

平歯車自動作図ツールの作製

Creation of automatic spur gear drafting tool

三 枝 信 淳*1

MIEDA Nobuatsu

要 約 一般的に平歯車を作図する際には JIS B 0003 : 2012 に示されるように歯型を省略し作図する略画法を用いる。しかし、ワイヤ放電加工機やレーザ加工機などで歯車を作製する場合、簡略図示ではなく歯車の歯を 2 次元で作図する必要がある。歯型はインボリュート曲線でできており、簡単には作図できない。そこで本稿では Excel VBA と AutoCAD を用いて平歯車の描画を行うツールを作製した。またツールの妥当性を検証し、実際に平歯車をレーザ加工機で加工した結果を報告する。

1 はじめに

一般的に平歯車を製図する際には JIS B 0003 : 2012 の歯型を省略し、作図する簡略図示が用いられる。

しかし、ワイヤ放電加工機やレーザ加工機等 NC 機械を用いて平歯車を加工する場合、簡略図示ではなく歯車の歯の形状が求められる。歯車の歯はインボリュート曲線で構成されており、CAD で歯車の歯を作図するためには歯車の歯数分のインボリュート曲線上の座標を求める必要がある。そのため歯車の歯を作図する方法としては WEB 上にあるサイト¹⁾ 2) 等より歯車の図をダウンロードする場合や、ソフトウェアをダウンロードする必要があるがネットワークに接続していない場合は利用ができないという問題がある。これらの問題を解決するために平歯車を CAD 上に描画するツールが必要である。歯車の作図ツールによって歯車が簡単に作図できるようになることで新たな教材の開発や教材のコストの減少が見込まれる。

本稿では、平歯車を CAD 上に描画するために Excel VBA と AutoCAD 用いて平歯車作図ツールを作成した。ツール作成のために座標などの項目や式をまとめ、ツールの評価を行った。さらに実際に平歯車をレーザ加工機で作製した結果を報告する。

2 歯車の歯の各部名称

図 1 に平歯車の構成を示す。平歯車は歯底円、基礎円、基準円、歯先円で成り立っている。これらの円の直径を求める式を表 1 に示す。また歯底円直径、基礎

円直径、基準円直径、歯先円直径をそれぞれ半分にした半径値を r_f 、 r_b 、 r 、 r_a とあらわす。

現在一般的なインボリュート歯形の歯車は基準円から歯先円までの間はインボリュート曲線によって作られた歯形でできている。インボリュート曲線とは基礎円に巻き付けた糸をほどくときの糸の先端が描く曲線である。歯底円から基礎円までの間は基準ラックの丸みなどによって構成され、丸みを帯びているが今回は直線で表現することとした。これは歯底円から基礎円までは歯車加工上生まれるものであり、多くの場合歯車の運動伝達機能に影響を及ぼさないためである。

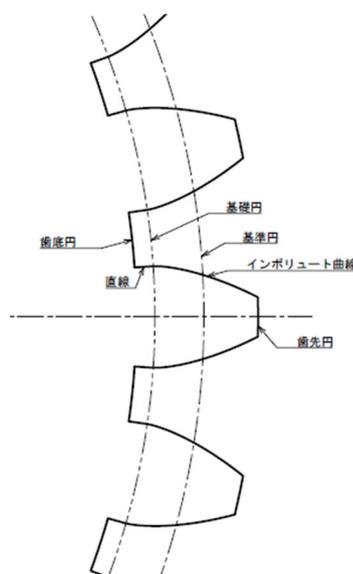


図 1 歯車の各部名称

*1 メカトロニクス技術科

Department of Mechatronics Technology

表1 歯車の直径一覧

	式
モジュール	m
歯数	z
基準圧力角	α
歯底円直径	$d_f = d - 2.5m$
基礎円直径	$d_b = mz \cos \alpha$
基準円直径	$d = mz$
歯先円直径	$d_a = d + 2m$

3 AutoCAD での作図

今回、歯車作図ツールを作成するにあたって当校の多くのパソコンに導入されている Excel の VBA (以下「VBA」) と AUTODESK 社の AutoCAD を利用し、歯車を描画する。VBA から AutoCAD に作図する場合 AUTODESK 社が提供している AutoCAD ActiveX を利用し、VBA から AutoCAD を操作することで AutoCAD 上に線を描画する。AutoCAD 上で歯車を描画するために歯底円及び歯先円は円弧、歯底円から基礎円は直線、インボリュート曲線部はスプラインで描画することとした。AutoCAD ActiveX で直線、スプラインを描画する場合には、各 x 、 y 座標を求める必要がある。インボリュート曲線上の x_n 、 y_n 座標は式 (1) 及び (2) のようにあらわすことができる。ここで r_n はインボリュート曲線上の半径である。 α_n は圧力角であり式 (3) によって求められる。ここで r_b は基礎円半径を表す。またインボリュート関数 $\text{inv}\alpha_n$ は式 (4) のように計算できる。

$$x_n = r_n \cos(\text{inv}\alpha_n) \quad (1)$$

$$y_n = r_n \sin(\text{inv}\alpha_n) \quad (2)$$

$$\alpha_n = \cos^{-1} \frac{r_b}{r_n} \quad (3)$$

$$\text{inv}\alpha_n = \tan \alpha_n - \alpha_n \quad (4)$$

円弧を描画する場合には中心座標 x 、 y 及び円弧半径、開始角度、終了角度が必要になる。

AutoCAD で歯車を作図するときに必要な座標及び角度を図 2 に示す。歯底円弧開始角度 Ψ_{f1} 、歯底円弧終了角度 Ψ_{f2} 、歯先円弧開始角度 Ψ_a 、歯先弧終了 Ψ_a 角度は歯車の中心を角度の中心とし、 $y=0$ を 0° としたときの角度である。また、歯底円座標から基礎円座標直

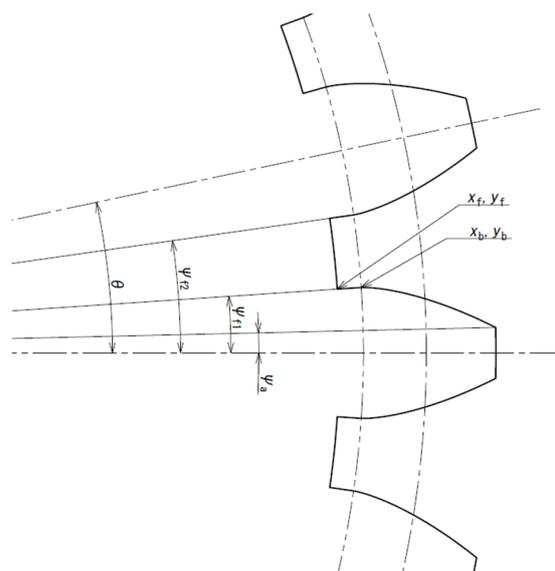


図2 歯車の必要な座標及び角度

線部は歯底円弧開始角度に合わせて角度がついた直線になっており x_f 、 y_f 、 x_b 、 y_b で構成される。

基礎円から歯先円にかけてのインボリュート曲線も同じように歯底円弧開始角度に合わせて角度がついている。また次の歯までの角度 (基準円ピッチ角度) は θ であらわされる。基準円ピッチの角度 θ を求める式を (5) に示す。歯車を作図するときには各角度に基準円ピッチ角度を加えることで複数の歯を描画する。

$$\theta = \frac{360}{z} \quad (5)$$

歯先円弧半角度 Ψ_a を求める式を (6) に示す。この時の圧力角 α は基準円半径 r の時の基準圧力角 20° である。また α_a は歯先円半径 r_a の時の圧力角である。

$$\Psi_a = \frac{\pi}{2z} + (\text{inv}\alpha - \text{inv}\alpha_a) \quad (6)$$

歯底円弧開始角度 Ψ_{f1} を求める式を (7) に示す。基準円上の角度は均等になることから基準圧力角 20° の時のインボリュート関数を足した値になる。

$$\Psi_{f1} = \frac{360}{4z} + \text{inv}\alpha \quad (7)$$

歯底円弧終了角度 Ψ_{f2} を求める式を (8) に示す。 Ψ_{f2} は次の歯までの歯底を示す円弧を描く角度であり、基準円ピッチ角度 θ から歯底円弧角度 Ψ_{f1} を引いた値である。

$$\Psi_{f2} = \theta - \Psi_{f1} \quad (8)$$

基礎円座標 (インボリュート曲線の開始点) x_b 、 y_b を求める式を (9) 及び (10) に示す。この時の r_b は基礎円半径である。

$$x_b = r_b \cos(\Psi_{f1}) \quad (9)$$

$$y_b = r_b \sin(\Psi_{f1}) \quad (10)$$

歯底円座標 x_f 、 y_f を求める式を (11) 及び (12) に示す。この時の r_f は歯底円半径である。

$$x_f = r_f \cos(\Psi_{f1}) \quad (11)$$

$$y_f = r_f \sin(\Psi_{f1}) \quad (12)$$

歯のインボリュート曲線上の座標 x_n 、 y_n を求める式を (13) 及び (14) に示す。この時 r_n は歯先円半径から基礎円半径の間の任意の半径である。ツールでは歯先円から基礎円の間を 10 点に分割した点の座標を求めた。また式 (13) 及び (14) はインボリュート曲線の基礎式の座標を歯底円弧開始角度 Ψ_{f1} 回転した座標になる。

また式 (13) 及び (14) を整理した式を (15) 及び (16) に示す。

$$x_n = r_n \cos(\text{inv}\alpha_n) \cos(\Psi_{f1}) - r_n \sin(\text{inv}\alpha_n) \sin(\Psi_{f1}) \quad (13)$$

$$y_n = r_n \cos(\text{inv}\alpha_n) \sin(\Psi_{f1}) + r_n \sin(\text{inv}\alpha_n) \cos(\Psi_{f1}) \quad (14)$$

$$x_n = r_n \cos(\text{inv}\alpha_n + \Psi_{f1}) \quad (15)$$

$$y_n = r_n \sin(\text{inv}\alpha_n + \Psi_{f1}) \quad (16)$$

4 検証

実際に歯車作図ツールを使って描画した歯車を図 3 に示す。この時のモジュールは 5、歯数 20 である。図 3 を見ると線が交差していないことが見て取れる。また小原歯車工業が製作した歯車計算ツール GCSW²⁾ を使い歯車が正しく描画されているか確認した。図 4 に 2 つのツールによる歯車の比較を示す。重ねてみると歯の多くの部分が一致しており、インボリュート曲線が再現できている。歯元の部分はラックの歯先円弧になる部分であり今回は描画しておらずれていることがわかる。

次に歯車作図ツールで描画した歯車の各歯厚を測定した値と理論値を比較した表を表 2 に示す。歯厚、弦歯厚、またぎ歯厚を測定した。このときのまたぎ歯厚は 3 枚である。歯厚、弦歯厚、またぎ歯厚とも測定値

が同じであり、これらの結果から歯車ツールは正しく歯車を作図できているといえる。

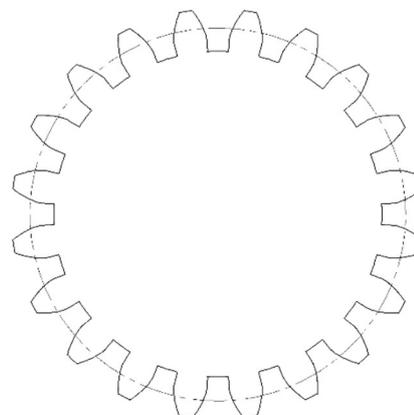


図 3 歯車作図ツールで作図した平歯車

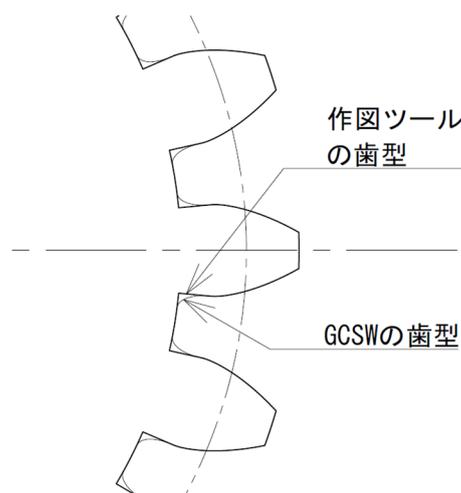


図 4 GCSW と作図ツールの比較

表 2 作図ツールと理論値の歯厚比較

	理論値 [mm]	作図歯車 [mm]
歯厚	7.85398	7.85398
弦歯厚	7.84591	7.84591
またぎ歯厚 (3枚)	38.3022	38.3022

5 歯車の加工

歯車作図ツールを用いて CAD 上に作図した歯車を CAM によって G コード化し、レーザ加工機で加工した歯車を図 5 に示す。この時のモジュールは 1、歯数は 30 である。加工した歯車の基準円直径は 30mm、歯先円直径 (外径) は 32mm である。材質はアクリル、厚みは 3mm である。加工した歯車は歯が欠けたりすることなく加工することができた。

また加工した歯車を当校電気エネルギー制御科 2 年生が製作するギアボックスに装着し、市販の歯車とのかみあいを確認した。図 6 に取り付けたギアボックスを示す。1 に示す部分は購入した市販の歯車でありモジュール 1、歯数 30 である。2 に示す部分がレーザ加工機で加工した歯車である。歯車を回転させるとスムーズに回転し、動力の伝達を行うことができた。これらの結果からツールで作製した歯車は市販の歯車と遜色なく使用できることを確認した。

6 まとめ

今回はレーザ加工機などで歯車を作製するための平歯車作図ツールの作製を行った。結果、歯車は問題なくかみあい回転した。このツールを使用することで AutoCAD で歯車を簡単に作図することができ、レーザ加工機やワイヤ放電加工機で歯車を作製するときに活躍が見込まれる。さらにツールは Excel と AutoCAD がインストールされているパソコンであれば使用ができ、スタンドアロンのパソコンでも実行することができる。このツールを使うことにより、簡易的に様々な歯車を作製でき歯車の教材作成の時間短縮や、歯車の自作による教材のコスト削減などが見込める。

現在ツールは標準平歯車しか作製できないため、今後は、転移量を考慮した転移平歯車や歯底円直径が基礎円直径の大きさが越える歯数の場合でも対応できるようにしていきたいと考えている。

最後に歯車のレーザ加工を行ってくださった当校メカトロニクス技術科の佐藤玲子先生に感謝を申し上げます。



図 5 レーザ加工機で作製した歯車

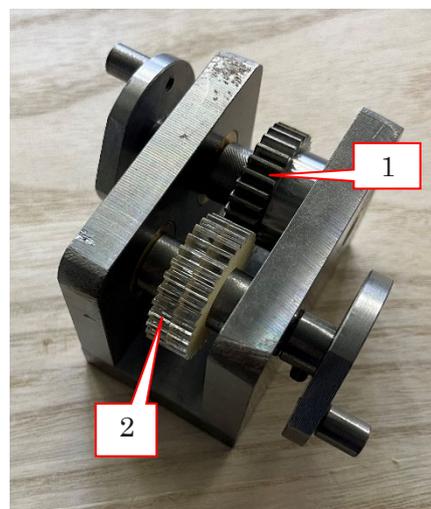


図 6 ギアボックスに取り付けた歯車

参考文献

- 1) インボリュート歯車の諸元計算&dxfl ダウンロード!
http://abccgarage.html.xdomain.jp/webapp_pre/html_test.html
- 2) 歯車計算ソフト GCSW
https://www.khkgears.co.jp/gear_technology/gcswforweb.html
- 3) 小原歯車工業株式会社、KHK 歯車技術資料、小原歯車工業株式会社 (R4 年 11 月 8 日)
- 4) AutoCAD 2023 Developer and ObjectARX ヘルプ | Autodesk
<https://help.autodesk.com/view/OARX/2023/JPN/>