

機械要素設計

歯車の強度計算

締結・接合要素

ねじ締結

2015年度 13回

機械工学科

機械要素設計

歯車の強度計算

締結・接合要素

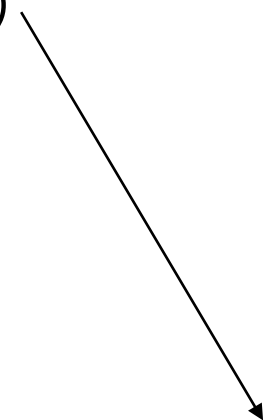
ねじ締結

Technical terms

- Involute curve
- Gear tooth surface
- Rolling contact
- Backlash
- Module
- Height of a tooth
- Surface pressure strength
- Bending strength
- Stress
- Wearing
- Fatigue failure
- Pitching
- Scuffing
- Dynamic Load
- Carbon alloy steel
- Cast iron
- Brass alloy
- Aluminum alloy
- Stainless steel
- Durability
- Accuracy
- Poly-acetal resin
- Nylon resin
- Corrosion resistance
- Lubrication
- Surface roughness

(復習) 歯車の基本形状

- インボリュート曲線

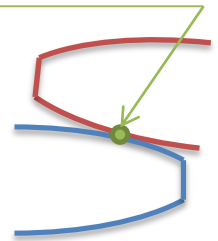
- 歯車の歯面の曲線の基本(ピッチ円に巻きつけられた糸をほどいた曲線)
 - 理想的には噛み合ったときに接触面における相対運動(滑り)が生じない(転がり接触のみの状態)
 - 直線の刃物で歯面を加工できる(ラック&ピニオンにおいてラックの歯型は直線)
- 

実際の歯車形状

1. 加工精度による形状の誤差, ばらつき
2. トルクによる歯の変形
3. 加工法による転移の必要性和形状変化
4. バックラッシの必要性和断続的接触


などの問題により,

理想的には噛み合ったときに接触面における相対運動(滑り)が生じない(転がり接触のみ)が成り立たない。



理想的な歯車

1. 十分な精度
 1. 正確な歯面形状
 2. 正確な噛み合い状態
 3. 仕様を満たせる出来る限り小さい
モジュール(細かい歯)の利用
2. 十分な強度の材料の選択



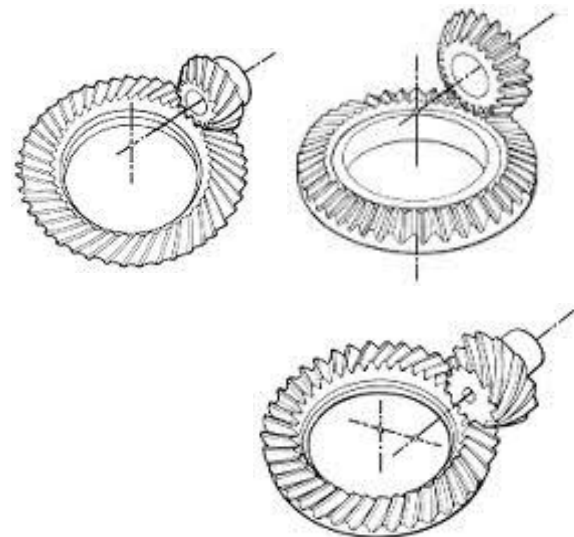
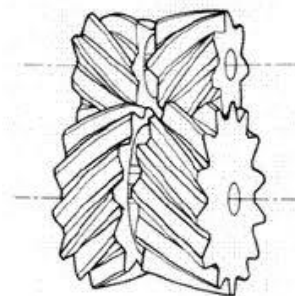
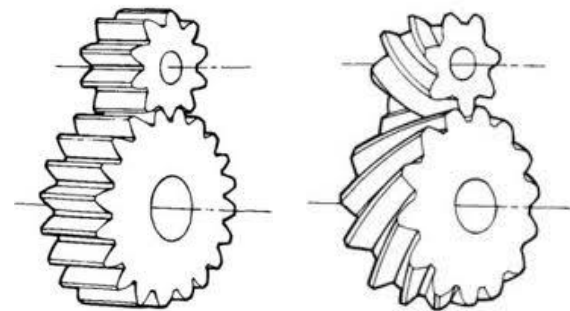
モジュール大		モジュール小
歯丈分, 大きくなる	歯元のモーメント	歯丈分, 小さい
厚い	歯の厚さ	薄い
大きくなる傾向	転移量	小さくて済む
大きくなる傾向	バックラッシ	小さくてよい
大きくなる	振動, 騒音	小さい

歯車強度設計で考慮すべき要素

摩耗	<ul style="list-style-type: none">• 長期間使用による通常摩耗• 過負荷や高温など異常環境下における異常摩耗• 摩耗による形状の変化により他の破壊要因を促進	<ul style="list-style-type: none">• 歯の形状変化• バックラッシュ拡大• 圧力角の変化• 接触面同士の相対運動
折損	<ul style="list-style-type: none">• 寿命超過による疲労破壊• 衝撃など過負荷による歯元から破壊• 不適切な加工・処理による強度不足	<ul style="list-style-type: none">• 材質の不良• 精度の悪い形状• 焼き入れやメッキのムラ
ピッチング	<ul style="list-style-type: none">• 高すぎる面圧, 疲労による歯面のくぼみ・破壊	<ul style="list-style-type: none">• 仕様・設計不良• 潤滑不良
スカuffィング	<ul style="list-style-type: none">• 歯面の焼き付きによる溶着, 剥離破壊	<ul style="list-style-type: none">• 潤滑不良• 材料選定不良

歯車の設計法（選定法）

1. 目的，対象を明らかにする
 - － 動力伝達，位置決めなど
2. 動力，伝達方法などを決定する
 - － 負荷特性，負荷変動，回転方向
3. 使用環境の条件を明らかにする
 - － 温度，潤滑，振動，組み合わせ
4. 歯車の形式を選定
 - － 平歯車，はすば歯車...
5. 歯車強度を計算し歯車を選定



歯車の強度計算

1. 歯車の**材料**から検討
2. 歯車の**曲げ強度**(歯元応力)から検討
 - ルイスの式(1892年): 歯を二次曲線形状の片持ち梁として近似して解析
 - 伝達トルクに対し歯の根元に加わる**応力(曲げモーメント)**を検討
3. 歯車の**面圧強度**(疲れ強さ)から検討
 - ヘルツの式(1881年): 歯面を円筒形として近似し弾性接触したときを解析
 - 伝達トルクによる歯面の**面圧**を検討

○歯車発明は紀元前
○インボリュート歯車
利用は1765年

1. 歯車の材料

何の為に選定するか？

- 開発する装置の機能実現のため、使用状態・使用環境を考慮し、適した材料を選定

選定のポイント

- 利用条件と材料固有の特性を考える

例) 高温・低温, 真空, 動作時間, 低騒音, 低振動, 潤滑油利用の可否, 負荷変動(イナーシャの大きさ), メンテナンス頻度, 信頼性(不具合の深刻さ).

参考) 潤滑剤利用不可の環境

- 清浄性が要求される, 衛生面を考慮

- 半導体生成, 薬品, 食料品製造など
- 水分の接触がある可能性の環境もある

- 油分の飛散, 油分の蒸発を避ける
- 材料の飛散を避ける
- 歯車を極力密封する設計
- 自己潤滑性を持った材料
- 毒性のない材料

- 極限環境(真空・高圧・水・酸)

宇宙空間や水中など高温, 低温, 真空, 高圧環境下で油分は利用できない

炭素など固体潤滑材を軸受に利用

1. 歯車の材料

分類	分類	主な材料	大まかな特徴
金属	鉄鋼系	炭素鋼, 鋳鉄, 合金鋼(ステンレス)	大動力を伝達する機器向けの 高強度 長時間動作を要求される機器向けの 高耐久性
	非鉄鋼系	黄銅, アルミ合金	動作を重視した機器向けの 高精度 慣性力低減を重視した機器向けの 軽量
非金属	樹脂	ポリアセタール, ナイロン	小型, 軽量, 安価, 静音, 使用環境への影響低減(非潤滑・自己潤滑)など 上記以外の目的

1. 歯車に使われる材料の例

材料名	JIS 材料記号	引張強 さ N/mm ²	伸び% 以 上	絞り% 以 上	硬さ HB	特徴、焼入れ及び用途例など
機械構造用炭素鋼	S15CK	鋼				高強度
	S45C					
機械構造用合金鋼	SCM435					
	SCM440					
	SNCM439					
	SCr415					
	SCM415					
	SNC815					
	SNCM220					
SNCM420						
一般構造用圧延鋼材	SS400	鋳鉄				大型・安価
ねずみ鋳鉄	FC200					
球状黒鉛鋳鉄	FCD500-7	ステンレス				高強度・耐食
ステンレス鋼	SUS303					
	SUS304					
	SUS316					
	SUS420J2					
SUS440C						
非鉄金属	C3604	黄銅				高精度
	CAC502	アルミ合金				軽量・低イナーシャ
	CAC702					
エンジニアリング プラスチック	MC901	樹脂				軽量・安価・自己潤滑
	MC602ST					
	M90					

樹脂歯車の特徴

主な特徴

1. 小型・軽量
 - 比重が軽い
2. 低騒音
 - 振動吸収性に優れる
3. 耐食性
 - 薬品に強い
4. 自己潤滑性
 - 潤滑油不要
5. 生産性がよく安価
 - 金型の利用, 射出成型

一体成型し
やすいため

複雑な形状も作りやすいため、高機能化に寄与

考慮すべき点

1. 発熱(低熱伝導率)
 - 金属歯車との組み合わせ, 潤滑剤の利用
2. 熱膨張・吸湿性
 - バックラッシと軸間距離で調整
3. 締まりばめ時の破損
 - 変形可能だが形状に注意
4. 潤滑
 - 負荷が大きい場合樹脂を侵さない潤滑剤利用の必要性
5. 冷却時の変形
 - 変形を防ぐ形状の工夫, 成形後の破面加工
6. 一体成型
 - 樹脂歯車の大きな利点
7. 精度
 - 機械加工と併用

2. 歯車の曲げ強度（歯元応力）

何の為に計算するか？

- 歯が曲げモーメントによって折れない強度を持たせるため
（折損防止）

計算の考え方

- 一枚の歯を片持梁と考え、歯先に作用する力によって歯元に発生する曲げ応力を計算（レイスの式）
- 噛み合って回転すること自体が繰り返し荷重と考える

CADの応力分布解析による



ルイスの式

- オリジナルの式(静荷重)

$$F = \sigma_b b \pi m y$$

- 歯先に働く力は,
歯元応力 × 歯幅 × ピッチ円($\pi \times$ モジュール) ×
歯型係数
- これに対し使用条件(動的要素, 歯車固有の
状態, 材料の効果)を加味したものを計算

動的荷重を加味した計算(基礎)

使用係数

駆動機械		被駆動機械の運転特性*4			
運転特性	駆動機械の例	均一負荷 U	中程度の衝撃 M	かなりの衝撃 MH	激しい衝撃 H
均一荷重 U	電動機, 蒸気タービン, ガスタービン (発生する起動トルクが小さくて稀なもの)	1.00	1.25	1.50	1.75
軽度の衝撃 UM	蒸気タービン, ガスタービン, 油圧モータおよび電動機 (発生する起動トルクがより大きく, しばしばあるもの)	1.10	1.35	1.60	1.85
中程度の衝撃 M	多気筒内燃機関	1.25	1.50	1.75	2.0
激しい衝撃 H	単気筒内燃機関	1.50	1.70	2.0	≥ 2.25

- Y_{FS} 複合歯形係数
- Y_{ε} かみあい率係数
- Y_{β} ねじれ角係数
- K_A 使用係数
- K_V 動荷重係数

$$K_V = 1 + \left(\frac{K_1}{P \cdot K_A / b} + K_2 \right) \frac{z_1 v}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1 + u^2}}$$

Hofer 30deg法

歯車の種類	K_1								K_2
	歯車の精度等級 (JGMA 111-03)								
	5	6	7	8	9	10	11	12	すべての精度等級
平歯車	7.5	15	27	39	53	77	103	146	0.0193

負荷変動(衝撃)の度合いと
歯車の精度(等級)を勘案

細かい要素を加味した計算

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

- Y_F : 歯形係数 (30° 接線法による)
- Y_ε : 荷重分配係数 (正面かみ合い率 ε の逆数)
- Y_β : ねじれ角係数 (はずば歯車の場合)
- K_L : **寿命係数** (負荷を受けてかみ合う回数 $10E4 \sim 10E7$ で決まる係数)
- K_{FX} : 歯元応力に対する寸法係数 (=1.0)
- K_V : 動荷重係数 (歯車の精度と周速度によって決まる係数)
- K_O : 過負荷係数 (= 実際円周力 / 呼び円周力)
- S_F : 歯元曲げ破損に対する安全率 (1.2以上)

その他考慮する要素

使用状態だけではない

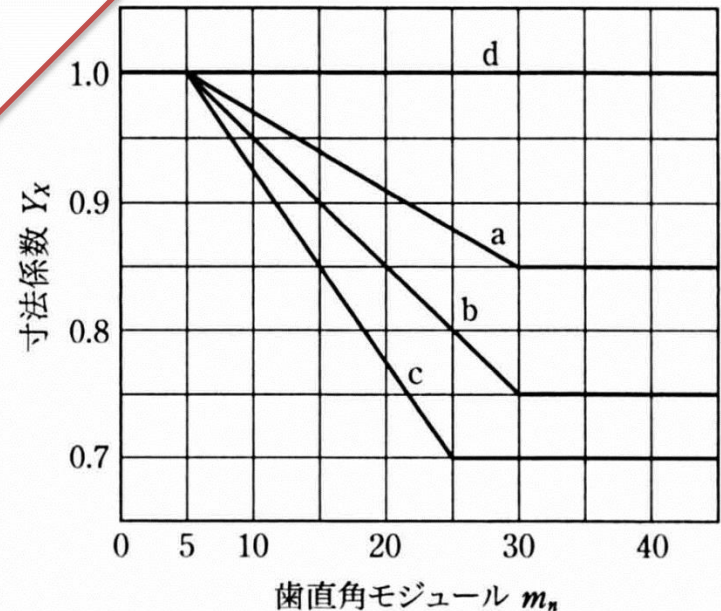
- 選定した材質の特性を考慮すべき

- 表面状態：表面粗さ，精度（等級），焼き入れ状態，歯の馴染みやすさに依存
- 切欠き感度：応力集中に対する感度，表面状態にも依存

- 選定した歯車のモジュールも考慮すべき

- 材質に依存してモジュールの増加により疲れ強さが低下

通常的设计ではあまり気にしなくてもよい
(1.0を選択)



3. 歯車の面圧強度（疲れ強さ）

何の為に計算するか？

- 歯面に加わる接触圧（面圧）によって歯面が破壊されない強度を持たせるため（ピッチング，スポーリング防止）

歯面の接触面積は思いの外，小さい

計算のポイント

- 歯面を円筒面と考え，噛み合った線接触部における弾性変形と面圧を計算（ヘルツの式）
- 圧力角 20° 分だけ傾いた状態での接触を考える

ヘルツの式

- 基本の式

$$P_H = 0.418 \sqrt{\frac{P_n}{b} \left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} \right) \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2}}$$

- 歯面法線方向の力，歯幅，曲率半径，ヤング率から計算.
- これに様々な使用条件を加味して計算.

$$F_{t\lim} = \sigma_{H\lim}^2 d_{01} b_H \frac{i}{i \pm 1} \left(\frac{K_{HL} Z_L Z_R Z_V Z_W K_{HX}}{Z_H Z_M Z_\varepsilon Z_\beta} \right)^2 \frac{1}{K_{H\beta} K_V K_O} \frac{1}{S_H^2}$$

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_t}{d_{01} b_H} \frac{i \pm 1}{i} \left(\frac{Z_H Z_M Z_\varepsilon Z_\beta}{K_{HL} Z_L Z_R Z_V Z_W K_{HX}} \right)^2} \sqrt{K_{H\beta} K_V K_O} S_H$$

細かい要素を加味した計算

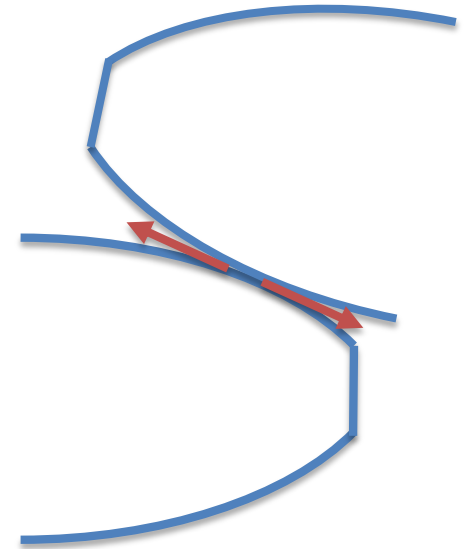
- b_H : 歯面強さに対する有効歯幅(狭い方の歯幅)
- d_{01} : 小歯車ピッチ円直径
- Z_H : 領域係数(転位係数, 歯数, ねじれ角をもとに計算する)
- Z_M : 材料定数係数(ポアソン比 ν_1, ν_2 , 縦弾性係数 E_1, E_2)
- Z_ε : かみ合い率係数(平歯車=1.0, はすば歯車の場合は正面かみ合い率と重なりかみ合い率から求める係数)
- Z_β : 歯面強さに対するねじれ角係数(=1.0)
- K_{HL} : 歯面強さに対する寿命係数(繰返し回数によって決まる係数)
- Z_L : 潤滑油係数(使用する潤滑油の50°Cにおける動粘度から求める)
- Z_R : 粗さ係数(歯面の平均粗さ R_{maxm} (μm)に基づいて図から求める)
- Z_V : 潤滑速度係数(基準ピッチ円上の周速度に基づいて図から求める)
- Z_W : 硬さ比係数(焼入れ研削した小歯車とかみあう大歯車のみ適用し、式により求める)
- K_{HX} : 歯面強さに対する寸法係数(=1.0)
- $K_{H\beta}$: 歯面強さに対する歯すじ荷重分布係数(歯車の支持方法, 歯幅 b , 小歯車ピッチ円直径 d_{01})
- K_V : 動荷重係数(歯車の精度と周速度によって決まる係数)
- K_O : 過負荷係数(=実際円周力/呼び円周力)
- S_F : 歯面損傷(ピッチング)に対する安全率(1.15以上)

特徴的な要素をまとめると

幾何学的形状, 弾性材料力学観点だけでなく

- 歯面の接線方向の滑り速度
- 歯面の粗さ, 精度, 表面処理
- 潤滑状態(動粘度)

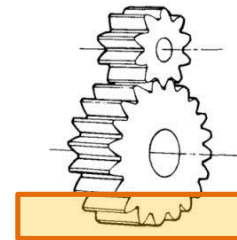
についても数多くの係数を考慮



4. 歯車の焼き付きへの強さ

2つの歯面

- 潤滑油膜を介し、滑り転がり接触
 1. 金属同士の直接接触の問題
 - 接触圧力、滑り速度等の運転条件がある限界を超えると、油膜または境界層が破断
 2. 表面破壊
 - 接触により2面が融着し、剥離



原因

- 運転条件、歯車幾何、材料、潤滑油等、歯車の運転に関わるすべての因子その関係は複雑、難解で解析困難
- 実験的知見はあっても解析モデルはない

歯車の様々な不具合・破損

破壊的磨耗

- 設計ミス
- 組み立てミス
- 調整・メンテナンスミス
- 使用状態の不適合(想定外の負荷)

歯面の疲労

- 設計ミス
- メンテナンスミス

塑性流れ

- メンテナンスミス
- 使用状態の不適合(想定外の負荷)

歯の折損

- 加工・処理の不適合
- 長期間使用
- 使用状態の不適合(想定外の負荷)

歯車の様々な不具合・破損

破壊的摩耗

- 1) アブレーション摩耗: ごみや摩耗粉などが歯面間にはさまり損傷
- 2) スコーリング: 高圧面, すべり温度上昇などにより油膜が切れ, 金属面が溶着して引きさかれる損傷
- 3) 干渉: 相手の歯先が歯元に強く当たり, ひどくえぐりとられる損傷。歯形, 修整などの狂いが原因
- 4) 腐食摩耗: 潤滑油中の酸, 水分, 不純物の化学作用による損傷
- 5) 剥離: 歯の表面がフレーク状になってはがれる損傷。歯面の疲れによる降伏が原因。
- 6) 摩擦焼け: 過大な荷重, 速度, 潤滑不足による異常摩擦が進んで, 高温のために変色, 硬度低下
- 7) 変色: 硬度低下しない程度の変色

歯面の疲労

- 8) 初期ピッチング: 使用後まもなく歯元面に発生
- 9) **破壊性ピッチング**: 初期運転期間を過ぎても進行。歯面に発生。
- 10) スポーリング: 重荷重で表面下が疲労し, かなりの大きさの金属片が脱落

歯車の様々な不具合・破損

塑性流れ

- 11) 圧延降伏: 過度の荷重によるすべり, 不適切なかみ合いのための衝撃によって発生
- 12) りん降伏: 潤滑不足によるスティックスリップ, 振動, 重荷重が原因.
- 13) 条痕摩耗: 特殊の塑性流れ, 過大荷重や潤滑不足が原因.

歯の折損

- 14) **疲労破損**: 初めに小さい亀裂が生じ, くり返し荷重のために進行して破壊.
- 15) 過負荷破損: 予期しない過大衝撃荷重による破損
- 16) 焼割れ: 不適當な熱処理または鋭角によって起きる.
- 17) 摩耗進行に起因する折れ: ピッチング, スポーリング, アブレーション
摩耗進行により歯が弱くなって折れる.
- 18) 不適當な加工研削による割れ: 加工条件が不適當な研削, 焼入応力不適應により発生

歯車強度設計で考慮すべき要素

1. 摩耗	<ul style="list-style-type: none">• 通常の摩耗でも、幾何的条件(形状)が大きく変化• 形状の変化により他の破壊要因を促進
2. 折損	<ul style="list-style-type: none">• 強度条件のほか、加工法、材料の状態、運用状態に依存• 想定外の負荷・環境も原因
3. ピッチング	<ul style="list-style-type: none">• 上記同様
4. 焼き付き・スカuffing	<ul style="list-style-type: none">• 各要素に起因する不具合、最終的には熱により破壊

変形

曲げ応力

面圧

熱

その他の工夫

実際の使用状態に対応した歯面調整

1. 歯形修正（歯厚を僅かに追加）
2. クラウニング（歯面を僅かに樽型）
3. エンドレリーフ（歯面両端面取り）

- 歯先ほど摩耗しやすい傾向
- 歯先の強度確保
- 摩耗時の形状誤差抑制

- 軸間のねじれ誤差対策
- 歯面端部の応力集中緩和

機械要素設計

歯車の強度計算

締結・接合要素

ねじ締結

一体成型は理想形態か？

- 飛行機などでは複合材を利用し、**一体成型**もしくはそれに近い構造を持った部位が極めて多い。
- 応力を分散でき、**形状や構造を最適化**したものを利用出来る可能性が大きい。

性能に大きく寄与する軽量化、
運用コスト(メンテナンス)を
低減する高信頼性化、など大
きなメリット



機械の設計を大きく変える可能性
があるだろうか？

2→6年の重整備で済むようになった

飛行機と自動車

	中大型旅客機	小型～ビジネス ジェット	自動車
部品点数	300万点	10～100万点	3万点
年産(世界)	1,000機	2,000機	78,000,000台
価格(新品)	7,500,000,000～ 30,000,000,000円	300,000,000～ 3,000,000,000円	1,000,000～ 30,000,000円
運用状態	恒常的な万全の整備 を要す 規定運行時間まで中 古機体でも運用可能	恒常的な整備を要す 規定運行時間まで中 古機体でも運用可能	定期的な点検整備を 受ける車体から相当 雑な運用の車体もあ る
事故後の扱い	小事故は修理, それ 以上は廃棄	小事故は修理, それ 以上は廃棄	かなりの事故でも修 理される車体もある

一体成型

加工法	対象の材料	特徴など
鋳造	金属, 樹脂	溶融した材料を金型に注入成形
鍛造	金属(一部)	高温で軟化した材料を金型で成形
プレス加工	金属(一部)	常温の材料を金型で成形
射出成型	樹脂	軟化した材料を金型で成形
ハイドロ・フォーミング	金属(鋼やアルミ合金など)	常温の材料を水圧と金型で成形
プリプレグとオートクレーブ	CFRP(カーボン繊維) FRP(ガラス繊維)	形状や数量の条件により成形法が多数存在
3Dプリンタ	樹脂	一部を除き試用, 限定された用途

一体成型が最適解ではない場合

以下のような場合，一体成型，一体構造が
適さない

- 消耗品の定期的な交換
- 不具合による修理・部品交換
- 故障・事故後も修理・使用継続
- 追加部品による調整・機能追加
- 既存機器・設備への置換，増設



締結手段を講じることを前提とした設計を行う必要性

締結を必要とする主な応用分野

機械・乗り物

- 自動車
- 鉄道
- 船舶
- 航空機
- 宇宙
- 建設機械
- 産業機械
- 生産設備

メカトロ機器

- ロボット

エレクトロニクス

- 情報家電
- 計測・測定器

その他

- 建物・プラント等の構造物
- 医療機器
- 医療検査機

Technical terms

- Single piece
- Fastener element
- Assembling
- Part replacement
- High reliability
- disassembling
- Bonding
- Adhesion
- Welding
- Relative motion
- Added value
- Looseness

部材締結技術

構成する各部品及び構造物の各部材を結合

締結の特徴

- 組立て・分解が可能
 - リベットによる接合の場合を除く
 - 接着, 溶着, 溶接などは締結には含まれない

リベットでも分解, 再組み立ては可能だが容易ではない.
これを繰り返すことも基本的に想定されていない.

リベットの材質劣化を検査するには電流を流し, その応答で判定.

部材締結技術

部品と部品、部分と部分の被締結部を、




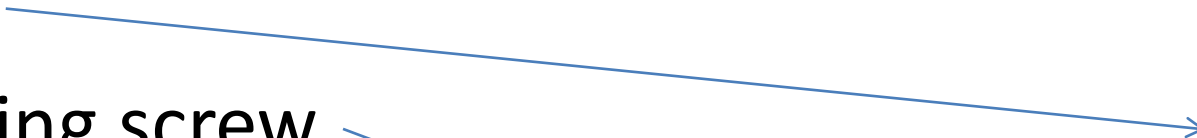



- ボルト
- ナット
- 小ねじ
- タッピンねじ
- リベット
- ピン

等の部品を用いて締結する技術

締結機能を有する部品を総称して締結用部品

他にもある

英語表記(基礎編)

- Bolt 
- Screw / Screw thread 
- Nut / Screw nut 
- Vise 
- Tapping screw 
- Rivet 
- Pin 

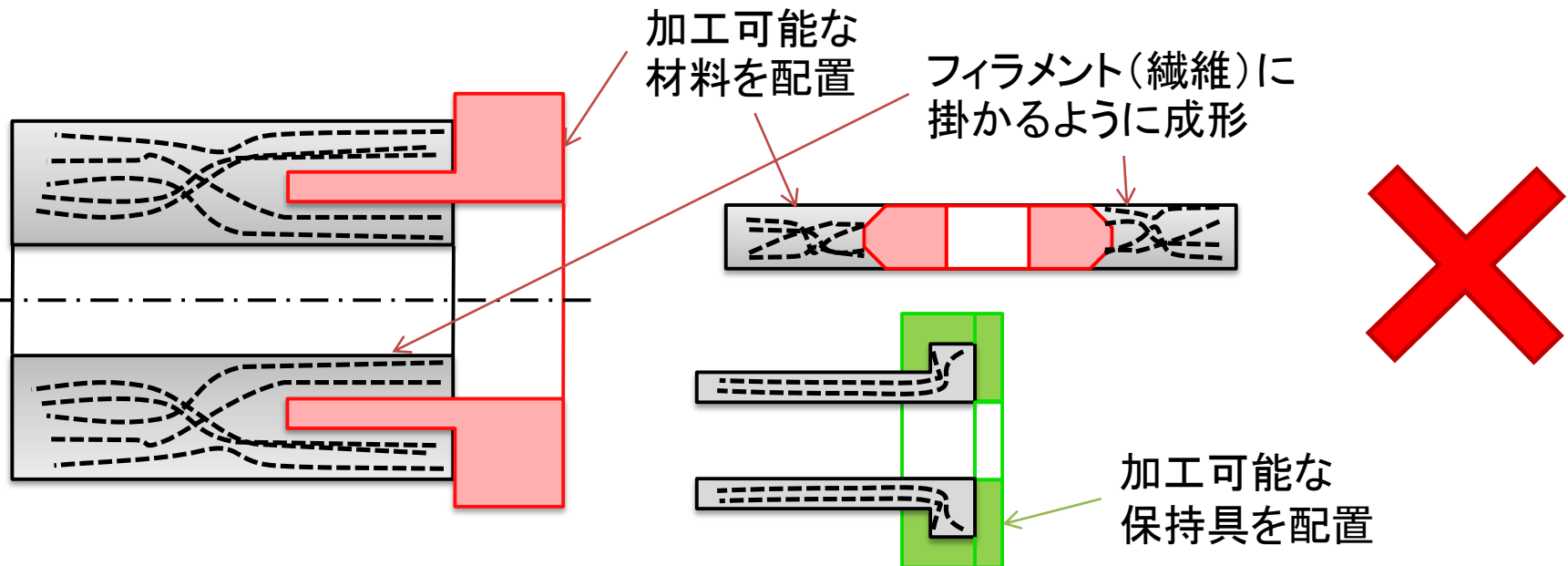
部材締結技術の現状と問題

	現状	課題
ア. 軽量化	機械製品は一様に軽量化が進む傾向	大量の締結用部品が使用されている 輸送機械等では、強度維持, 軽量化
イ. 新素材 部材締結	セラミックスや炭素繊維 等新素材の多用	軽量化や高機能化、高感性化 新素材は締結が難しい
ウ. 製品信 頼性	日本製品に対する高い 信頼性を今後も維持	強度設計と緩み機構、緩み防止設計 品質とメンテナンス性の向上 トレーサビリティ向上
エ. 環境負 荷低減	環境への責任 リサイクル性に配慮	ねじ部品は分解可能な締結方法 製品, 部品, 部材のリサイクル
オ. 生産性 向上	新興国のメーカーのコス ト競争力, 世界的に市場 拡大	高い労働コストの競争力を維持 限られた労働力で高い付加価値 締結作業効率化は生産性向上
カ. 高強度 化	高付加価値	耐久性の向上及び軽量化、コスト削減 に繋がる部材の高強度化

参考) 締結性の悪い新素材

例) CFRP(カーボン繊維)

- カーボン繊維をエポキシ樹脂で固める成形
- 締結のための部材を成形前に組み込む必要性
- 成形後の加工は繊維を切るため著しく強度低下



トレーサビリティ(traceability)

- 装置に問題があった場合，事故や不具合から**遡って原因追及ができる**よう，原料精製から，製造，計測・検査，検品，流通までの一貫して管理され，その精度が保障される仕組み

締結要素がどのように関与するか？

1. 締結要素や周辺の部材の破壊状態からどのような不具合が発生したか判別できる設計
2. 締結要素の品質を的確に管理することで，締結要素以外の要因で不具合が発生したことを保証できる設計
3. 仕組みを考慮したことを保証する設計プロセス

部材締結技術の背景

1. 締結用部品の**高付加価値化**、信頼性の付与
 1. 締結体の合理的で安全な設計
 2. 部材締結技術の高度化
2. 製品の高速度化、高強度化、軽量化、信頼性の向上
3. **新素材の利用**を促進
 1. 難加工を克服する生産技術
 2. 締結用部品の高強度化・小型・軽量化技術
 3. 締結体の安全性・信頼性向上
4. **多様な被締結材**
 1. 確実に締結、締結機能を長寿命化させる高い信頼性を有する締結用部品の開発
 2. 締結技術・締結方法の開発
5. 技術開発の促進
 1. 使用環境は多様化、極限化
 2. 疲労破壊、遅れ破壊、緩み等に起因する締結部の破断を防止

部材締結技術の背景をまとめると

製品の高性能化, 高機能化, 高付加価値化, 優れた意匠

扱いの難しい新素材の利用, 多種多様・複合した材料の利用

締結材自体の高機能化, 高付加価値化

締結部品に求められること(1)

- 機械の高性能化に寄与
 - 軽量化, 部品点数減少
 - 扱いの難しい新素材の締結
 - 高耐久性, 高信頼性による事故防止
- 生産性向上
 - 容易で効率的な組み立て性, 工程改善
 - 高付加価値, 多品種生産, 短納期
- 環境
 - 環境負荷物質を削減
 - 解体性を容易にしてリサイクル
 - メンテナンス性を向上して廃棄部品の低減
 - 生産時の省エネルギー化

締結部品に求められること(2)

- トレーサビリティ

- 使用履歴情報を把握して保守, 改善に利用
- 生産時の履歴により改善に利用
- 締結部品の状態からこれらの情報を再現可能



高付加価値につながる
優れた品質である証

- 製品そのものの状態を確認する仕組み
 - 製造時の情報の伝達・蓄積する仕組み
- 製造から使用, 廃棄まで情報を第三者が追跡可能

機械部品同士の結合(事例)

シュパンリング

ヒンジ

リベット

溶接

スプライン

カヌークリップ

プラスティリベット

機械部品同士の結合（事例）

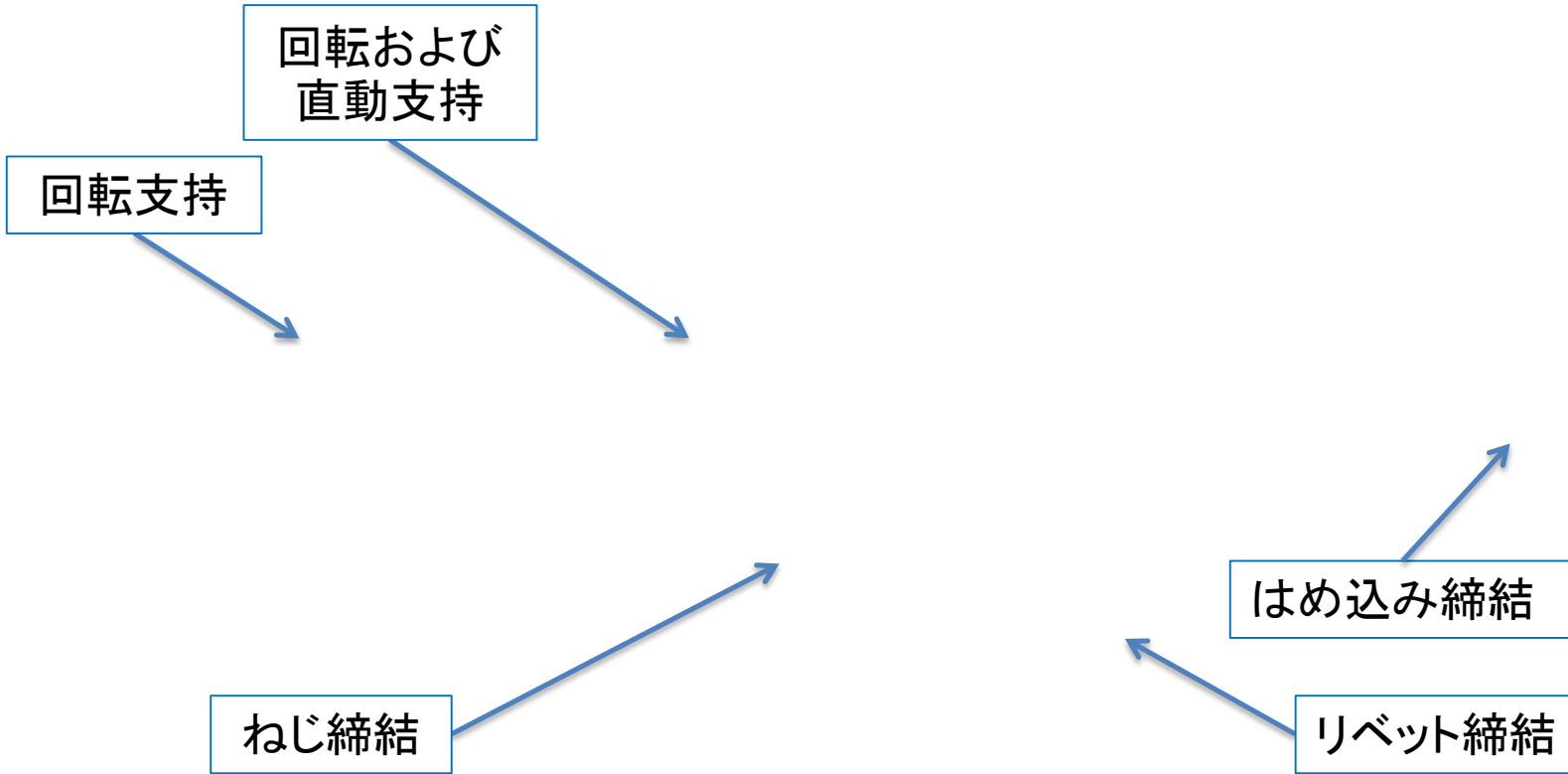
回転および
直動支持

回転支持

ねじ締結

はめ込み締結

リベット締結



機械部品同士の結合（相対運動の可否）

1. 相対運動可能な結合

－ 回転や並進など常に運動する部分

- ・ 軸受, スライダ(摺動)機構など

－ 開閉, 脱着する部分

- ・ ヒンジ, ツメ, 冑など

2. 相対運動が不可能で分解可能な結合

- ・ ネジ, キー, スプライン, ピン, 楔(シュパンリング)など

3. 相対運動が不可能で分解を想定しない結合

- ・ リベット, 溶接, 接着, 溶着, はめあいなど

リベットは全く分解しないとも言いきれない

機械部品同士の結合（分解の可否）

• 永久結合

- 一度結合したら、再度分解することを前提としない
 - はめあい, 焼きばめなど部品構造部材の変形を利用
 - 接着, リベットなどを介在させて結合
 - 溶接, 溶着など構造物同士を結合（不可逆）

完全に分解
不可能では
ない

• 非永久結合

- 点検, 整備, 補修のため, 組み立て後も分解することを前提とする
 - 摩擦による締結力を利用して結合
 - 幾何的な形状を利用して結合

受け止められる力
(トルク)に限界

方向により抜け落ち
てしまう危険性

分解を想定する締結要素

求められる機能

- 確実な締結
 - 決められた締結力を決められた期間発揮
 - 緩みなど自己分解を起こさない
- 必要な時に分解可能
 - 工具等を利用することで分解，着脱が可能
- 再度運用が可能
 - 再組み立て，再使用が可能

締結部品を再使用せず
信頼性確保という運用も
ある

ベアリング位置決め具体例

軸か穴のどちらかは
[しまりばめ]
(圧入による組立て)

E型止め輪

軸用C型止め輪

穴用C型止め輪

締結要素を扱う汎用ハンドツール

Spanner

Hexagon wrench

Ratcheted
box wrench

Phillips screwdriver

Offset wrench

Box wrench

Electric screwdriver

Air impact
wrench

工具を確実に操作できる部品形状を考慮した設計は極めて重要

締結要素を扱うハンドツール

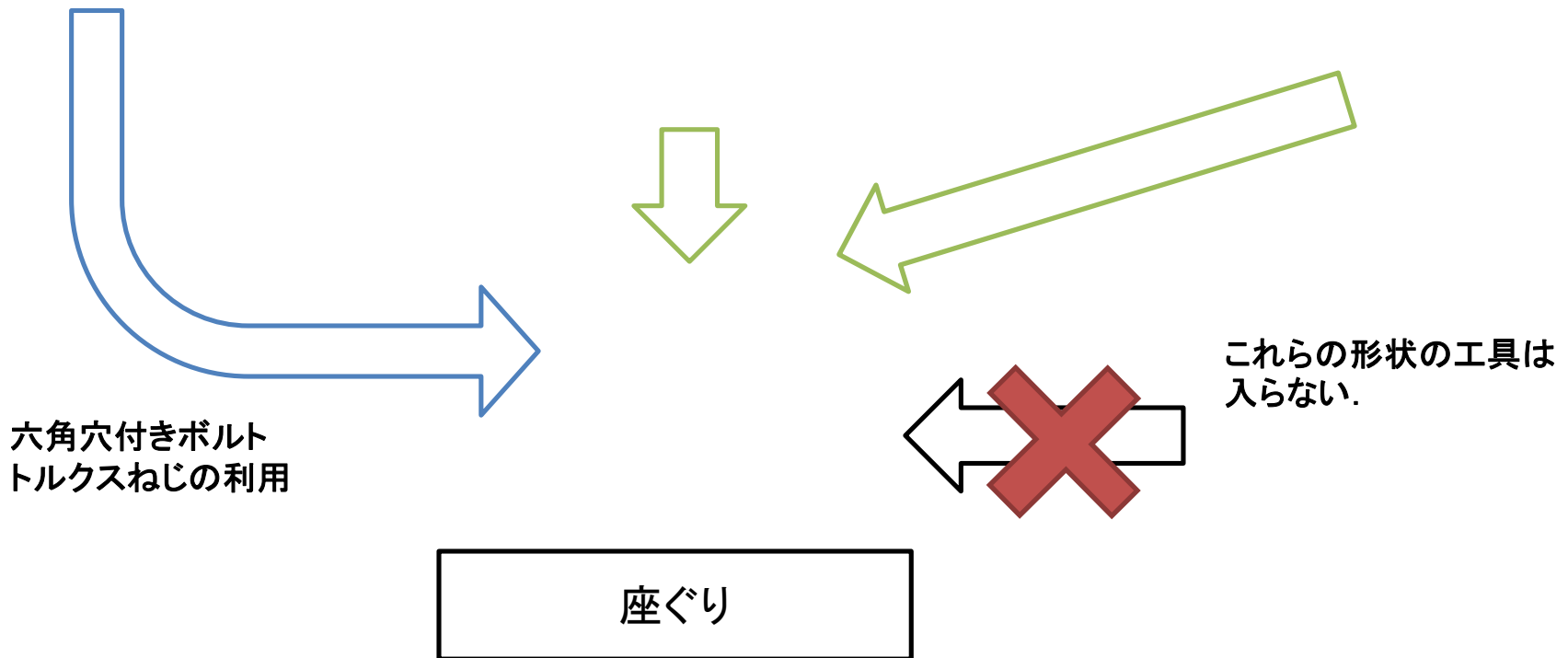
- 汎用的な工具・設備を利用できれば基本的にはよい
 - 高付加価値のために工具を限定したり, 専用工具を前提にする設計も場合により有効
-

参考)

- 汎用的な工具の中には上のような締結部品を劣化させるものも少なからず存在(不具合対処の整備時など応急的に利用)
- 設計時の工夫でこれらの利用を避ける形状も可能(ざぐりなどでボックスレンチやアーレンキーの利用を促す)

締結部品組立ての具体例

六角ボルト締結で[座ぐり]
の場合、組立て工具が入る
ように設計



演習1

本日の授業を参考に、

- A) 関心のある製品, 部品の例を挙げ
- B) 締結要素を具体的に3種類(箇所)挙げ
- C) それぞれについて
 1. 役割(機能)
 2. 使われかた
 3. その要素を利用・設計する上で留意すること

説明せよ. 配布した用紙に回答のこと.

但し, websiteの解答例およびスマートフォン等は対象としない回答が望ましい.

解答例

A) ある家電製品の筐体を例に挙げる.

B) 以下の3点を挙げる.

1. タッピングネジ
2. ○
3. ○

C) 1については,

1. 部品を固定し, 相互には相対運動しない目的で利用される.
2. 一旦固定されたらあまり分解・組み立ては行わない. 修理等の時に分解を行う程度の利用

3. 通常のねじのように正確な理論ができているとは言い難く, また材料の特性に大きく依存する.

従って, 強度を要する部位への利用は避けるべきであるが, 組み立て上の利便性から利用するにあたり, 試作時の試験, 評価を行うことで, 強度, 耐久性, 安全性を検証しておくことが必要となる.

また, 再組み立て時は新たにねじ山が創生されないよう, 合わせて回すなどの注意を払う必要がある.

演習2(歯車強度)

問)以下の条件の時,動荷重係数を算出せよ.

仕様と使用条件

伝達動力100[W],回転数2000[rpm]の単気筒の内燃機関を利用,負荷はあまり変動しないが多少の衝撃は伴う.

使用する歯車

モジュール2,圧力角20[deg],歯幅10[mm],一次側歯数15枚,二次側歯数40枚

関連する数式メモ

伝達動力 P [W],ピッチ円周速 v [m/s],歯幅 b [mm],歯数比 $u=Z_2/Z_1$ [1],
歯元の断面係数 z_1 ,断面係数 $z_1=bs^2/6$ [m³],歯厚 $s=(\pi/2+2\tan\alpha)m$,
モジュール m [1],歯車圧力角 α [deg]