動力伝達 · 締まりばめ · キー · スプライン · 技術資料 · 公開

軸とハブの 締結

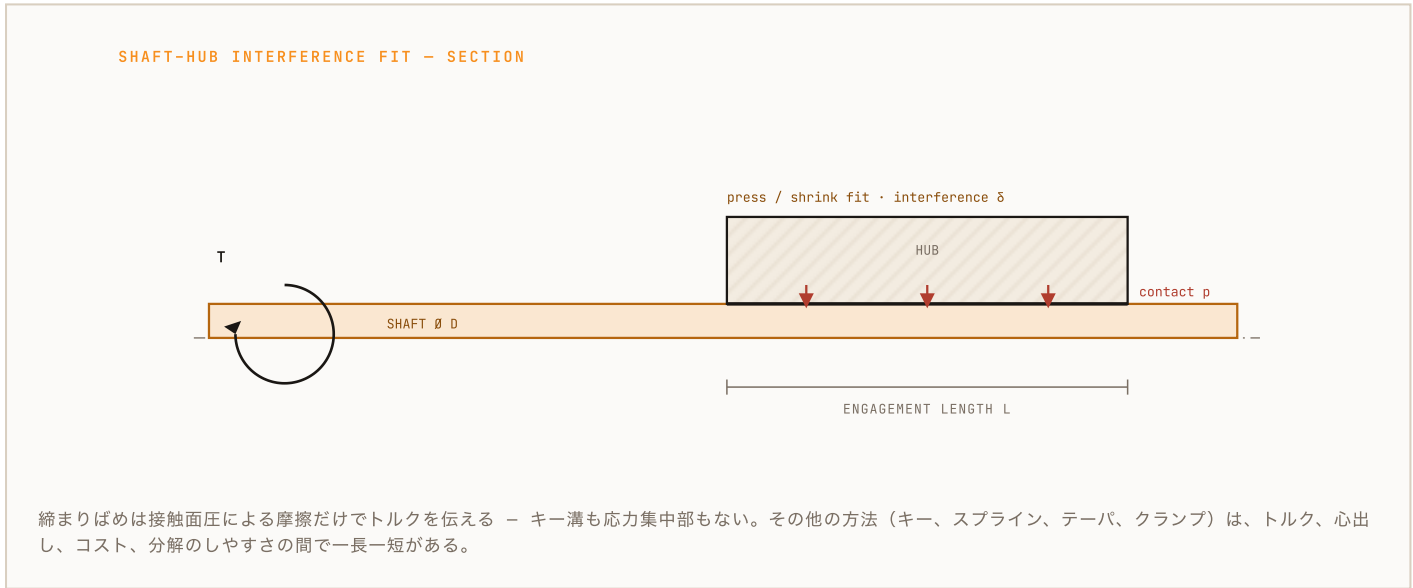
軸からハブへトルクを伝える — 締まりばめ、キー、スプライン、テーパ、クランプハブ — それぞれの伝達トルク、長所と短所、寸法の決め方。

改訂	発行	作成	付属資料
1.0	June 2026	Ideambox エンジニアリング	PDF技術資料

概要

軸とハブの締結は、回転軸と歯車、プーリ、スプロケット、カップリングとの間でトルク（場合によっては軸方向荷重も）を伝える。締まりばめ、キー、スプライン、テーパ、止めねじ、クランプハブのいずれを選ぶかは、伝達トルクと、心出し精度、組立・分解のしやすさ、軸の損傷、コストとの兼ね合いで決まる。

第1節で各方式を比較する。第2節は締まりばめ（圧入／焼きばめ）とその伝達トルク、第3節はキーとキー溝、第4節はスプラインを扱う。第5節はテーパ結合、クランプハブ、キーレスブッシング、止めねじ、第6節は選定チェックリストである。



締まりばめは接触面圧による摩擦だけでトルクを伝える — キー溝も応力集中部もない。その他の方法（キー、スプライン、テーパ、クランプ）は、トルク、心出し、コスト、分解のしやすさの間で一長一短がある。

目次

1. 各方式の比較
2. 締まりばめ（圧入／焼きばめ）
3. キーとキー溝
4. スプライン
5. テーパ結合、クランプハブ、キーレスブッシング
6. 選定チェックリスト

1. 各方式の比較

方式	トルク	心出し	組立・分解	軸の損傷	備考
締まりばめ（圧入／焼きばめ）	大	非常に良い	難しい（圧入／加熱）	なし	すっきりしており応力集中部なし；圧入力または加熱が必要
平行キー＋キー溝	中〜大	良い	容易	キー溝（応力集中部）	安価で規格化された標準方式
スプライン	非常に大	非常に良い	容易（軸方向に摺動）	追加の損傷なし	多数の歯で荷重を分担；加工費が高い
テーパ結合（＋ナット）	大	非常に良い	中程度	なし	自動調心、高精度、取外し可能
クランプ／すり割りハブ	中	良い	非常に容易	なし	位置変更可能；軸の加工不要
キーレスブッシング／シュリンクディスク	非常に大	良い	中程度	なし	キー溝なしで大トルク
止めねじ（平取り部に当てる）	小	悪い	非常に容易	軸に傷が付く	軽負荷のみ；平取り部を設ける

1.1 用語

しめしろ（δ）	組立前に軸径が穴径より大きい量
接触面圧（p）	はめあい面に生じる半径方向の圧力（ラメの式による）
はめあい長さ（L）	軸とハブが軸方向に重なる長さ — トルクはこれに比例する
ハブの外径比	ハブの外径／内径 — 薄肉のハブほど早く円周方向応力の限界に達する

2. 締まりばめ（圧入／焼きばめ）

軸を穴よりわずかに大きく作り、組立によって接触面圧 **p** を生じさせる（しめしろ δ と、ハブ形状および両材料の E・ν を用いたラメの厚肉円筒の式から求める）。この面圧による摩擦が荷重を伝える：

- **トルク** `T = μ · p · π · D² · L / 2`
- **軸方向の抜け力** `F = μ · p · π · D · L`

ここで D ははめあい径、L ははめあい長さ、μ は摩擦係数（乾燥した鋼で ≈0.1–0.15；圧入時に給油すると低下）である。しめしろ δ から p、T、F を求めるには *圧入しめしろ* ツールを用いる。

- **ISO 286（JIS B 0401）のはめあいで指定する：** 軽圧入 `H7/p6`、中圧入 `H7/s6`、強圧入 `H7/u6`。しめしろが大きいほど伝達トルクは増えるが、ハブの円周方向応力も増え（ハブが降伏しないことを確認する）、組立力も大きくなる。
- **焼きばめ／冷やしばめ**（ハブを加熱、または軸を冷却）は、小さな組立力で同じしめしろと十分な保持力が得られる
  大径または大しめしろのはめあいに最適である。
- **表面粗さが影響する：** 粗い表面は組立時につぶれるため、*実効*しめしろは測定値より小さくなる
  呼び寸法から指定したはめあいでは、粗い仕上げの場合にトルクを過大に見積もる。

3. キーとキー溝

軸とハブのキー溝に平行キー（正方形／長方形断面）をはめる方法は、標準的で安価な方式である。キーがせん断・圧壊しないよう寸法を決め、軸のキー溝を疲労上の応力集中部として考慮する。

- **せん断：** キーの幅 × 長さで、キーのせん断面にかかる `F = 2T/D` に耐える。
- **面圧／圧壊：** 通常はキー側面とキー溝壁との面圧が限界となる。これも照査する。
- **標準寸法（DIN 6885、JIS B 1301 相当；軸径ごとのキー b × h）：**

軸径 Ø（mm）	キー B × H	軸径 Ø（mm）	キー B × H
10–12	4 × 4	30–38	10 × 8
12–17	5 × 5	38–44	12 × 8
17–22	6 × 6	44–50	14 × 9
22–30	8 × 7	50–58	16 × 10

軸に加工したキー溝は局部応力を高める（Kt ≈ 2–3）— 正逆転する軸や高負荷の軸では疲労上の問題となる。疲労が支配的な場合は、キー溝端部の丸みを大きくするか、キーレス方式を用いる。

4. スプライン

スプラインは軸と一体に加工した多数のキーであり、荷重がすべての歯に分担される — 単一のキーよりはるかに大きなトルクと良好な心出しが得られ、せん断される別部品もない。

- **角形**（旧来、単純）と**インボリュート**（高強度、自動調心、ゲージ管理しやすい）— 現在の標準はインボリュートである。
- トルクを伝えながら**負荷状態で軸方向に摺動**できる（例：ドライブシャフト、変速機構）。
- 製作費が高い（ブローチ加工／ホブ切り）ため、大トルクや摺動を伴う用途に限って用いる。

5. テーパ結合、クランプハブ、キーレスブッシング

- **テーパ結合（+ 締付けナット）：** テーパ軸とテーパ穴は精度よく自動調心し、摩擦で固定される。取外しも可能である。工作機械の主軸やクランク軸プーリに多い。

  - テーパ軸・ハブ結合の伝達トルク：ナットの軸力 `Fₐ` が円すいを押し付け、法線力 `F_N = Fₐ / (sin(α/2) + μ·cos(α/2))` と摩擦トルク `T = μ · F_N · d_m / 2` を生じる（α = 円すいの開き角、d_m = 円すいの平均径、乾燥した鋼で $\mu \approx 0.10$–0.15）。

  - 標準的な円すい軸端は **1:10**（DIN 1448 / ISO 775）：$\alpha/2 \approx 2.86°$ であり、$\tan(\alpha/2) \approx 0.05 < \mu$ となるため、一度押し込めば自己保持する。取外しにはプーラが必要である。

  - 例：d_m = 30 mm、F_a = 20 kN、μ = 0.12 → F_N ≈ 118 kN → T ≈ 210 N·m。テーパ部のキーはハブの回転方向の位置決めを行うもので、正しく締め付けたテーパではトルクをほとんど負担しない。

- **クランプ／すり割りハブ：** すり割りを入れたハブをねじで締め付け、摩擦で軸を把持する
  軸の加工が不要で、位置を自由に変更できる。トルクは中程度。試作品や調整機構に最適である。

- **キーレスブッシング／シュリンクディスク：** テーパリングを引き寄せてハブを軸に締結し、キー溝も疲労上の切欠きもなしに非常に大きなトルクを伝える
  キーでは疲労が問題となる箇所に用いる。

- **止めねじ：** 軽負荷のみ。軸にかえりが出て滑らないよう、必ず**平取り部**に当てる（または棒先を穴に入れる）。1本より 90° 配置の2本のほうが保持力が高い。

6. 選定チェックリスト

- **トルク**
  定常値に加え、正逆転や衝撃のピーク（これがキーレスやスプラインの選択を左右する）。
- **心出し／振れ**
  締まりばめ、テーパ、スプラインが最も良く、止めねじが最も悪い。
- **軸方向の挙動**
  ハブを摺動させる必要があるか（スプライン）、位置を固定するか（はめあい／キー／ナット）。
- **組立・分解**
  保守時のアクセスと頻度：容易に外すならクランプ／キーレス、恒久的ならはめあい。
- **軸の損傷**
  疲労が厳しい軸や焼入れ軸ではキー溝や止めねじの傷を避ける（キーレスを用いる）。
- **コスト**
  キーが最も安価。スプラインとキーレスブッシングが最も高価。
- **次に：** 方式の寸法を決め（締まりばめは圧入ツールで、キーはせん断＋面圧で、スプライン／キーレスはメーカーの定格トルクから）、キー溝があれば軸の疲労を照査する。

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/ja/downloads/shaft-hub-connections/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact