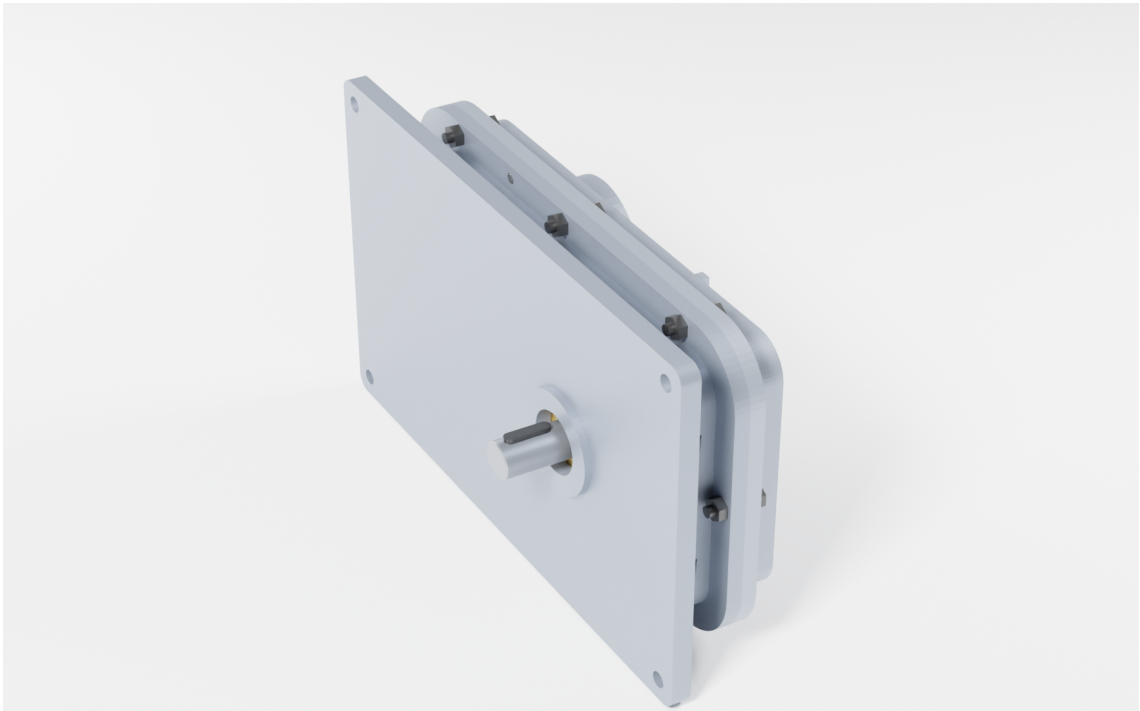


LP-GB-01 2段平歯車減速機 ― 計算の記録

作成: 2026-10-20 ・ YOBITSUGI AI ・ 設計の数値はすべて scripts/params.py の変数から計算(同じスクリプトを流せば同じ結果)

1. 条件と結果のまとめ

項目	値
入力(モーター)	6000 rpm ・ 0.05 N・m(軸 Ø5) ・ 入力 31.4 W
歯車	1段 m0.8 z20/z70(i = 3.500) ・ 2段 m1 z18/z62(i = 3.444) ・ 圧力角 20° 標準平歯車
全体の減速比	12.0556(1/12 の狙いに対し +0.46 %)
出力	497.7 rpm ・ 0.570 N・m ・ 29.7 W(効率 94.6 %)
中心距離	1段 36 ± 0.02 mm ・ 2段 40 ± 0.02 mm
かみ合い率	1段 1.682 ・ 2段 1.660
バックラッシュ(円周)	設計 1段 0.060 ・ 2段 0.080 mm/モデルで測定 0.0600 ・ 0.0800 mm
干渉	歯車の 2D の回転(240 位置) ・ 3D の総当たり(79 組) ・ 3D の回転(10 位置)で重なりなし → OK
総質量	907 g(ハウジング A5052、歯車 ・ 軸 S45C、軸受は簡略形)



2. 歯車の諸元

項目	歯車1	歯車2	歯車3	歯車4
モジュール m / 歯数 z	0.8 / 20	0.8 / 70	1 / 18	1 / 62
基準円直径 $d = m \cdot z$	16.000	56.000	18.000	62.000
歯先円直径 $d_a = d + 2m$	17.600	57.600	20.000	64.000
歯底円直径 $d_f = d - 2.5m$ (標準)	14.000	54.000	15.500	59.500
歯底円直径(歯厚減少後・モデル)	13.918	53.918	15.390	59.390
基礎円直径 $d_b = d \cdot \cos \alpha$	15.035	52.623	16.914	58.261
歯幅 b	7	6	9	8
基準円上の歯厚(設計) $= \pi m / 2 - \Delta s$	1.2266 (Δs 0.030)	1.2266 (Δs 0.030)	1.5308 (Δs 0.040)	1.5308 (Δs 0.040)
またぎ歯厚 $W(k)$ 上 0 / 下 -0.030	6.100 ($k=3$)	18.469 ($k=8$)	4.643 ($k=2$)	20.020 ($k=7$)
固定	Dカット+止めねじ	キー 3×3	Dカット+止めねじ	キー 4×4

歯形はラック工具(歯先の丸み

0.38m)で創成した形をそのまま計算してモデル化(インボリュート+トロコイドの歯すみ肉)。バックラッシは工具を中心へ $\Delta s / (2 \tan \alpha)$ 寄せて歯厚を薄くして作る(実際の歯切りと同じ)。

3. かみ合いの確かめ(計算とモデル)

項目	1段目	2段目	判定
中心距離 $a = m(z_1 + z_2) / 2$ [mm]	36 ± 0.02	40 ± 0.02	
かみ合い率 $\varepsilon (\geq 1.2)$	1.682	1.660	OK
頂げき c [mm](標準 0.25m)	0.241 / 0.241	0.305 / 0.305	OK
切下げ(小歯車 $z \geq 2 / \sin^2 \alpha = 17.1$)	$z = 20$	$z = 18$	OK
インボリュート干渉: 相手の歯先が届く半径 $\geq$ 歯形の有効な始まり [mm]	小 7.542 $\geq$ 7.523 / 大 27.426 $\geq$ 27.257	小 8.468 $\geq$ 8.457 / 大 30.302 $\geq$ 30.085	OK
円周バックラッシ 設計 [mm]	0.060	0.080	
// 中心距離の許容差を含む	0.0454 ~ 0.0746	0.0654 ~ 0.0946	OK
// モデルで測定(2D・6位置)	0.0600 ~ 0.0601	0.0800 ~ 0.0801	一致
1 ピッチ回したときの重なり面積の最大 [mm ²]	0.0e+00	0.0e+00	OK
歯面の最小すき間 [mm]($\approx j_n / 2$)	0.0282	0.0376	

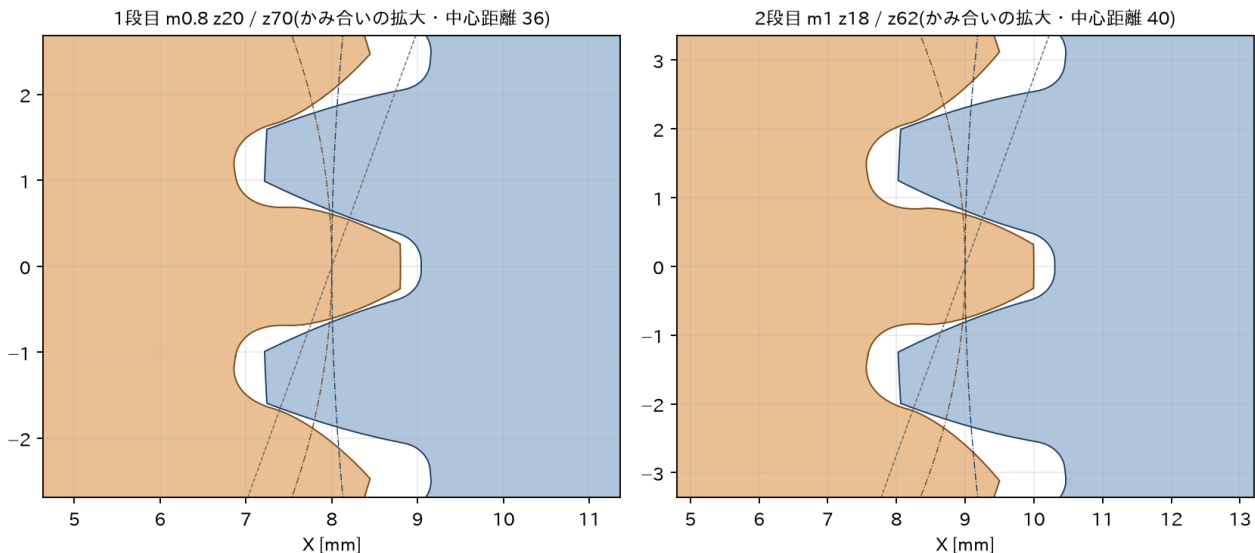


図: モデルと同じ歯形の式で描いたかみ合いの拡大(一点鎖線 = 基準円、破線 = 作用線)。

4. 強度の簡単な確かめ(使用係数 $K_s = 1.5$)

項目	値 [MPa]	限度 [MPa]	安全率	判定
1段目 小歯車 z20 歯元の曲げ(ルイス・ $Y=0.322 \cdot K_v=1.82$)	11.06	205	18.5	OK
1段目 大歯車 z70 歯元の曲げ(ルイス・ $Y=0.431 \cdot K_v=1.82$)	8.27	205	24.8	OK
1段目 歯面の接触(ヘルツ)	226.2	520	2.30	OK
2段目 小歯車 z18 歯元の曲げ(ルイス・ $Y=0.309 \cdot K_v=1.26$)	14.55	205	14.1	OK
2段目 大歯車 z62 歯元の曲げ(ルイス・ $Y=0.424 \cdot K_v=1.26$)	10.61	205	19.3	OK
2段目 歯面の接触(ヘルツ)	268.3	520	1.94	OK
入力軸(カップリング部 $\phi 10/\phi 5$ 中空)ねじり	0.41	40	98.2	OK
入力軸(Dカット部 有効 $\phi 9.1$)ねじり	0.51	40	78.9	OK
中間軸(キー溝部 有効 $\phi 8.2$)ねじり	2.36	40	16.9	OK
出力軸(歯車部 有効 $\phi 9.5$)ねじり	5.08	40	7.9	OK
出力軸(軸端 有効 $\phi 8.2$)ねじり	7.90	40	5.1	OK
キー 歯車2 — 中間軸(3×3×8)せん断 / 面圧	3.41 / 8.53	40 / 60	11.7 / 7.0	OK
キー 歯車4 — 出力軸(4×4×10)せん断 / 面圧	5.94 / 15.84	40 / 60	6.7 / 3.8	OK
キー 出力軸端(3×3×12)せん断 / 面圧	6.34 / 15.84	40 / 60	6.3 / 3.8	OK

軸受	型番	荷重 Fr [N]	回転数 [rpm]	Cr [N]	L10h [h]	判定
入力軸・前	6800ZZ	7.4	6000	1720	3.49e+07	OK
入力軸・後	6800ZZ	2.6	6000	1720	8.23e+08	OK
中間軸・前	6800ZZ	17.8	1714	1720	8.78e+06	OK
中間軸・後	6800ZZ	20.8	1714	1720	5.48e+06	OK
出力軸・前	6801ZZ	11.5	498	1920	1.57e+08	OK
出力軸・後	6801ZZ	18.8	498	1920	3.58e+07	OK

歯元の曲げ: $\sigma_F = F_t \cdot K_s \cdot K_v / (b \cdot m \cdot Y)$ 。接触: $\sigma_H = Z_E \cdot Z_H \cdot \sqrt{(F_t \cdot K_s \cdot K_v / (b \cdot d_1) \cdot (u+1)) / u}$ 。軸: $\tau = 16T / (\pi d^3)$ (キー溝・Dカットは有効径で)。キー: $\tau = F / (b \cdot L)$ 、 $p = F / ((h-t_1) \cdot L)$ 、 $L' = L - b$ 。軸受: $L_{10h} = (Cr/P)^{3/10} \cdot 10^6 / (60n)$ 、目標 5000 h。荷重がとても小さいので、強度はどれも十分に余裕がある(寸法は軸受の内径と工作のしやすさで決まっている)。

5. 部品表(BOM)

品番	品名	規格・寸法	材質	個数	1個の質量 [g]	図番・規格・備考
1	フロントハウジング	2つ割り・モーター取付け筒	A5052	1	203.71	LP-GB-01-002
2	リヤハウジング	2つ割り・取付けフランジ	A5052	1	334.13	LP-GB-01-003
3	歯車1(入力ピニオン)	m0.8 z20 歯幅7	S45C	1	8.72	Dカット・止めねじ
4	歯車2(1段大歯車)	m0.8 z70 歯幅6	S45C	1	71.76	キー溝3
5	歯車3(2段ピニオン)	m1.0 z18 歯幅9	S45C	1	14.42	Dカット・止めねじ
6	歯車4(出力歯車)	m1.0 z62 歯幅8	S45C	1	117.13	LP-GB-01-004
7	入力軸	$\phi 10$ ・モーター軸 $\phi 5$ 受け	S45C	1	29.08	
8	中間軸	$\phi 10$	S45C	1	20.36	
9	出力軸	$\phi 12$ / 軸端 $\phi 10$	S45C	1	44.98	
10	平行キー	3×3×8 両丸形	S45C	1	0.52	JIS B 1301
11	平行キー	4×4×10 両丸形	S45C	1	1.15	JIS B 1301
12	平行キー	3×3×12 両丸形	S45C	1	0.80	JIS B 1301
13	深溝玉軸受	6800ZZ (10×19×5)	SUJ2	4	7.66	JIS B 1521・購入品
14	深溝玉軸受	6801ZZ (12×21×5)	SUJ2	2	8.72	JIS B 1521・購入品
15	平行ピン	$\phi 3 \times 8$ m6	SUJ2	2	0.44	JIS B 1354・購入品
16	六角ボルト	M3×12 強度区分8.8	SWCH	8	1.08	JIS B 1180・購入品
17	六角ナット	M3 3種	SWCH	8	0.36	JIS B 1181・購入品
18	六角穴付き止めねじ	M3×4 くぼみ先	SCM435	3	約0.4	JIS B 1177・購入品(モデル省略)

6. 部品ごとの体積と質量(3D モデル)

モデルの部品名	体積 [mm ³]	A5052 [g]	S45C [g]	STEP 読み直し [mm ³]
01_Housing_Front	76011.8	203.71	596.69	76011.8
02_Housing_Rear	124676.1	334.13	978.71	124676.1
03_Gear1_z20_m0.8	1110.5	2.98	8.72	—
04_Gear2_z70_m0.8	9141.2	24.50	71.76	—
05_Gear3_z18_m1.0	1836.8	4.92	14.42	—
06_Gear4_z62_m1.0	14920.4	39.99	117.13	—
07_Shaft_Input	3703.9	9.93	29.08	3703.9
08_Shaft_Intermediate	2593.7	6.95	20.36	2593.7
09_Shaft_Output	5729.8	15.36	44.98	5729.8
10_Key_3x3x8_Gear2	66.2	0.18	0.52	66.2
11_Key_4x4x10_Gear4	146.3	0.39	1.15	146.3
12_Key_3x3x12_Output	102.2	0.27	0.80	102.2
13_Bearing_6800ZZ_Input_Front	975.7	2.62	7.66	975.7
14_Bearing_6800ZZ_Input_Rear	975.7	2.62	7.66	975.7
15_Bearing_6800ZZ_Intermediate_Front	975.7	2.62	7.66	975.7
16_Bearing_6800ZZ_Intermediate_Rear	975.7	2.62	7.66	975.7
17_Bearing_6801ZZ_Output_Front	1110.3	2.98	8.72	1110.3
18_Bearing_6801ZZ_Output_Rear	1110.3	2.98	8.72	1110.3
19_Pin_D3_1	55.8	0.15	0.44	55.8
20_Pin_D3_2	55.8	0.15	0.44	55.8
21_Bolt_M3x12_1	137.2	0.37	1.08	137.2
22_Bolt_M3x12_2	137.2	0.37	1.08	137.2
23_Bolt_M3x12_3	137.2	0.37	1.08	137.2
24_Bolt_M3x12_4	137.2	0.37	1.08	137.2
25_Bolt_M3x12_5	137.2	0.37	1.08	137.2
26_Bolt_M3x12_6	137.2	0.37	1.08	137.2
27_Bolt_M3x12_7	137.2	0.37	1.08	137.2
28_Bolt_M3x12_8	137.2	0.37	1.08	137.2
29_Nut_M3_1	45.9	0.12	0.36	45.9
30_Nut_M3_2	45.9	0.12	0.36	45.9
31_Nut_M3_3	45.9	0.12	0.36	45.9
32_Nut_M3_4	45.9	0.12	0.36	45.9
33_Nut_M3_5	45.9	0.12	0.36	45.9
34_Nut_M3_6	45.9	0.12	0.36	45.9
35_Nut_M3_7	45.9	0.12	0.36	45.9
36_Nut_M3_8	45.9	0.12	0.36	45.9

A5052 = 2.68 g/cm³、S45C = 7.85 g/cm³。総質量(材質どおり)907 g。

7. 3D モデルの干渉の確かめ

外形の箱が重なる 79 組について、立体の共通部分(ブール演算)の体積を求めた。0.001 mm³ 以上の組: 0 組。軸と軸受・歯車と軸・キーと溝のように寸法が同じでぴったり接する組は、体積 0(面で接するだけ)になる。

かみ合う組(減速比どおりに回す)	小歯車の回転 [°]	共通部分 [mm ³]	判定
03_Gear1_z20_m0.8 / 04_Gear2_z70_m0.8	0.00	0.00e+00	OK
03_Gear1_z20_m0.8 / 04_Gear2_z70_m0.8	3.60	0.00e+00	OK
03_Gear1_z20_m0.8 / 04_Gear2_z70_m0.8	7.20	0.00e+00	OK
03_Gear1_z20_m0.8 / 04_Gear2_z70_m0.8	10.80	0.00e+00	OK
03_Gear1_z20_m0.8 / 04_Gear2_z70_m0.8	14.40	0.00e+00	OK
05_Gear3_z18_m1.0 / 06_Gear4_z62_m1.0	0.00	0.00e+00	OK
05_Gear3_z18_m1.0 / 06_Gear4_z62_m1.0	4.00	0.00e+00	OK
05_Gear3_z18_m1.0 / 06_Gear4_z62_m1.0	8.00	0.00e+00	OK
05_Gear3_z18_m1.0 / 06_Gear4_z62_m1.0	12.00	0.00e+00	OK
05_Gear3_z18_m1.0 / 06_Gear4_z62_m1.0	16.00	0.00e+00	OK

部品 A	部品 B	最小のすき間 [mm]
04_Gear2_z70_m0.8	07_Shaft_Input	1.149
04_Gear2_z70_m0.8	03_Gear1_z20_m0.8	0.028
06_Gear4_z62_m1.0	08_Shaft_Intermediate	3.121
06_Gear4_z62_m1.0	05_Gear3_z18_m1.0	0.038
04_Gear2_z70_m0.8	06_Gear4_z62_m1.0	0.500
04_Gear2_z70_m0.8	01_Housing_Front	2.000
06_Gear4_z62_m1.0	02_Housing_Rear	0.500
04_Gear2_z70_m0.8	02_Housing_Rear	5.412
06_Gear4_z62_m1.0	01_Housing_Front	2.828
05_Gear3_z18_m1.0	06_Gear4_z62_m1.0	0.038
03_Gear1_z20_m0.8	01_Housing_Front	1.655
09_Shaft_Output	02_Housing_Rear	2.500

8. 書き出したファイルの確かめ(読み直し)

確かめ	結果	内容
組立 STEP: 部品名(テキストで数える)	OK	PRODUCT の名前 36 / 36 個が一致・MANIFOLD_SOLID_BREP 36 個・AUTOMOTIVE_DESIGN { 1 0 10303 214 1 1 1 1 }
組立 STEP: 読み直し(build123d / OpenCascade)	OK	部品 36 / 36 個・名前つき・体積の差の最大 1.13e-11 %
組立 STEP: 別のソフト(gmsh 4.15.2)で読み直し	OK	立体 36 個・体積の合計 247739.1 mm ³ (モデル 247739.1 mm ³ ・差 6.13e-12 %)
部品ごとの STEP(36 ファイル)	OK	すべて読み直して体積が一致
STL(36 ファイル・trimesh)	OK	すべて閉じた形(watertight)・三角形にした体積の差の最大 0.176 %
glTF gearbox.glb	OK	メッシュの節 36 個(部品名つき)・材質 11・大きさ 0.159×0.073×0.100 m(Y が上)
glTF gearbox_exploded.glb	OK	メッシュの節 36 個(部品名つき)・材質 11・大きさ 0.159×0.210×0.100 m(Y が上)
glTF gearbox_seethrough.glb	OK	メッシュの節 36 個(部品名つき)・材質 11・大きさ 0.159×0.073×0.100 m(Y が上)
図面 PDF	OK	4 ページ・1191 × 842 pt(A3 横 = 420 × 297 mm)
図面 PDF の文字(図番・投影法・はめあい)	OK	見つかった: LP-GB-01-001・LP-GB-01-002・LP-GB-01-003・LP-GB-01-004・第三角法・H7・断面 A-A・要目
DXF(ezdxfl の監査)	OK	LP-GB-01-001_1492 図形・LP-GB-01-002_728 図形・LP-GB-01-003_773 図形・LP-GB-01-004_445 図形・エラーなし
DXF を別のソフト(LibreCAD)で開いて印刷	OK	4 枚とも A3 の PDF に印刷できた(線・線種・画層を読めた。LibreCAD は日本語フォントを持たないため日本語の文字は ? になる)