

### [35] K-H-V Differential Gear Design System

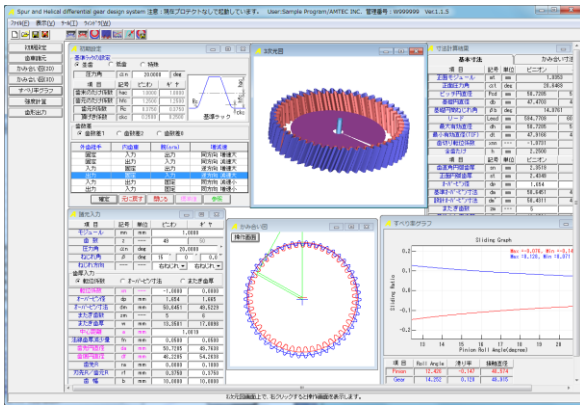


図35.1 K-H-V Differential Gear Design System

#### 35.1 概要

「K-H-V Differential Gear Design System」は、インボリュート歯車の差動減速（増速）機構設計（歯数差 0, 1, 2 の 3 種類）ソフトウェアであり、歯形設計、歯のかみ合い、すべり率、強度計算をすることができます。歯数差が小さい場合、転位係数 0 の標準歯車で設計するとインボリュート干渉等が発生しますが、本ソフトウェアでは、かみ合い率が 1 以上で且つ、干渉が発生しない転位係数の組み合わせの歯車を計算することができます。なお、トロコイド曲線を有する差動歯車ソフトウェアは、カタログ[34]をご覧ください。

#### 35.2 初期設定

図 35.2 に示すように、基準ラックの設定と歯数差（1 歯差，2 歯差，0 歯差）を選択し、次に、組み合わせ（腕の固定/入力/出力）を選択します（図 35.2）。歯数差が 0 の場合は、腕（arm）を固定として歯形を作図します。

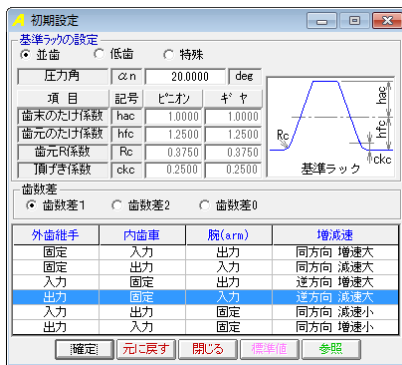


図 35.2 初期設定

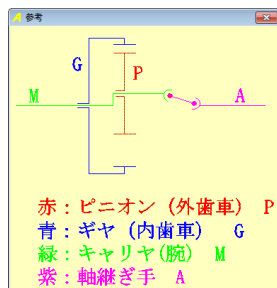


図 35.3 K-H-V 型減速機構

#### 35.3 寸法設定

図 35.4 の  $m_n$ ,  $z$ ,  $\alpha_n$ ,  $\beta$  入力後、転位係数 ( $x_n$ ) の与え方は無数に存在しますので「参考値」補助機能を使用して、かみ合い率 1 以上で且つ、インボリュート干渉が発生しない組み合わせを図 35.5 に示します（図中の○印）。本例の場合、55 個を表示しますが、この中から No.27 の転位係数 ( $x_{n1} = -0.6$ , 図中の●丸) を選択すると、図 35.7 のように諸元が決まります。

また、転位係数とかみ合い率そして歯車寸法は、図 35.6 の表からも選択することができます。



図 35.4 諸元設定 1

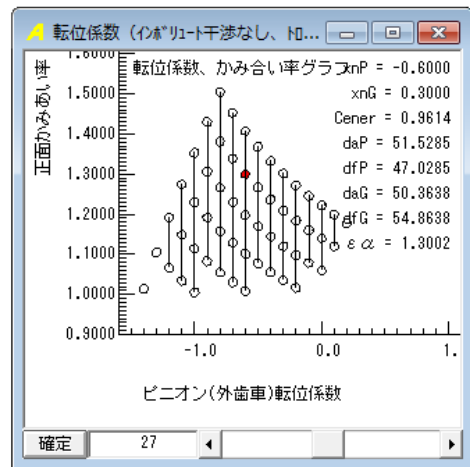


図 35.5 補助機能（転位係数とかみ合い率）

| 番号 | 転位係数 $x_n$ | 転位係数 $x_n G$ | 中心距離   | 歯先円直径 $da_P$ | 歯底円直径 $df_P$ | 歯先円直径 $da_G$ | 歯底円直径 $df_G$ | 正面かみ合い率 |
|----|------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| 19 | -0.8000    | 0.3000       | 1.0420 | 51.1285      | 46.8285      | 50.3638      | 54.8638      | 1.1677  |
| 20 | -0.8000    | 0.4000       | 1.0919 | 51.1285      | 46.8285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.0651  |
| 21 | -0.7000    | 0.1000       | 0.9202 | 51.3285      | 46.8285      | 49.3638      | 54.4638      | 1.4523  |
| 22 | -0.7000    | 0.2000       | 0.9614 | 51.3285      | 46.8285      | 50.3638      | 54.8638      | 1.3379  |
| 23 | -0.7000    | 0.3000       | 1.0019 | 51.3285      | 46.8285      | 50.3638      | 54.8638      | 1.2301  |
| 24 | -0.7000    | 0.4000       | 1.0420 | 51.3285      | 46.8285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.1279  |
| 25 | -0.7000    | 0.5000       | 1.0816 | 51.3285      | 46.8285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.0264  |
| 26 | -0.6000    | 0.1000       | 0.9202 | 51.5285      | 47.0285      | 50.3638      | 54.8638      | 1.4076  |
| 27 | -0.6000    | 0.2000       | 0.9614 | 51.5285      | 47.0285      | 50.3638      | 54.8638      | 1.3062  |
| 28 | -0.6000    | 0.3000       | 1.0019 | 51.5285      | 47.0285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.1984  |
| 29 | -0.6000    | 0.4000       | 1.0420 | 51.5285      | 47.0285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.0912  |
| 30 | -0.6000    | 0.5000       | 1.0816 | 51.5285      | 47.0285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.0001  |
| 31 | -0.5000    | 0.1000       | 0.9202 | 51.7285      | 47.2285      | 50.3638      | 54.8638      | 1.3680  |
| 32 | -0.5000    | 0.2000       | 0.9614 | 51.7285      | 47.2285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.2666  |
| 33 | -0.5000    | 0.3000       | 1.0019 | 51.7285      | 47.2285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.1688  |
| 34 | -0.5000    | 0.4000       | 1.0420 | 51.7285      | 47.2285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.0739  |
| 35 | -0.4000    | 0.1000       | 0.9202 | 51.9285      | 47.4285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.3217  |
| 36 | -0.4000    | 0.2000       | 0.9614 | 51.9285      | 47.4285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.2263  |
| 37 | -0.4000    | 0.3000       | 1.0019 | 51.9285      | 47.4285      | 50.3638      | 55.2638      | 1.1409  |

図 35.6 補助機能（No.27 の  $x_n$  と  $\varepsilon$ ）

| 項目  | 記号         | 単位  | ピニオン    | ギヤ      |
|---|------------|-----|---------|---------|
| モジュール   | mn         | mm  | 1.0000  |         |
| 歯数  | z          | --- | 49      | 50      |
| 圧力角   | $\alpha_n$ | deg | 20.0000 |         |
| ねじれ角  | $\beta$    | deg | 15      | 0       |
| ねじれ方向   | ---        | --- | 右ねじれ    | 右ねじれ    |
| 歯厚入力  |            |     |         |         |
| <input checked="" type="radio"/> 転位係数 <input type="radio"/> オーバークラウド法 <input type="radio"/> またぎ歯厚 |            |     |         |         |
| 転位係数  | xn         | --- | -0.6000 | 0.2000  |
| オーバークラウド  | dp         | mm  | 1.654   | 1.674   |
| オーバークラウド法   | dm         | mm  | 51.6395 | 49.9088 |
| またぎ歯数   | zm         | --- | 5       | 7       |
| またぎ歯厚   | w          | mm  | 13.6318 | 20.0987 |
| 中心距離  | a          | mm  | 0.9202  |         |
| 法線歯厚減少量   | fn         | mm  | 0.1000  | 0.0000  |
| 歯先円直径   | da         | mm  | 51.5285 | 50.1638 |
| 歯底円直径   | df         | mm  | 47.0285 | 54.6638 |
| 歯先R   | ra         | mm  | 0.0500  | 0.0500  |
| 刃先R/歯元R   | rf         | mm  | 0.3750  | 0.3750  |
| 歯幅  | b          | mm  | 10.0000 | 10.0000 |

図 35.7 諸現設定 2

図 35.7 の諸元を [確定] すると図 35.8 および図 35.9 のように寸法が決まります。本例の場合、トリミングが発生していますが、かみ合いには影響がないためそのまま計算を進めます。

| 基本寸法        |            | かみ合い寸法 |          |          |
|-------------|------------|--------|----------|----------|
| 項目          | 記号         | 単位     | ピニオン     | ギヤ       |
| 正面モジュール     | mt         | mm     | 1.0353   |          |
| 正面圧力角       | $\alpha_t$ | deg    | 20.6469  |          |
| ピッチ円直径      | Pcd        | mm     | 50.7285  | 51.7638  |
| 基礎円直径       | db         | mm     | 47.4703  | 48.4391  |
| 基礎円筒ねじれ角    | $\beta_b$  | deg    | 14.0761  |          |
| リード         | Lead       | mm     | 594.7709 | 606.9091 |
| 最大有効直径      | dh         | mm     | 51.4671  | 54.2473  |
| 最小有効直径(TIF) | dt         | mm     | 48.2779  | 50.2372  |
| 歯切り転位係数     | xnn        | ---    | -0.7462  | 0.2000   |
| 全歯たけ        | h          | mm     | 2.2500   | 2.2500   |
| 項目          | 記号         | 単位     | ピニオン     | ギヤ       |
| 歯直角円弧歯厚     | sn         | mm     | 2.1140   | 1.7164   |
| 正面円弧歯厚      | st         | mm     | 2.1886   | 1.7769   |
| オーバークラウド    | dp         | mm     | 1.654    | 1.674    |
| 基準オーバークラウド法 | dm         | mm     | 51.6395  | 49.9088  |
| 設計オーバークラウド法 | dm'        | mm     | 51.3014  | 49.9088  |
| またぎ歯数       | zm         | ---    | 5        | 7        |
| 基準またぎ歯厚     | W          | mm     | 13.6318  | 20.0987  |
| 設計またぎ歯厚     | W'         | mm     | 13.5318  | 20.0987  |

図 35.8 寸法

| 基本寸法          |                      | かみ合い寸法 |           |         |        |
|---------------|----------------------|--------|-----------|---------|--------|
| 項目            | 記号                   | 単位     | ピニオン      | ギヤ      |        |
| 正面かみ合い圧力角     | $\alpha_{vt}$        | deg    | 58.2376   |         |        |
| かみ合いねじれ角      | $\beta_w$            | deg    | 25.4693   |         |        |
| かみ合いピッチ円直径    | dw                   | mm     | 90.1796   | 92.0200 |        |
| 有効歯幅          | bw                   | mm     | 10.0000   |         |        |
| クリアランス(大径)    | ckh                  | mm     | 0.6475    |         |        |
| クリアランス(小径)    | ckt                  | mm     | 0.6475    |         |        |
| 最大接触直径        | dja                  | mm     | 51.4671   | 52.9760 |        |
| 最小接触直径        | djf                  | mm     | 48.3042   | 50.2372 |        |
| 正面かみ合い率       | $\varepsilon_\alpha$ | ---    | 1.3356    |         |        |
| 重なりかみ合い率      | $\varepsilon_\beta$  | ---    | 0.8238    |         |        |
| 全かみ合い率        | $\varepsilon_\gamma$ | ---    | 2.1594    |         |        |
| 滑り率(大径側)      | $\sigma_a$           | ---    | -0.0571   | 0.0540  |        |
| 滑り率(小径側)      | $\sigma_f$           | ---    | -0.1104   | 0.0995  |        |
| 正面法線方向バックラッシュ | jnt                  | mm     | 0.1031    |         |        |
| バックラッシュ角      | $j_\theta$           | deg    | 0.2490    | 0.2440  |        |
| 項目            | 記号                   | 単位     | ピニオン(出力)  | ギヤ(固定)  | 旋(入力)  |
| 回転比           | Vhi                  | ---    | -0.0204   | 0.0000  | 1.0000 |
| 逆回転比(=1/Vhi)  | Uhi                  | ---    | -49.0000  | 0.0000  | 1.0000 |
| トリミング         | ---                  | ---    | 発生する(注意)  |         |        |
| インボリュート干渉     | ---                  | ---    | 発生しない(安全) |         |        |
| トロコイド干渉       | ---                  | ---    | 発生しない(安全) |         |        |
| フィレット干渉       | ---                  | ---    | 発生しない(安全) |         |        |

図 35.9 かみ合い寸法

### 35.4 歯形

歯車諸元 (図 35.7) の歯形を図 35.10 のように作図することができます。図 34.11 は、かみ合い部 (A)、(B) の拡大図です。また、図 35.12 のように距離計測も可能です。歯形レンダリング(図 35.13)は、歯車の組み合わせに応じて歯車が回転します。

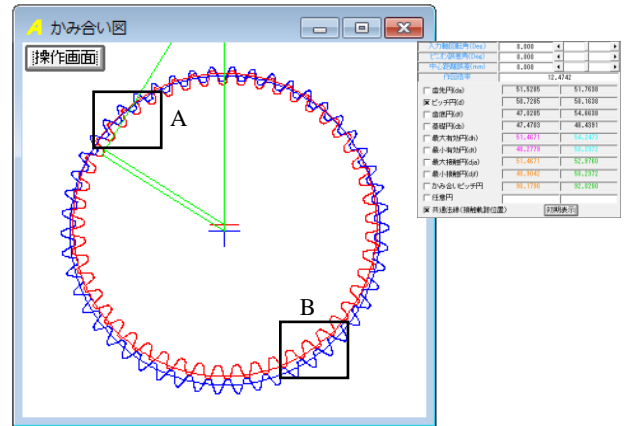


図 35.10 かみ合い図

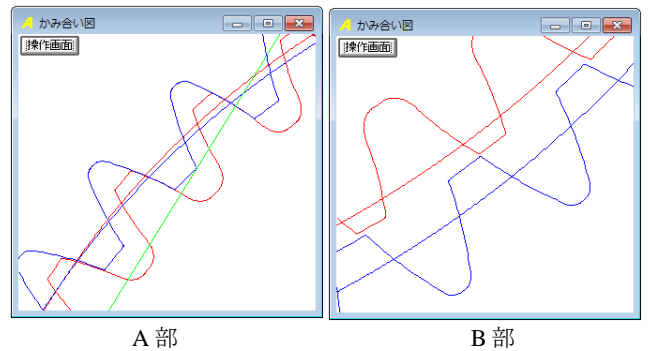


図 35.11 かみ合い図 (拡大)

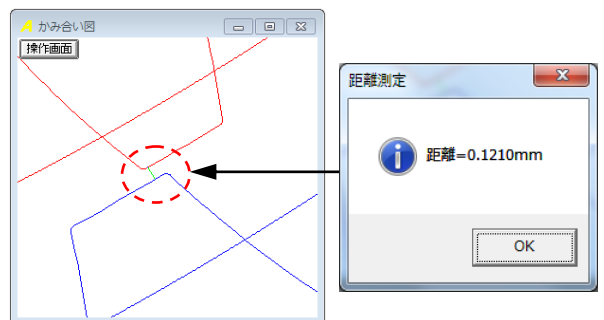


図 35.12 かみ合い図 (距離計測)

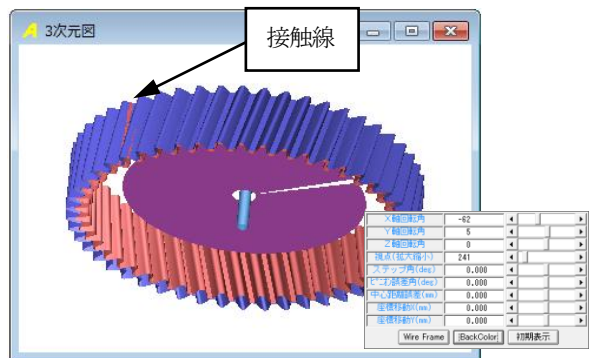


図 35.13 歯形レンダリング

### 35.5 すべり率

本例のすべり率は、図 35.9 の寸法計算結果に示していますが、歯形位置 (Roll angle) におけるすべり率の変化を図 35.14 で知ることができます。

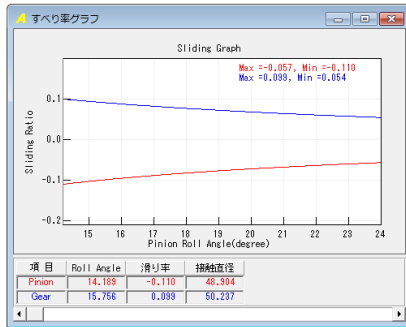


図 35.14 すべり率

### 35.6 強度計算

強度計算は、図 35.15 に示す強度設定画面で摩擦係数、トルク、回転速度を入力します。本例の場合、摩擦係数を 0.08、腕の入力トルクが 1(Nm)、回転速度が 1000min<sup>-1</sup> として [確定] ボタンによりピニオンとギヤのトルク、回転速度を計算し表示します。そして、図 35.16 の強度諸元 (材料、係数) 画面を表示します。材料選択は、図 35.17 の表から選択することもできますが、 $\sigma_{Flim}$ 、 $\sigma_{Hlim}$  を直接入力することもできます。図 35.18 に強度結果を示します。

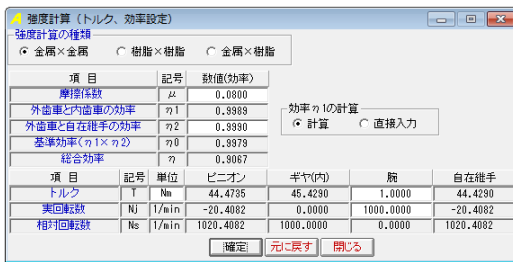


図 35.15 強度計算 (動力設定)



図 35.16 強度計算 (強度諸元)

| 構造用合金鋼 | 心部硬さ | $\sigma_{Flim}$ | 有効浸炭深さ | 歯面硬さ | $\sigma_{Hlim}$ |
|--------|------|-----------------|--------|------|-----------------|
| SCM415 | 220  | 231             | 333.5  | 580  | 5.4             |
| SCM420 | 290  | 316             | 451.5  | 720  | 6.1             |
| SNC420 | 340  | 353             | 490.5  | 800  | 6.4             |

図 35.17 材料選択

| 項目(曲げ)  | 記号              | 単位  | ピニオン       | ギヤ(内)      |
|---------|-----------------|-----|------------|------------|
| 許容曲げ応力  | $\sigma_{Flim}$ | MPa | 431.500    | 431.500    |
| 曲げ有効歯幅  | b'              | mm  | 10.000     | 10.000     |
| 歯形係数    | YF              | --- | 3.067      | 2.065      |
| 荷重分布係数  | Yε              | --- | ---        | 0.749      |
| ねじれ角係数  | Yβ              | --- | ---        | 0.875      |
| 寿命係数    | KL              | --- | 1.000      | 1.000      |
| 寸法係数    | KFx             | --- | 1.000      | 1.000      |
| 動荷重係数   | Kv              | --- | ---        | 1.145      |
| 呼び円周力   | Ft              | N   | 986.343    | ---        |
| 許容円周力   | Ftlim           | N   | 1562.482   | 2320.439   |
| 曲げ強さ    | Sft             | --- | 1.584      | 2.350      |
| 歯元曲げ応力  | $\sigma_F$      | MPa | 272.392    | 183.608    |
| 項目(面圧)  | 記号              | 単位  | ピニオン       | ギヤ(内)      |
| 許容ヘルツ応力 | $\sigma_{Hlim}$ | MPa | 1353.500   | 1353.500   |
| 面圧有効歯幅  | bw              | mm  | ---        | 10.000     |
| 領域係数    | ZH              | --- | 1.171      | ---        |
| 寿命係数    | KHL             | --- | 1.000      | 1.000      |
| かみあい率係数 | Zε              | --- | ---        | 0.890      |
| 粗さ係数    | ZR              | --- | 0.842      | 0.842      |
| 潤滑速度係数  | ZV              | --- | 0.984      | 0.984      |
| 硬さ比係数   | ZW              | --- | 1.000      | 1.000      |
| 荷重分布係数  | KHβ             | --- | ---        | 1.000      |
| 動荷重係数   | Kv              | --- | ---        | 1.086      |
| 呼び円周力   | Fc              | N   | 1753.412   | ---        |
| 許容円周力   | Fclim           | N   | 567217.747 | 578793.578 |
| 歯面強さ    | Sfc             | --- | 323.494    | 329.751    |
| ヘルツ応力   | $\sigma_H$      | MPa | 75.253     | 74.536     |

図 35.18 強度結果

### 35.7 歯形出力

生成した歯形を、CAD データとして出力することができます。図 35.19 の歯形出力機能により出力した CAD データの作図例を図 35.20 および図 35.21 に示します。

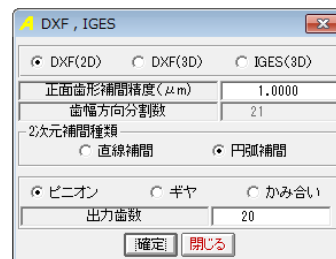


図 35.19 歯形出力

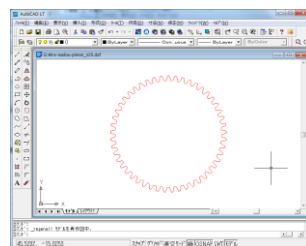


図 35.20 CAD 作図例 (2D)

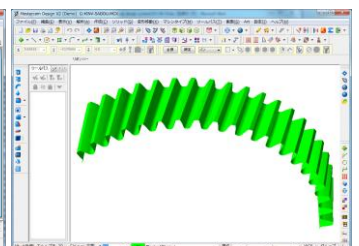


図 35.21 CAD 作図例 (3D)

### 35.8 歯数差 0 の設計例

2 段連結した歯車機構例 (K-H-V+0) を図 35.21 に示します。1 段目は 1 歯差の外・内歯車です (内歯固定, 外歯出力, 腕入力)。2 段目 (従動側) は 0 歯差の外・内歯車です。1 段目の外歯車と 2 段目の内歯車を連結すると, 入力軸と同じ軸上で出力することができます。

図 35.22 では 2 段目の 0 歯差の外歯車, 内歯車, 腕のいずれも固定していません。緑の従動側 (差動の外歯車+0 歯差の内歯車) と赤の外歯車 (出力) の回転比は同じです。従って, 差動歯車の減速比を同軸上で取り出すことができます。以下に 0 歯差歯車の設計例を示します。

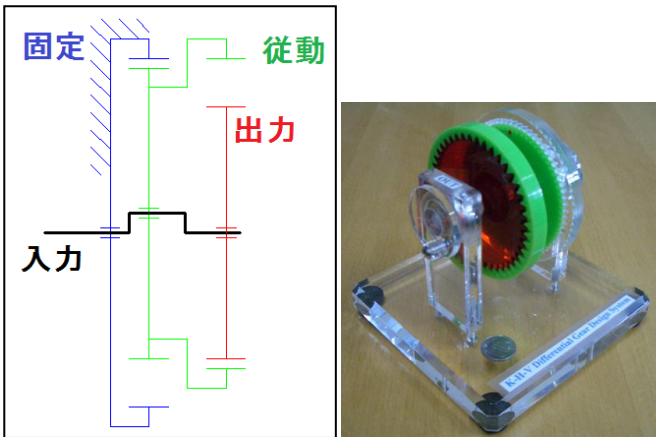


図 35.22 機構例 (1 段目差動, 2 段目 0 歯差)

図 35.2 の初期設定で, 歯数差 0 を選択します。次に, 図 35.23 の諸元設定でモジュール, 歯数, 圧力角, ねじれ角を設定し, **参考値** により図 35.24 を表示します。そして適合する 25 個の中から No.25 を選択し, 図 35.23 の諸元を確定すると図 35.25 の歯形を得ることができます。図 35.25 のかみ合い部 C と反対側を拡大した歯形拡大図を図 35.26 に示します。また, 歯形レンダリングを図 35.27 に示します。

| 項目   | 記号         | 単位  | ピニオン    | ギヤ      |
|--|------------|-----|---------|---------|
| モジュール  | mn         | mm  | 1.5000  |         |
| 歯数   | z          | --- | 30      | 30      |
| 圧力角  | $\alpha_n$ | deg | 20.0000 |         |
| ねじれ角   | $\beta$    | deg | 0       | 0       |
| ねじれ方向  | ---        | --- | ---     | ---     |
| 歯厚入力   |            |     |         |         |
| <input checked="" type="radio"/> 転位係数 <input type="radio"/> オーバートン寸法 <input type="radio"/> またぎ歯厚 |            |     |         |         |
| 転位係数   | xn         | --- | -0.3000 | 1.4937  |
| オーバートン径  | dp         | mm  | 1.654   | 1.674   |
| オーバートン寸法   | dm         | mm  | 0.0000  | 47.9930 |
| またぎ歯数  | zm         | --- | 5       | 7       |
| またぎ歯厚  | w          | mm  | 20.2493 | 30.9462 |
| 中心距離   | a          | mm  | 0.9202  |         |
| 法線歯厚減少量  | fn         | mm  | 0.1000  | 0.0000  |
| 歯先円直径  | da         | mm  | 48.2570 | 44.0974 |
| 歯底円直径  | df         | mm  | 41.5070 | 50.8474 |
| 歯先R  | ra         | mm  | 0.0500  | 0.0500  |
| 刃先R/歯元R  | rf         | mm  | 0.5625  | 0.3750  |
| 歯幅   | b          | mm  | 10.0000 | 10.0000 |

図 35.23 諸元設定

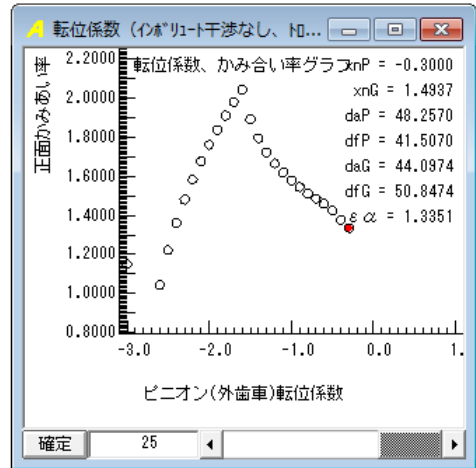


図 35.24 補助機能 (転位係数とかみ合い率)

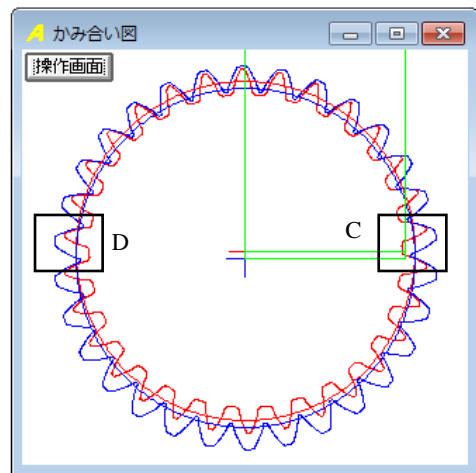


図 35.25 かみ合い図 (歯数差 0)

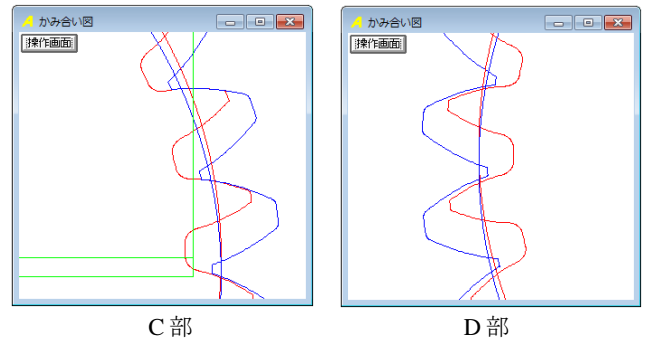


図 35.26 かみ合い図 (拡大)

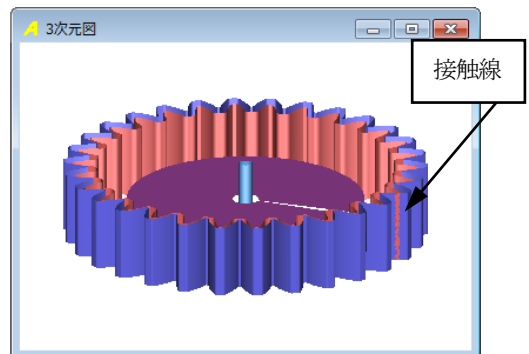


図 35.27 歯形レンダリング