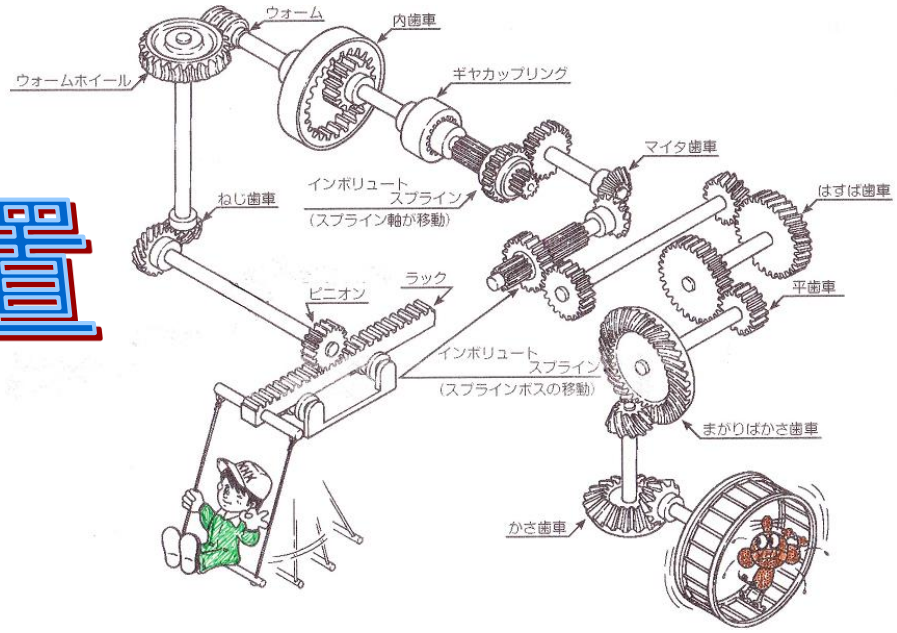
歯車装置



各種の歯車（小原歯車工業）

種類・用途

歯車：2つの回転軸に固定したディスク等の歯によって運動を伝達する機械要素。また、かみあう歯同士は滑り接触を行う（極限の場合として、一方が直線運動を行う「ラック」を含む）

2010年市場規模: 歯車－1,064億円、 減速機－1,896億円 （経済産業省）

表50-1 各種歯車の用途・特徴

種 類	特 徴	用 途 例
平歯車	・もっとも簡単で作りやすく一般的 ・軸方向の力がかからない ・高い精度のものが得られる	一般的な動力伝達用
はすば歯車	・平歯車より強度大 ・平歯車に比べ振動・騒音が小 ・軸方向にスラスト力がかかる	一般的な伝動装置。自動車、減速機
ラックとピニオン	・回転運動⇔直線運動の変換	工作機械、印刷機械、ロボット、自動装置、搬送装置
内歯車（相手は外歯車）	・同一回転方向で変速 ・内・外歯車の歯数差に制限 ・一般に外歯車が駆動側 ・構造が簡単で小型にできる	減速率の高い遊星歯車装置、クラッチ等に使用
すぐばかさ歯車	・製作は比較的簡単 ・減速比は1:5程度まで可能	工作機械、印刷機械、差動装置
まがりばかさ歯車	・歯当たり面積、強度、耐久性大 ・減速比が大きくとれる ・すぐばより静粛、伝動効率大 ・製作はやや困難	自動車、トラクター、車両、船舶など。高負荷高速運転に適している
ねじ歯車	・減速、増速の両方が可能 ・滑り接触のため磨耗しやすい ・大馬力の伝動には不適	自動車の駆動装置、自動機械
ウォームギア	・小型で大きな減速比 ・かみ合いが静かで円滑 ・ホイールからウォーム駆動できない	逆転防止歯車装置、工作機械、割出装置、チェーンブロック、携帯発電機

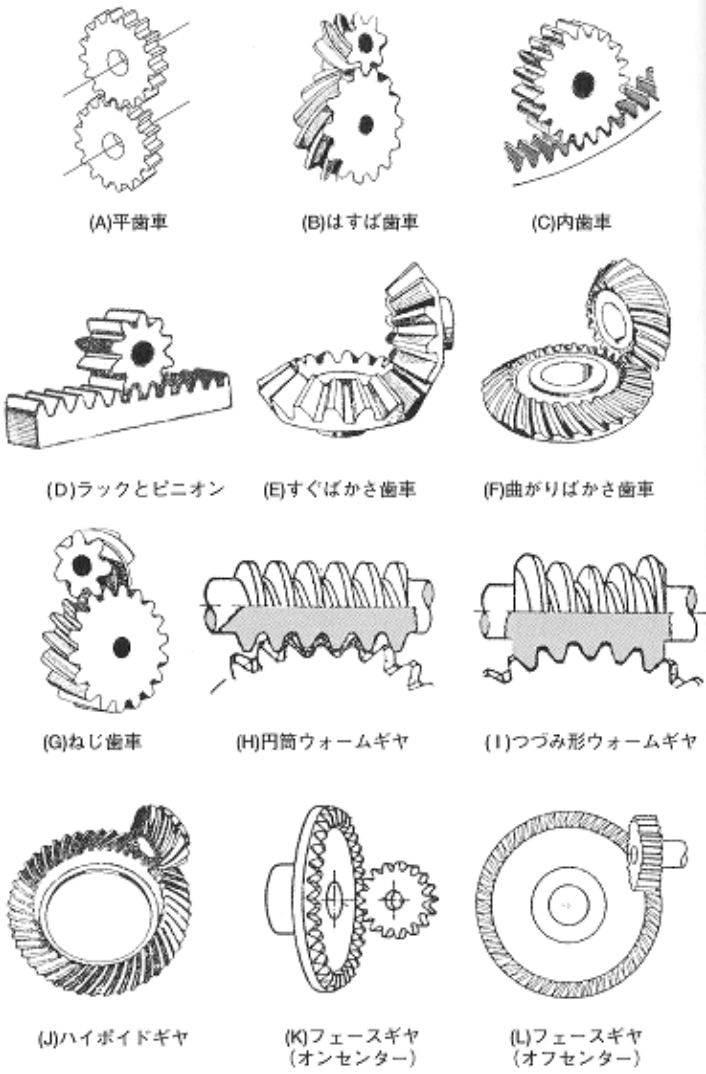


図50-1 各種歯車 ②

歯形と動力伝達

歯車のおもな機能：一(1)回転を伝える（回転方向の変換、変速を含む）、(2)回転動力（回転数とトルク）の伝達、(3)位置を決める。 とくに大きなトルクを滑りなく着実に伝達する場合は歯車装置が有効

歯車装置の基本仕様：1.中心間距離、2.速度比（＝歯数比）、3.伝達トルク、4.周速

歯型：JISではインボリュート歯型

インボリュート歯車の特徴；1.中心距離が多少ずれても正しくかみ合う、2.歯型が作りやすく安価、 3.歯元は太くて丈夫、 4.代表的な歯型

サイクロイド歯型；円を転がした円周の1点の軌跡。時計などに使用

モジュール（m）：歯の大きさを示す基本指標。m＝基準円直径／歯数。一般に基準ピッチ円から歯の先端までの高さ＝m

圧力角＝歯面の1点（普通はピッチ点）において、その半径線と歯形への接線のなす角度／JISでは20度のものが一般的

増減速比：歯数の違う歯車を組み合わせて減速や増速に用いる。回転角度の比は歯数の比の逆数。トルクの比＝ピッチ円半径の比。歯数比は整数比を避ける

噛み合い率：一対の歯車で同時にかみ合っている歯数の割合で、騒音、振動、強度、回転むらなどに影響を与える。実際は1.2以上が必要（理論的には＞1）。普通は1.4～1.8

歯車の動力伝達効率：歯車は歯面の摩擦などで伝達動力の一部を損失する。

表50-2　歯車の伝達効率

平行軸（平歯車、はすば歯車等）		98～99.5%
交差軸（かさ歯車）		98～99
食い違い軸	ウォームギア	30～90
	ねじ歯車	70～95

注） 軸受損失、潤滑油攪拌損失は含まず

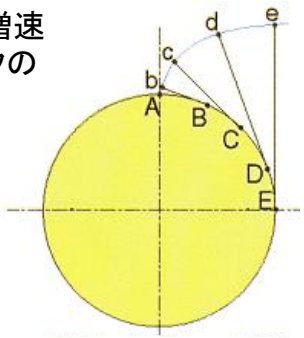


図50-4　インボリュート曲線 ②

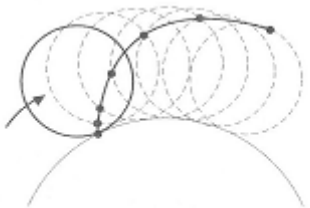


図50-5　サイクロイド曲線 ③

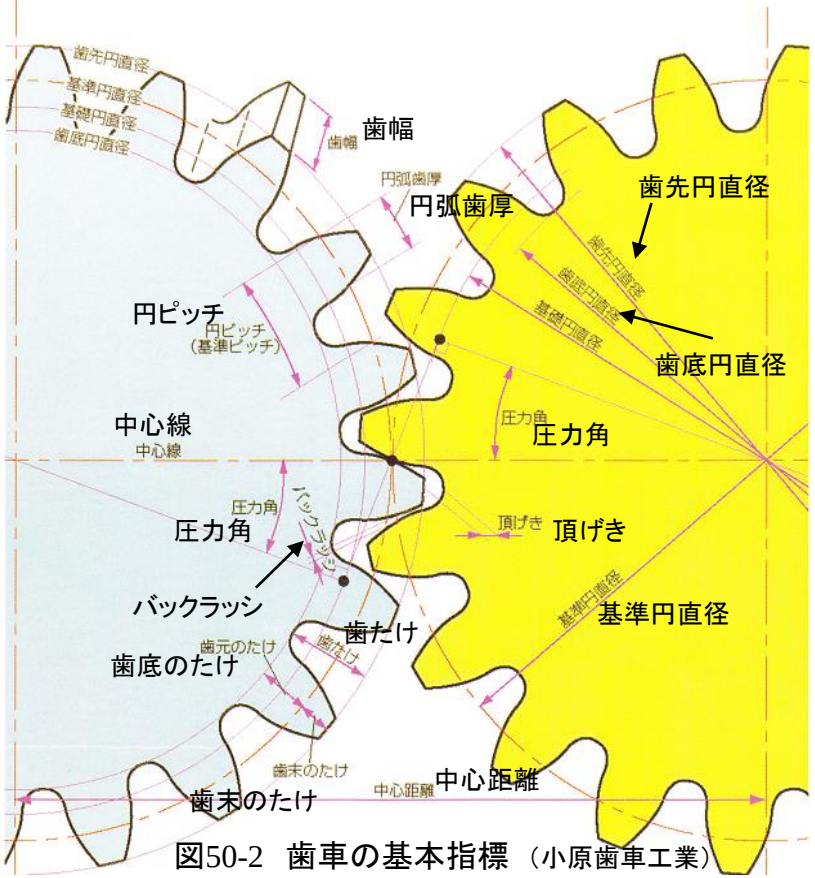


図50-2　歯車の基本指標 （小原歯車工業）

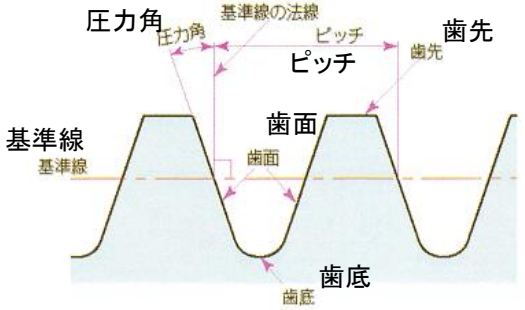


図50-3　基準ラック歯形

歯車材料

歯車はそれぞれの用途に合わせて鉄系、非鉄金属、プラスチックなどの材料で作られる。材料の種類や熱処理の違いにより歯車の強さも異なる

表50-3　代表的な歯車材料　⑤⑥

種　類	JIS 記 号	強度データ	用途・特徴
機械構造用炭素鋼	S43C、S45C、S48C、S15K	引張強さ　＞690　N/mm2 伸び　＞17 硬さHB　＞201	一般的な歯車材料。高周波焼入が可能
機械構造用合金鋼	SCr420、SCM415、SCM440、SNC815、SNCM220	引張強さ　＞780　N/mm2 伸び　＞12 硬さHB　217～388	焼入、焼戻、または浸炭焼入により表面硬化して使用。一般的な歯車材料
ねずみ鋳鉄	FC220	引張強さ　＞220　N/mm2	鋼より低強度、大量生産
球状黒鉛鋳鉄	FDC500-7	引張強さ　＞500　N/mm2 伸び　＞7 硬さHB　150～230	高強度ダクタイル鋳鉄。大型鋳造歯車
ｽﾃﾝﾚｽ鋼	SUS303、SUS304、SUS316、SUS420J2、SUS440C	引張強さ　＞520　N/mm2 伸び　＞40 硬さHB　＜187	耐食性。食品機械向け
ｱﾙﾐﾆｳﾑ青銅鋳物	CAC702	引張強さ　＞490　N/mm2 伸び　＞20 硬さHB　＞120	強さ、耐食性、耐壊食性、耐摩耗性を必要とするもの。小型船舶用プロペラ軸歯車
青銅鋳物	CAC406C	引張強さ　＞245　N/mm2 伸び　＞15	耐圧性、耐摩耗性、被削性、鋳造性がよい。一般機械用
ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	MC901、MC620ST、M90	引張強さ　＞62　N/mm2 硬さHRR　＞80	軽量化、錆びない、射出成形（M90)

注）　強度データは代表的な材料の値を示す

図50-6　ダイカスト歯車　（チバダイス）

図50-7　アルミニウム青銅鋳物歯車
（山一特殊合金）

図50-8　プラスチック歯車
（中国のメーカ）

加　工

歯車の歯の形がインボリュート曲線であることを利用して歯の加工をするのが創成歯切り。この方法で精度の高い歯車を作ることができるが、コストはかかる。安価な歯車は鋳造や転造で作られる

歯切り：精度のよい歯切りーー歯車の軸心と傾きの精度の高いこと
ー1.軸穴の精度、　2.軸穴と両側面の直角度、3.両側面の平行度

〇ラック工具による創成歯切りー水平円盤の歯車素材にラック形状の歯切り工具を上から押し下げて歯を創成。ラックと歯車素材を1ピッチずつずらして加工を繰返し、全周を加工

〇ピニオンカッタによる創成歯切りーラックの代わりに歯車形状のピニオンカッタを使って歯切りする

〇ホブ盤による歯切りーラック歯型形状のねじを高速回転させて円盤素材を加工する。短時間の歯切り加工が可能

熱処理／表面処理（動力伝達用の金属製歯車）：組織の均一化、硬さの調整、経年変化による変形防止のため。高負荷の動力伝達用では、歯面の高い面圧強度が要求される。また、歯元には大きな曲げ応力が生じる。「焼入れ」では歯の表面部分だけを硬くして内部は靭性を残すよう「表面焼入れ」が必要

〇浸炭焼入れー低炭素鋼（0.2%C）を炭素雰囲気で930℃、3～4hr加熱して約1mm深さまで炭素を浸入させ、その後焼き戻しを行う

〇窒化処理ー570℃アンモニアガス雰囲気で表面0.2m程度に窒素を浸入させ、表面硬化させる。浸炭より表面硬度は高くなる

〇高周波焼入れー0.4～0.45%Cの鋼にフィルムを巻いて高周波電流を流して歯表面を約800度に加熱した後焼戻しする　②

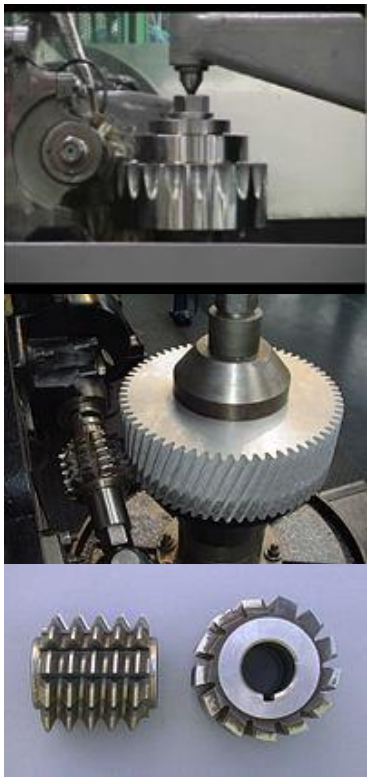
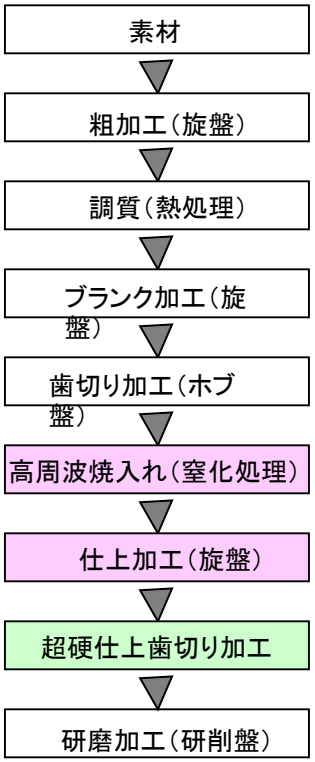


図50-10　ホブ盤とホブ　（Wikipedia）



注）■または■は省略することもある

図50-9　歯切り加工工程

歯面仕上げ：高速回転、高荷重で使う歯車は歯面をシェービングカッタで磨き上げて表面粗さを小さくし、同時に浸炭焼入れ等によって生じる歪を除去する。この結果高速でも静粛な運転が可能になる

●クラウニングー平行軸の歯車で二つの歯車の軸の平行度の誤差により、運転中歯の端部が片当りする。これを避けるため、歯すじに沿って中央が膨らんで両端が薄くなるようわずかな曲面に仕上げる

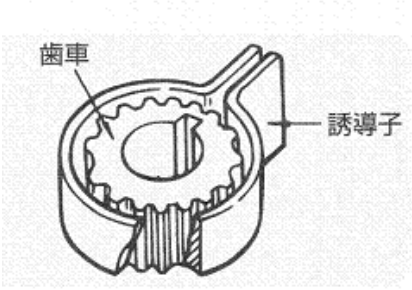


図50-11　高周波焼入れ
（小原歯車工業）

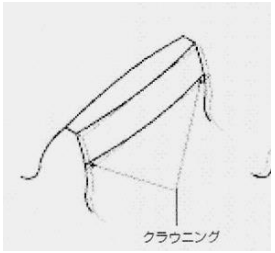


図50-12　クラウニング
（小原歯車工業）

用　途

産業用の歯車装置は一般に高速、大動力であり、高精度のものが使われる。歯面にかかる負荷も高いので、組立の際の軸の傾き、中心間距離などに細心の注意が払われる

図50-13　自動車用減速機
（プロが教える自動車のメカニズム）

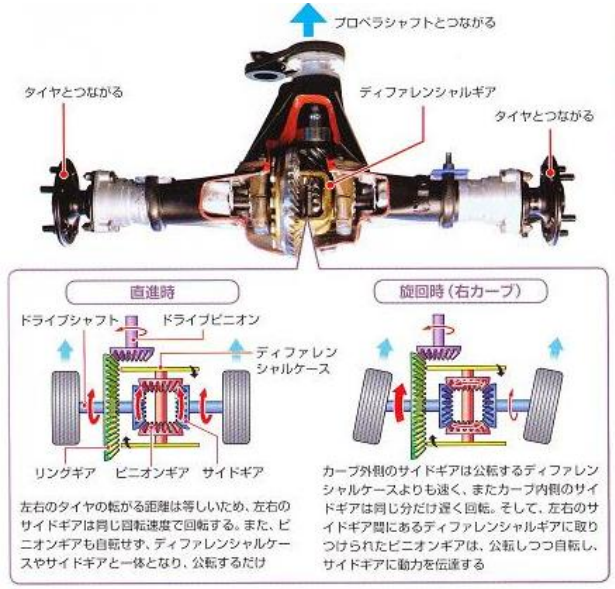


図50-14　自動車用デファレンシャルギア
（プロが教える自動車のメカニズム）

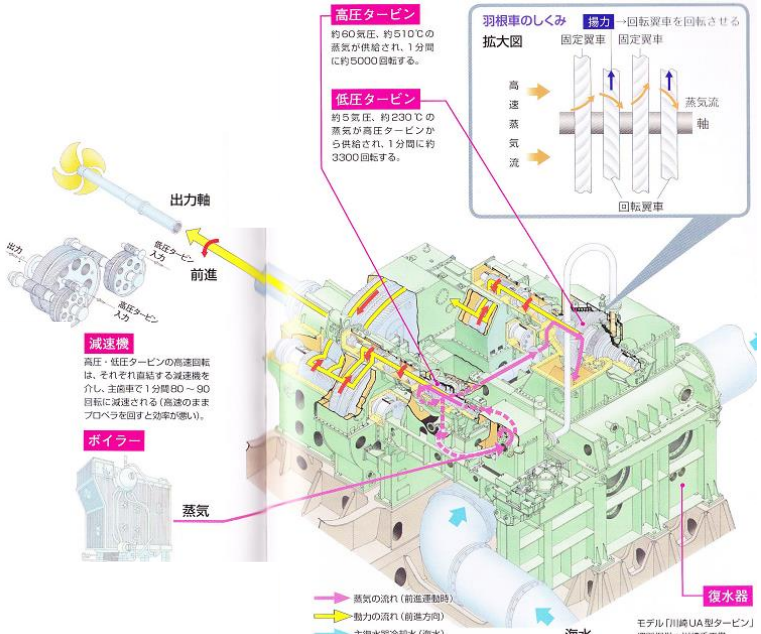


図50-15　船舶用減速機（プロが教える船のすべてがわかる本）

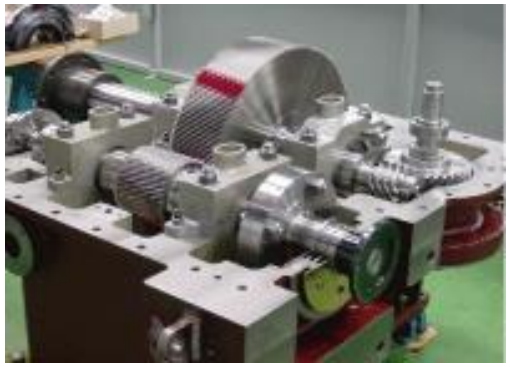


図50-16　GT用減速機　（石橋製作所／直方市）

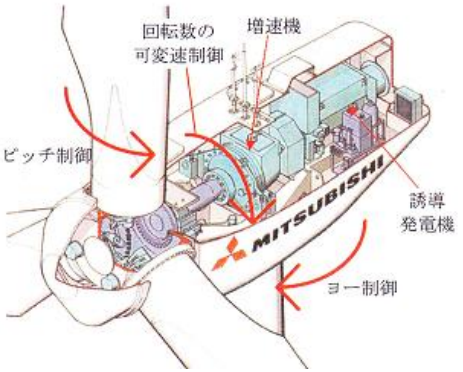


図50-17　風力発電機増速機
（MHI）

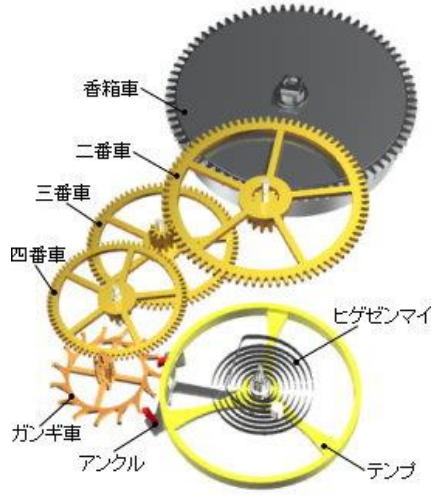


図50-18　時計用歯車
（時計三昧）

特殊歯車

2枚の円板の動力伝達から各種の特殊形状の歯車が考案され、
歯車装置の適用範囲が拡大

ウォームギア：2つの軸が立体的に離れて直交している。一方はねじ状で「**ウォーム**」、これにかみ合う歯車が「**ウォームホイール**」。小型で大きな減速比。逆駆動防止機能あり

遊星歯車装置：一つのユニットは**太陽歯車**（sun gear）、**遊星歯車**（planetary gear）、遊星歯車の公転運動を拾う遊星キャリヤ（planetary carrier）、**内歯車**（outer gear）の四点の構成。同芯で大きな変速比が得られ、太陽歯車と内歯車は反対方向回転。小型化が可能で、振動・騒音が低い

ギアポンプ：歯車の回転で歯とケーシングの空間の流体を出口に送る。わずかな隙間が戻り方向への漏れを起こすので厳しい機械的精度が要求される。歯車の駆動は一方のみで、他は従動して回転

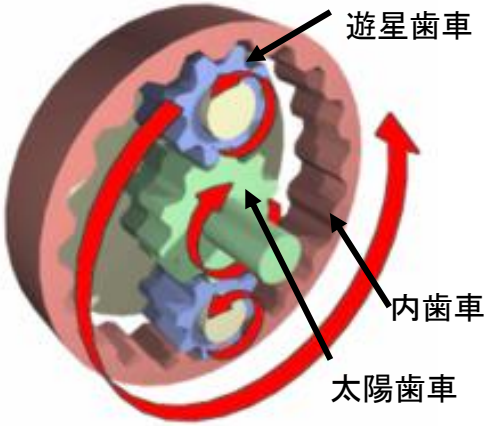
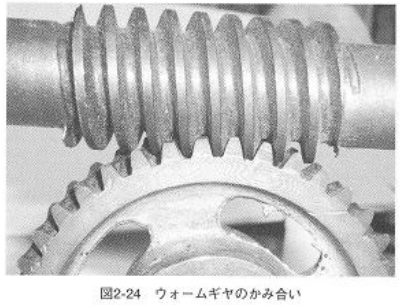
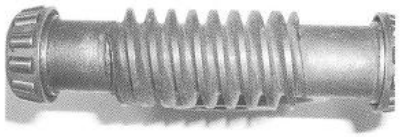


図50-20　遊星歯車装置
（Wikipedia）

転位歯車：基準ピッチ線から歯切りピッチ線をずらしてつくられた歯車。

1. 標準平歯車で設計上の中心間距離と一致しないとき、転位して中心間距離を調整
2. 歯元の切下げ防止ー歯数が少なくなると**切下げ**（アンダーカット/歯元が細くなり曲線状にえぐれた状態）が起こり歯の強さが弱くなる。切削時の工具を半径方向にずらして実施　（タケダ歯車工業）
3. プラス転位とマイナス転位とがあり、前者は曲げに強い歯形が得られ、後者はかみ合い率が大きくなる





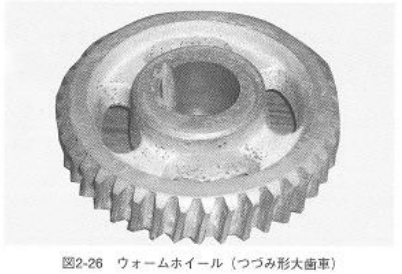


図50-19　ウォームギア　②

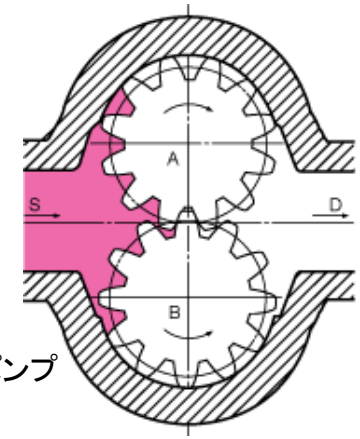


図50-21　ギアポンプ
（大東工業資料）

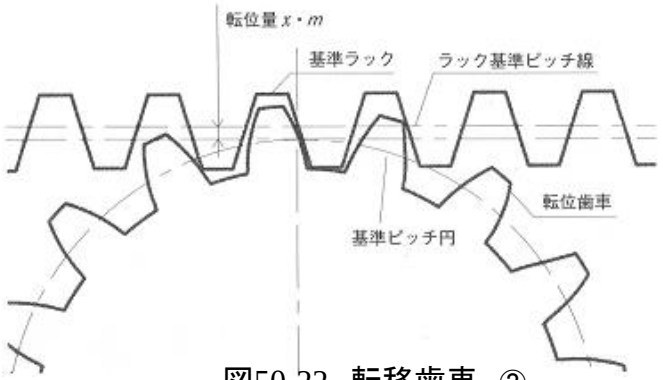


図50-22　転移歯車　②

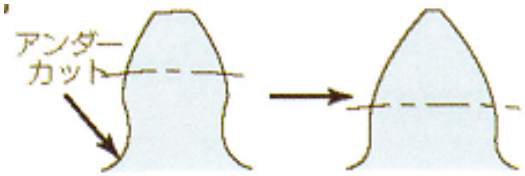


図50-23　アンダーカットと転位歯形
（小原歯車工業）

騒音と対策

高速、高負荷運転の歯車はしばしばその騒音が問題となる。歯車騒音では種々の原因が複合して発生し、原因特定が困難なことが多い。同時に潤滑油ポンプの騒音にも注意

表50-4　低騒音歯車への要求事項　⑥

良い精度	ピッチ誤差、歯型誤差、歯すじ誤差、歯溝の振れなどが小さい歯車
小さい歯面粗さ	歯車研削、ラッピング、適当ななじみ運転などによる歯面粗さの向上
良い歯当り	歯面中央に良い当たりがある歯車。クラウニング、エンドレリーフなどの処置
適切なバックラッシ	伝動トルクに脈動があるときはバックラッシを小さくすると効果がある
大きな正面かみ合い率	同時かみ合いの多い歯車。小さい圧力角、高歯も有効
大きな重なりかみ合い率	平歯車よりはすば歯車、すぐばかさ歯車よりまがりばかさ歯車の方がかみ合い率が大
干渉のない歯型	歯先アール、歯型修整した歯車は干渉が小さい
小さい歯	小さなモジュール、大きな歯数
高剛性の歯車箱	歯車、軸、歯車箱の剛性を高め、負荷時の変形を押さえる
樹脂材料	低負荷、低速回転ではプラスチック歯車が効果的。吸水、温度による膨張に注意
振動減衰率の高い材料	鋳鉄製歯車歯は鋼製より低騒音。ボス部のみ鋳鉄製にしても効果的
適切な潤滑	適切・十分な潤滑で油膜を確保。粘度の高い潤滑油のほうが比較的低騒音
低回転、低負荷	回転速度、負荷が低いほど騒音は減少
打痕のない歯車	歯先、歯面に打痕のある歯車は周期的に異常な騒音を発生
薄肉のウェブ	軽量化のために過度にウェブを薄肉形状にすると高周波騒音を発生する

バックラッシ：歯車をかみ合わせたときの歯面間の遊び、または隙間。歯車や歯車箱の製作上の誤差や歯車の運転中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ことを防止するためにバックラッシが必要となる

潤　滑

歯車装置潤滑の目的;(1)歯面間の滑りをよくする、(2)歯面間の摩擦による温度の上昇を防止する。各種の歯車の使用条件に合わせた潤滑法と潤滑油（以下「LO」）の種類が選定される。歯面と併せて歯車軸の軸受にも潤滑を行う

潤滑法:表5に示す3つの方式があり、おもに歯車の周速度と回転数が選定の基準となる

歯車箱の限界温度:歯車装置、軸受の動力損失で油温が上昇する。おもな影響は;

- ●LOの粘度低下
- ●LOの劣化
- ●歯車箱、歯車、軸の変形
- ●バックラッシの減少

LO温度の目安－80～90℃

表50-5　各種の歯車潤滑法

グリース潤滑法	開放歯車及び密閉歯車箱において週速度が比較的に低速の場合 ・適切なちょう度のグリースを選択、 ・高負荷、連続運転には不向き ・適量のグリースを使う
はねかけ潤滑法（油浴式）	歯車箱に溜めたLOを歯車の回転で跳ね上げて潤滑。周速度＞3m/s ・油面の高さは撹拌損失が大きくならないレベル、 ・LOの限界温度＜80～90℃－必要により放熱フィン、ファン等を設置
強制潤滑法（循環給油方式）	ポンプによりかみ合い部へLOを供給。高速、大型歯車装置向き。油タンク、ポンプ、フィルタ、配管、油冷却器、油面計等の付帯設備が必要 ・滴下式、　・噴射式、・噴霧式（とくに高速用）

潤滑油（LO）:LOには適正な粘度のものを選ぶことが重要。JIS、JGMA、AGMAの規格、LOメーカの資料等の情報を参照。鉱物油では原油精製による基油に消泡剤、防錆剤などの添加剤を入れる。ジェットエンジンの歯車／軸受用のLOには熱安定性優れた100%化学合成油（MIL-PRF-23699）等が使われる

表50-6　潤滑油に要求される特性

適正な粘度	運転温度にて適正な粘度を保ち、油膜を形成
抗溶着性	歯面の高荷重で焼付融着を防ぐこと
酸化・熱安定性	長期間高温使用で耐酸化安定性を保持
水分離性	運転停止で水蒸気が凝縮する水分を沈殿分離
消泡性	攪拌されて生じた泡を抑えること
防食防錆性	LOの酸化は歯面の摩耗を助長

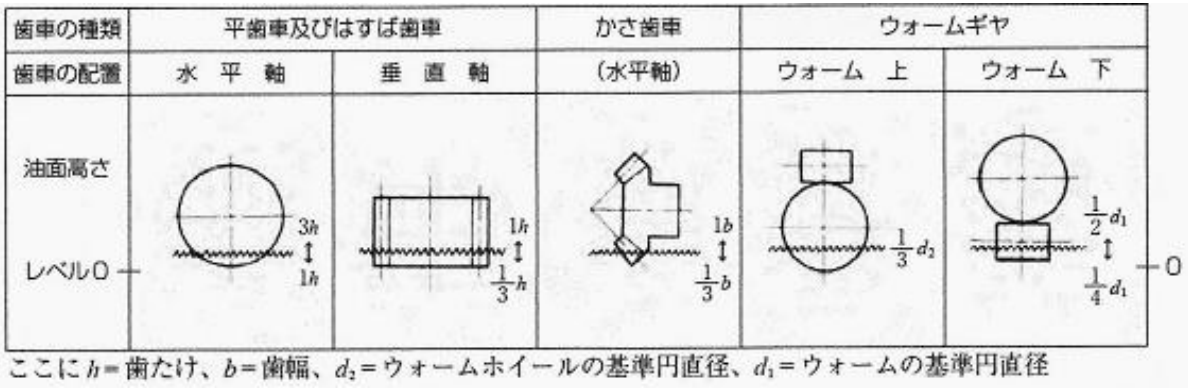


図50-24　はねかけ潤滑法における油面高さ　④

検　査

歯車精度：ひとつの軸から別の軸へ回転、動力を正確・静かに伝えるには、歯形誤差、ピッチ誤差、歯すじ誤差等を小さくして歯車精度を高める必要がある

歯形精度検査　（精度についてはISO、JIS、JGMA（日本歯車工業会）等にて規定）

歯形ゲージ：歯車に歯形ゲージを当てて、モジュール、圧力角を確認

またぎ歯厚：歯厚マイクロメータにより数枚の歯をはさんでその寸法を測定することにより、仕上がり寸法精度をチェック

オーバピン：偶数歯数の場合は中心を挟んで相対する歯溝に、奇数歯数であれば半ピッチずらした歯溝にピンまたは玉を入れて、その外側寸法を測定する

バックラッシの測定法：　(1)スキマゲージを挿入、(2)一方の歯車を固定し、他方を動かしてその量をダイヤルゲージで測定、(3)鉛線を入れて押しつぶす法

表50-7　周速別精度等級

使用歯車＼等級	0	1	2	3	4	5	6	7	8
検査用親	↔								
計測機器用	←	―	―	―	→				
高速減速機用		↔	↔						
航空機用		↔	↔						
印刷機械用		←	―	―	→				
鉄道車両用		←	―	―	―	→			
工作機械用		←	―	―	―	―	→		
自動車用			←	―	―	→			
歯車ポンプ用				←	→				
汎用減速機用				←	―	―	→		
農機具用						←	→		
手動用								↔	
内歯車					←	―	→		

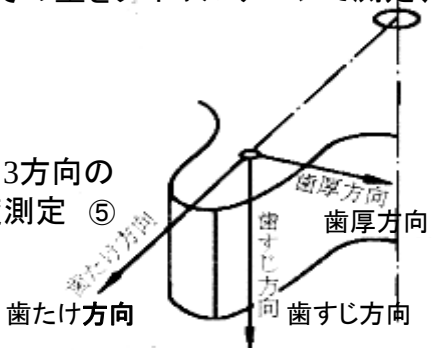


図50-25　3方向の歯形精度測定　⑤

図50-26　歯形ゲージ　①

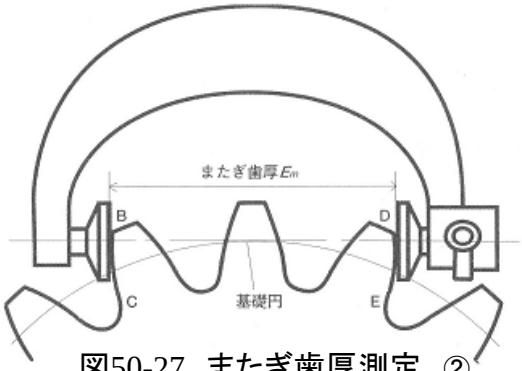


図50-27　またぎ歯厚測定　②

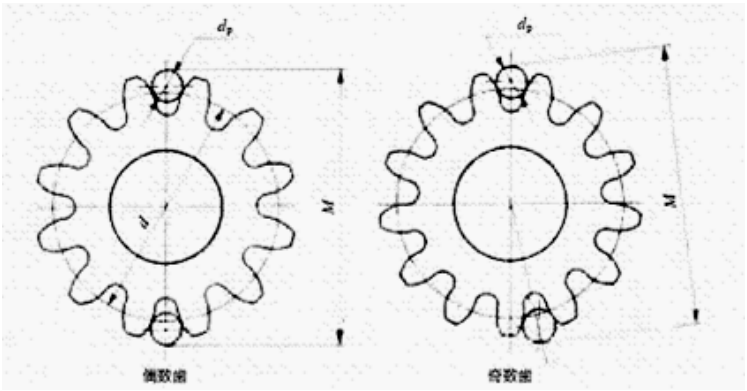


図50-28　オーバピン測定　（小原歯車工業）

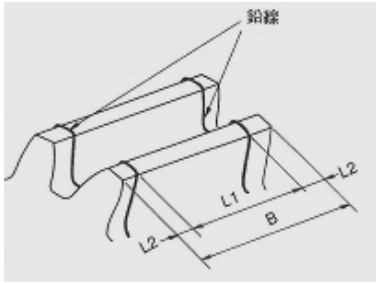


図50-29　バックラッシ測定法（鉛線法）　①

規格：歯車の国際規格としてはISO規格があり、日本における工業技術標準ではJIS　Bにおいて規定されている。また、JIS規格を補完するものとしてJGMA（日本歯車工業会）が歯車及び歯車装置などの技術水準の向上を目的に管理運営している規格を制定している

損　傷

歯車の歯の損傷は多様であり、その原因も多岐にわたる。現象面からは、(1)接触状況と油膜の形成に起因（摩耗、焼付き等）、(2)歯車の材料強度と負荷応力に起因（亀裂、折損等）の2つに分けられる

歯車の不具合

1. 折損・・・歯の折損では疲労折損が多い。これは材料の疲労限度以上の繰返し曲げ応力が要因。歯元すみ肉部分に亀裂として始まり、それが進行して折損に至る。要因は設計不良、過負荷、片当り、すみ肉部丸み半径過小など

2. 摩耗・・・インボリュート歯車はで、歯のかみ合いは滑りを伴うころがり接触であり、歯面間の潤滑油膜が不足すると歯面材料が摩耗する

3. 塑性変形・・・過大応力により材料が降伏し、表面層の塑性流動、歯の倒れ、圧痕などが発生。ひどい場合は歯のかみ合いの円滑さを阻害し、ピッチングや折損の原因となる

4. 歯面疲労・・・歯面に繰返し負荷で、歯の表面下材料が疲労を起こすことによる傷で現実的にはもっとも多い不具合
〇ピッチング：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
〇スポーリング：高負荷のため表面下で疲労が起こり、比較的大きい金属片が歯面から剥離する現象

5. 熱的損傷・・・歯面摩擦の発熱による温度上昇で歯面が受ける損傷。最近では歯車の高速化により大きな問題となっている
〇スコーリング（スカッフィング）：かみ合った歯面の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」の傷をいう。油膜の切れるのは荷重の増大、高速回転などが原因

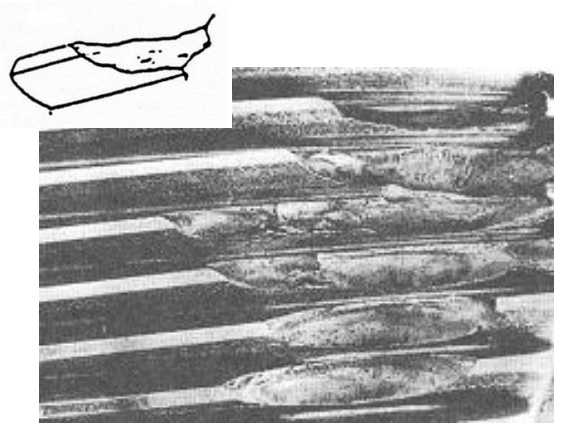


図50-30　疲労折損　①

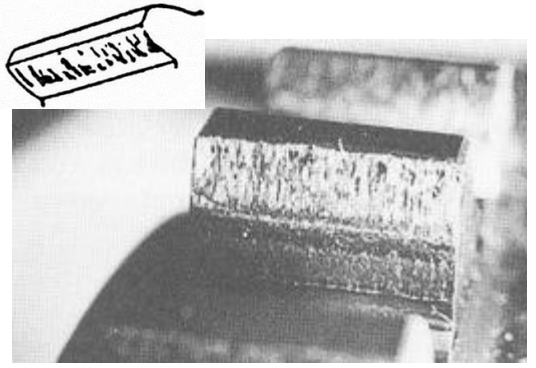


図50-31　激しいスコーリング　①

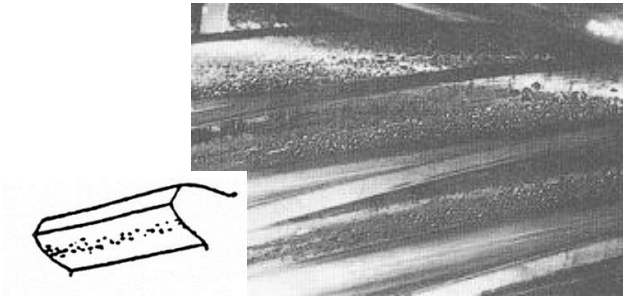


図50-33　進行性ピッチング　①

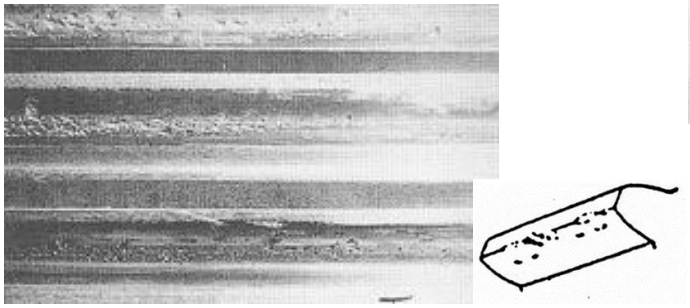


図50-32　スポーリング　①

課　題

「ものづくり高度化法」の中の「中小企業の特定ものづくり基盤技術の高度化に関する指針」のうち「動力伝達」分野では歯車についての下の表の項目のような歯車関連の目標、研究開発課題が示されている

ものづくり高度化法の指針	高精度化	建設機械、ロボット関連の川下産業（＝組立産業）製造業者の抱える課題、ニーズとして挙げている
	形状精度の測定技術の向上	自動車産業関連、その他の川下産業（＝組立産業）製造業者の抱える課題、ニーズとして挙げている
	高度化目標達成のための研究開発	歯車の高精度加工技術、非単純形状、歯車の高精度化技術、（大型）歯車の高強度化技術、プラスチック歯車の高強度化、歯車の高能率歯面研削技術等の生産能率向上及び生産工程数の低減
EV車の普及		従来のガソリン車やハイブリッド車ではエンジン回転の変速機、動力伝達のデファレンシャル装置などに多くの高速、高性能ほ歯車が使われているが、EV車でモータがホイール組み込みとなれば、歯車需要が激減することが予想される
歯車製造の生産性向上		歯車製造の標準であるホブ盤の歯切り加工は高速化が進められているが、まだ成形時間が長く、大量の切り屑発生などが課題で、コスト削減の妨げとなっている。これらの課題を克服する方法として、冷間押し出し、鍛造、転造などの塑性変形による歯車の成形法が実用化されつつある （2011.10.3日刊工業新聞）

キーワード

歯当たり	回転・動力を伝える歯面が中央の広い範囲で相手と正しく接触していることが大切。組立後歯面に「赤ペン」または「青ペン」という塗料を塗り歯当たりの形、大きさ、位置、強い当たり、弱い当たりなどを確認し、必要に応じて当たり面の修正を行う。また、新しい歯車装置では稼動後500hr程度使用した後に面の正しい当たり状況を確認する
ピニオン＆ギヤ	大小歯車の組合せで、小歯車をピニオン、大歯車をギヤと呼ぶ。一般に、トルク伝達、速度比の関係から駆動側をピニオン、被動側をギヤと呼ぶ場合もある。ラックとの組合せで円筒歯車側をピニオンという
アイドルギア	遊び歯車、アイドラーともいう。二つの伝動軸間に入れる中間の歯車で、出入力の軸を持たず、回転方向を合わせる場合や、距離のある軸間を埋める場合に用いる
グリーソン歯切機械	グリーソン社はかさ歯車を中心とした歯切機械の米国の専門メーカ。同社の登録商標のまがり歯のかさ歯車は「ハイポイドギア」と呼ばれ、自動車、鉄道車両駆動系で広く使われている