伏し、このため生じた表面層の塑性流動、歯の倒れ、圧痕などが含まれる。ひどい場合は歯のかみ合い円滑さを阻害し、ピッチングや折損の原因となるが、軽度の場合は運転に全く影響が無く、引き続き使用可能なことが多い。

《歯面疲労》

歯面に繰り返し負荷が加わり、歯の表面下材料が疲労を起こすことによる損傷で、現実にはもっとも多く起きていと見られる。

ピッチング

かみ合い部分の歯面に圧力が加わることによって、加工硬化が起こり、その硬化層が金属内部から剥がれる現象を言う。従って、表面硬化処理した歯面でも発生する。一般的に運転初期に起こり易く、だいたいピッチ点近くから発生する。

スポーリング

特に高荷重のため表面下で疲れが起こり、比較的大きい金属片が歯面から剥離する現象で、主に歯面硬化歯車に発生する。表面硬化層と心部との境界に沿ってき裂が発生進展し、歯面がかなりの範囲に渡って剥離する場合もあり、特に、ケースクラッシングと呼ばれる。

《熱的損傷》

歯面の摩擦などによる発熱が原因で生じる温度上昇により歯面が受ける損傷をまとめて熱的損傷としたが、最近では、歯車の高速化により大きな問題となっている。

スコーリング（スカuffing）

かみ合った歯面間の潤滑油の油膜が切れて、歯面にできる“引っかき”や“かじり”の傷を言う。油膜が切れるのは、荷重の増大、高速回転といったことが原因である。こんな時にミクロな突起が、高圧、高温で溶着状態になり、それが、互いに引っかき合うようになったものである。或いは摩耗した微細な金属粉が原因ともいわれる。ひとたびこれが発生すると、つぎつぎと増大して歯面を引っかき取るような現象になる。



歯車の基礎知識

【参考文献】

- 1) KHK小原歯車カタログ
- 2) メイテック設計ノウハウデータベース委員会、デザインAtoZ、日経メカニカル（1989年3月20日号）
- 3) 宗 孝、使用実績に基づく機械設計の実用設計、日刊工業新聞社
- 4) 歯車のハタラキ、技能ボックス

