

## [34] Hypo-Trochoid gear design system

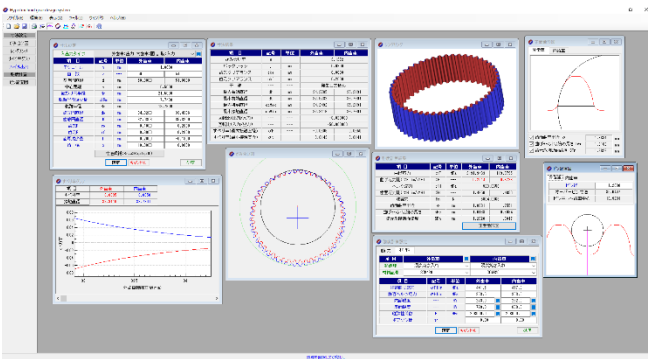


図34.1 Hypo-Trochoid gear design system

### 34.1 概要

Hypo-Trochoid gear design system は、トロコイド曲線歯車（外歯車×内歯車）を設計するソフトウェアです。かみ合い率はインボリュート歯形に比して数倍あり、歯形設計、歯のかみ合いを計算することができます。この歯車の歯形はトロコイド曲線であるため、すべり率はインボリュート歯形に比べて小さく、且つ、ほぼ一定であるため動力損失の低減に有効です。また、本例（図 34.3）のようにピニオンを自公転させてかみ合う歯車とすれば、1 対の歯車で高減速比（本例  $i=1/49$ ）とすることができます。

### 34.2 設計・歯形

内転トロコイド歯形を図 34.2 の考え方で生成します。ピッチ円半径 ( $R_p$ ) に接しながら滑りなく転がり円半径 ( $R_r$ ) を回転させ、運動する軌跡半径 ( $R_m$ ) 上の 1 点が描く軌跡を歯形座標としています。なお、 $R_m=R_r$  とすると、内転サイクロイド曲線です。

歯数差を小さく（1～2 歯差）してピニオン（外歯車）の自公転を利用して速比を大きくすることができます。しかし、かみ合い率を 1 以上とする設計とするための数値を直接入力することは非常に困難であるため、本ソフトウェアではモジュールと歯数の入力後、かみ合い率を基準にして設計基準値を表示する機能を有しています。

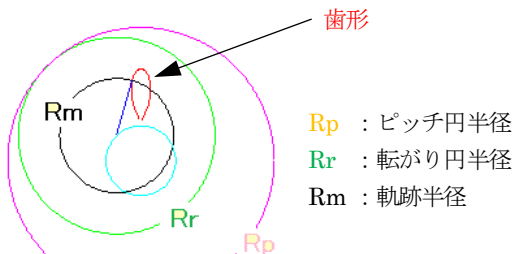


図 34.2 内転トロコイド歯形

### 34.3 寸法設定

本例では、ピニオンを自公転させてかみ合う歯形の生成例を示します。図 34.3 上部の「外歯車:出力 内歯車:固定 腕:入力」で入出力タイプの選択（図 34.4）、モジュール、歯数入力と進みます。

ここでは（外歯車；出力，内歯車；固定，腕；入力）として、モジュール 1，外歯車歯数（ $z_1=50$ ），内歯車歯数（ $z_2=51$ ）とした

とき、かみ合い率を満足させ、且つ、内転トロコイド歯形の転がり円半径 ( $R_r$ ) や軌跡半径 ( $R_m$ ) を設定する場合、図 34.3 でモジュール、歯数入力後、**寸法候補( $R_r, \Delta R_m, da, df$ )** により設計基準値を決定することができます。

図 34.5 は、最小かみ合い率を 3.0 としたときの組み合わせであり、この中から 11 番目の寸法を選択すると図 34.3 の歯先円直径や歯底円直径などの基準値を決定することができます。

図 34.3 の大径部丸み半径 ( $r_a$ ) や小径部の丸み半径 ( $r_f$ ) そして歯厚減少量 ( $\Delta S$ ) を与えることにより歯形や各部寸法が決まります。その結果を図 34.6 に示しますが、歯先 R を与えることにより、かみ合い率は  $e=2.425$  に低下します。また、外歯車の歯厚を小さく (0.20mm) し、内歯車の歯厚を大きく (0.18mm) してバックラッシュ  $j=0.02\text{mm}$  を与えています。回転比（本例の場合 1/50）やクリアランス、干渉発生の有無を表示します。

| 項目      | 記号           | 単位  | 外歯車     | 内歯車     |
|---------|--------------|-----|---------|---------|
| モジュール   | m            | mm  | 1.0000  |         |
| 歯数      | z            | --- | 50      | 51      |
| 基準円直径   | d            | mm  | 50.0000 | 51.0000 |
| 中心距離    | a            | mm  | 0.5000  |         |
| 転がり円半径  | Rr           | mm  | 21.5000 |         |
| 軌跡半径減少量 | $\Delta R_m$ | mm  | 7.7400  |         |
| 軌跡半径    | Rm           | mm  | 13.7600 |         |
| 歯先円直径   | da           | mm  | 34.1200 | 33.4306 |
| 歯底円直径   | df           | mm  | 32.0306 | 35.3200 |
| 歯先R     | ra           | mm  | 0.1000  | 0.2000  |
| 歯元R     | rf           | mm  | 0.3000  | 0.2000  |
| 歯厚減少量   | f            | mm  | 0.2000  | -0.1800 |
| 歯幅      | b            | mm  | 10.0000 | 10.0000 |

図 34.3 寸法設定

図 34.4 入出力タイプの選択

| 番号 | かみ合い率  | 転がり円半径  | 軌跡半径減少量 | 軌跡半径    |
|----|--------|---------|---------|---------|
| 1  | 3.0000 | 21.0000 | 7.7700  | 13.2300 |
| 2  | 3.0000 | 21.0000 | 7.9800  | 13.0200 |
| 3  | 3.1000 | 21.0000 | 8.1900  | 12.8100 |
| 4  | 3.0000 | 21.2500 | 7.6500  | 13.6000 |
| 5  | 3.0000 | 21.2500 | 7.8625  | 13.3875 |
| 6  | 3.1000 | 21.2500 | 8.0750  | 13.1750 |
| 7  | 3.1000 | 21.2500 | 8.2875  | 12.9625 |
| 8  | 3.2000 | 21.2500 | 8.5000  | 12.7500 |
| 9  | 3.0000 | 21.5000 | 7.3100  | 14.1900 |
| 10 | 3.0000 | 21.5000 | 7.5250  | 13.9750 |
| 11 | 3.1000 | 21.5000 | 7.7400  | 13.7600 |
| 12 | 3.1000 | 21.5000 | 7.9550  | 13.5450 |
| 13 | 3.2000 | 21.5000 | 8.1700  | 13.3300 |
| 14 | 3.2000 | 21.5000 | 8.3850  | 13.1150 |
| 15 | 3.3000 | 21.5000 | 8.6000  | 12.9000 |

図 34.5 寸法候補一覧

| 項目           | 記号    | 単位  | 外歯車        | 内歯車     |
|--------------|-------|-----|------------|---------|
| かみ合い率        | e     | --- | 3.1272     |         |
| バックラッシュ      | j     | mm  | 0.0200     |         |
| 歯先クリアランス     | cka   | mm  | 0.0000     |         |
| 歯元クリアランス     | ckf   | mm  | 0.2000     |         |
| 干渉           | ---   | --- | 発生しません     |         |
| 最大有効直径       | dh    | mm  | 34.2765    | 35.2191 |
| 最小有効直径       | dt    | mm  | 32.5232    | 33.7301 |
| 最大接触直径       | dcMax | mm  | 34.2492    | 35.2191 |
| 最小接触直径       | dcMin | mm  | 32.9116    | 33.7301 |
| 回転比(出力/入力)   | ---   | --- | -0.020000  |         |
| 回転比(入力/出力)   | ---   | --- | -50.000000 |         |
| すべり率(最大接触直径) | σh    | --- | -0.0695    | 0.0650  |
| すべり率(最小接触直径) | σt    | --- | -0.0143    | 0.0141  |

図 34.6 寸法計算結果

### 34.4 歯形図

図 34.3 で設定した歯車諸元に基づき内転トロコイド歯形を生成し図 34.7 のように作図します。図 34.8 は、図 34.7 のかみ合い部 A の拡大図（図中○の 3 歯が同時接触）であり、図 34.9 は同じく B の拡大図です。また、かみ合い図（2D）では、図 34.10 のように距離計測（歯先間距離が 0.102mm）をすることができます。

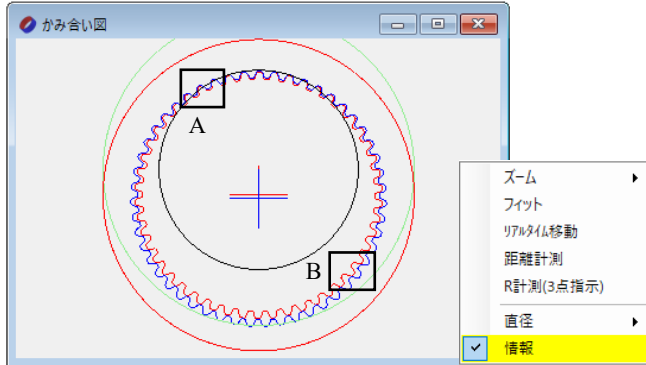


図 34.7 かみ合い (2D)

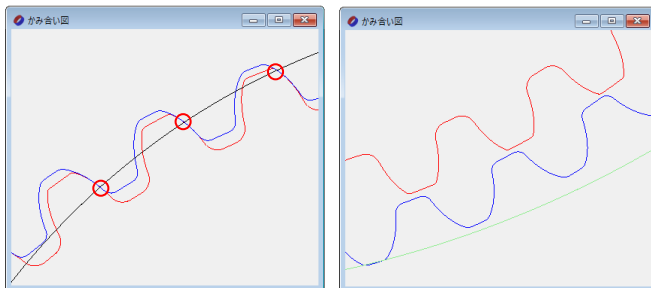


図 34.8 かみ合い(A)

図 34.9 かみ合い(B)

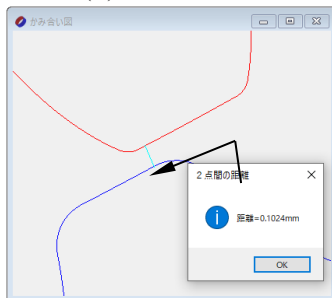


図 34.10 かみ合い (距離計測)

図 34.11 及び図 34.12 に歯形レンダリングを示します。この図では図 34.3 で設定した歯車の組み合わせに応じて歯車が回転します。また、図 34.12 に示すように接触線を観察することができます。

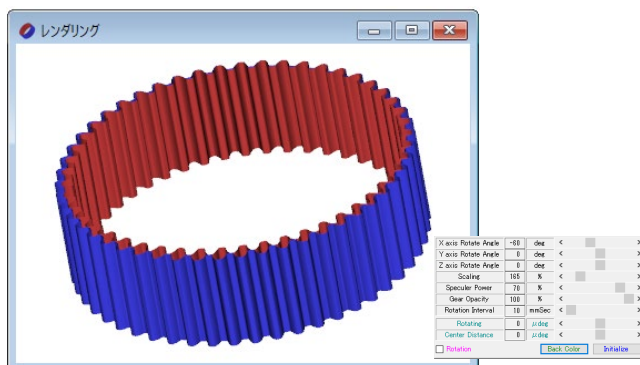


図 34.11 歯形レンダリング 1

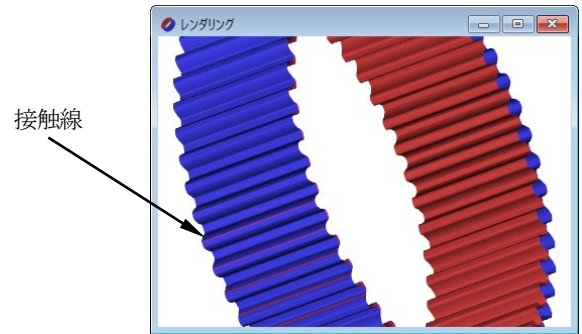


図 34.12 歯形レンダリング 2

### 34.5 オーバーボール寸法

生成した歯形の管理のためオーバーボール（ビットーン）寸法を図 34.13 および図 34.14 のように計算することができます。

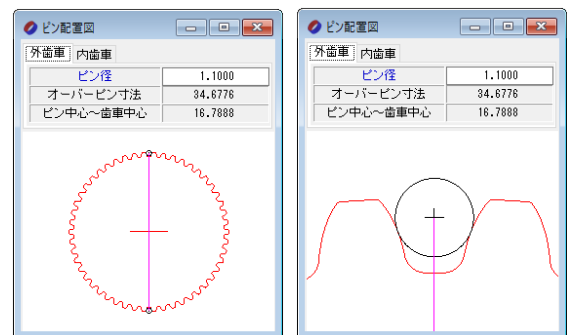


図 34.13 オーバーボール寸法 (外歯車)

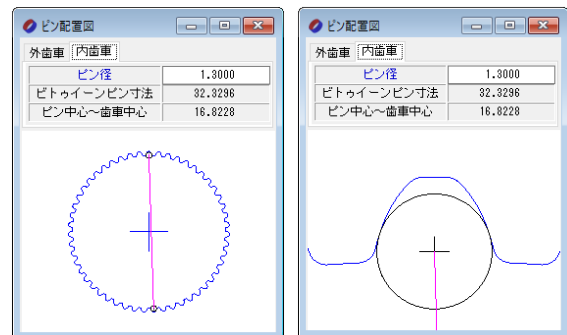


図 34.14 ボール寸法 (内歯車)

### 34.6 すべり率

本例の内転トロコイド歯形のすべり率は、図 34.6 の寸法計算結果に示すように最大接触直径では  $\sigma_H=0.0695$  であり、最小接触直径では  $\sigma_L=0.0192$  で、歯形位置 (直径) におけるすべり率の変化は、図 34.15 で知ることができます。この図から本例の内転トロコイド歯形のすべり率は、ほぼ一定であることが解ります。

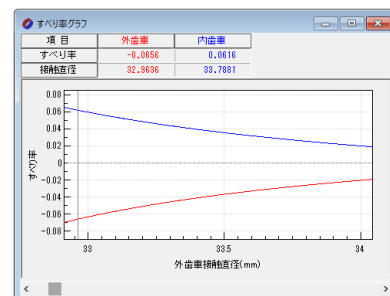


図 34.15 すべり率

### 34.7 強度計算

強度計算は、図 34.15 の強度設定画面でトルク、回転速度、過負荷係数等を入力します。図 34.16 の材料設定では、材料の許容応力は直接入力するか、または、図 34.17 の材料選択表を用いて設定することができます。

図 34.15 強度設定

図 34.16 材料設定

材料選択(外歯車)

| 熱処理               | 浸炭焼き入れ | 材料記号   | S15C  |
|-------------------|--------|--------|-------|
| 心部硬度              | 242    | SCM415 | 比較的深度 |
| 表面硬度              | 700    | SCM420 |       |
| σ <sub>F11m</sub> | 402.0  | SNC420 |       |
| σ <sub>H11m</sub> | 1353.5 | SNC815 |       |

図 34.16 材料選択

強度計算結果は、図 34.17 のように表示しますが、歯の曲げ強さは、歯たけ中央位置における歯形の曲率半径を基本とします。また、最弱断面歯厚は 30 度接線法（内歯は 60 度接線法）により決定し、歯先に荷重が作用するものとして歯元に発生する応力を計算します。さらに、曲率半径、曲げ高さそして最弱断面歯厚は、図 34.18 の歯形図で確認することができます。

| 項目                                | 記号         | 単位  | 外歯車      | 内歯車      |
|-----------------------------------|------------|-----|----------|----------|
| 曲げ応力                              | $\sigma_F$ | MPa | 198.2247 | 112.2393 |
| 曲げ応力比( $\sigma_{F11m}/\sigma_F$ ) | SF         | --- | 2.0280   | 3.7153   |
| ヘルツ応力                             | $\sigma_H$ | MPa | 381.3008 |          |
| 歯面応力比( $\sigma_{H11m}/\sigma_H$ ) | SH         | --- | 3.5497   | 3.5497   |
| 法線力                               | $F_n$      | N   | 592.1487 |          |
| 歯面曲率半径                            | $\rho$     | mm  | 1.9936   | 1.7551   |
| 曲げモジュールの腕の長さ                      | $h_{Fe}$   | mm  | 0.9185   | 0.8934   |
| 歯元危険断面歯厚                          | $S_{Fn}$   | mm  | 1.2831   | 1.6817   |

図 34.17 強度計算結果

歯面強さも曲げ強さと同様に歯たけの中央位置における歯形の曲率半径を基本とし、発生ヘルツ応力を計算します。曲げ強さおよび歯面強さは、材料の許容応力と発生する応力の比としています。

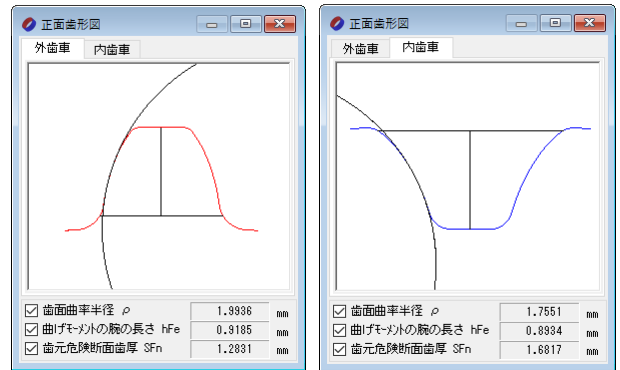
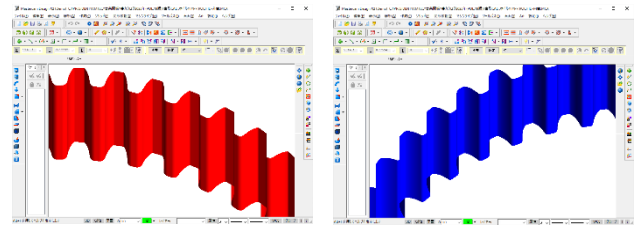


図 34.18 強度計算用歯形

### 34.8 歯形出力

生成した歯形は、図 34.19 の歯形出力機能により CAD ファイルとして出力することができます。作図例を図 34.20～34.21 に示します。

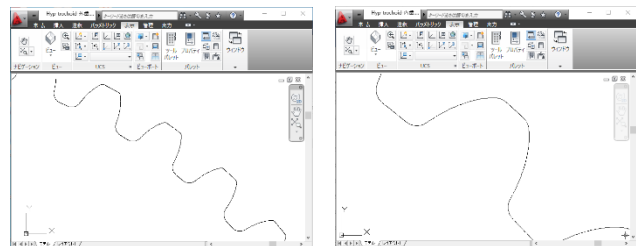
図 34.19 歯形ファイル出力



(a) 外歯車

(b) 内歯車

図 34.20 CAD 作図例 (iges)



(a) 外歯車

(b) 内歯車

図 34.21 CAD 作図例 (dxf)