

非円形歯車用CAD / CAMソフトの開発

北海道立札幌高等技術専門学院 精密機械科 岡田 昌樹
 熊本県立技術短期大学校 生産技術科 大坪 武廣

1. はじめに

歯車は、古くから動力や運動を伝える最も重要な機械要素の1つである。そのため、機械設計・製図の教科書には欠かせない項目となっている。

電子制御機構の発達がめざましい今日であるが、コストや性能面における多数の利点により、日本産業の中心である自動車にも、大量の歯車が使われている。また、動くものに興味をもつ人間の本能的な意識は、今も昔も変わりなく、歯車を使った製作実習は学生達の意欲を向上させている。私自身、プラモデルの中でモータの回転を変化させる歯車の動きに魅せられて、機械屋への道を進んでしまったように思う。

最近では、歯車設計のフリーソフトやプログラミングの本が出ており、面倒な理論を知らなくても製作はできるが、歯車を組み込んだ課題を製作していくと、歯車の理論や特徴をさらに勉強したり、プログラミングの意味を理解しようとする学生も増えてくる。

このような経験から、さらに、その動作を面白くするため、非円形歯車を組み込んだ課題製作を試みた。しかし、私が調べた限り、非円形歯車のフリーソフトやプログラミングの本はなく、希望の動作をする非円形歯車を外注見積りすると非常に高価なものであった。そこで、実用化研究を行ってきた非円形歯車¹⁾およびその応用製品²⁾をもとに教育訓練用として非円形歯車を簡単に製作できるCAD/CAM用教材を自作することにしたので、その一端を紹介

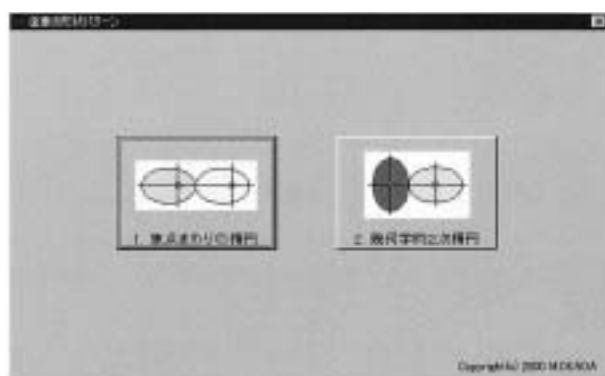


図1 ソフト起動画面

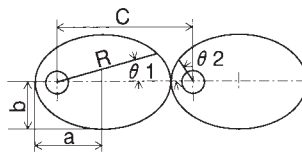
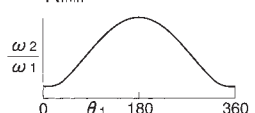
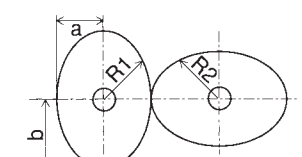
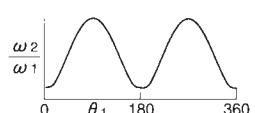
する。今回は、その第一段階として非円形歯車の一つである楕円歯車について述べる。図1に作成したソフトの起動画面を示す。

2. 非円形歯車とは

非円形歯車とは、板カムのような自由曲線上の周囲に歯を刻んだ歯車である。従来のカムに比べ滑りが少なく、複雑かつ高速・高荷重な運動を確実に伝達できる利点がある。非円形にすることの特徴は、等速回転の入力に対し、不等速回転の出力を得られることであり、包装機械、印刷機械、食品機械など、変動的な動作を要求される機械に用いられている。本来目指すべき非円形歯車のCAD/CAMとは、任意の角速比曲線を指示することにより、適切なかみあいを得る歯車を自動設計・製造するものである。

しかし、入門者には角速比曲線があらかじめわかっていて、さらにピッチ曲線を数学的に求めやすい歯車からアプローチした方が理解しやすいと考えた。

表1 楕円歯車の特製（実例メカニカルコントロール参照）

No.	形状	摘要	ピッチ曲線	角速比曲線
1	<p>焦点まわりに回る2つの楕円</p> 	<p>同一歯車。比較的製作容易。早戻り機構、印刷機、自動機などに使用される。</p>	$R = \frac{b^2}{a [1 + \epsilon \cdot \cos \theta]}$ $\epsilon = \text{偏心率}$ $= \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2}$ $a = \frac{1}{2} \text{長径}$ $b = \frac{1}{2} \text{短径}$	$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r^2 + 1 + (r^2 - 1) \cdot \cos \theta_2}{2r}$ <p>ここで、$r = \frac{R_{\max}}{R_{\min}}$</p> 
2	<p>幾何学的中心まわりに回転する2次の楕円歯車</p> 	<p>同一歯車。幾何学的性質はよく知られている。完全な楕円歯車よりバランスがよい。1回転について完全な速度周期が2つ必要な場合に使用される。</p>	$R = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a+b) - (a-b) \cdot \cos 2\theta}$ $C = a + b$ $a = \text{最大半径}$ $b = \text{最小半径}$	$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r+1 + (r^2-1) \cdot \cos 2\theta_2}{2r}$ <p>ここで、$r = \frac{a}{b}$</p> 

そこで、表1に示すフェローズ・ギヤシェーパ社のブルームフィールド氏の理論³⁾を用いて、2種類の円弧歯形楕円歯車のCAD/CAMを作成した。なお、歯形を円弧としたのは、円弧補間のみで加工でき、プログラムの短縮化が図れるからである。

3. 設計仕様

主な設計仕様は以下のとおりである。

- (1) ピッチ曲線
 - 焦点まわりに回る2つの楕円
 - 幾何学的中心まわりに回転する2次の楕円
- (2) 歯車の組合せ
 - 同形の楕円歯車2つ
 - 歯車間の中心距離固定（平行軸）
 - 円形の刃先形状
- (3) 入力データ
 - 長半径（長径 / 2）
 - 短半径（短径 / 2）
 - 歯数（形状により入力値が限定される）
- (4) 出力データ
 - CADデータ（DXF形式）
 - NCデータ（マシニングセンタ形式）

4. 操作手順

操作手順の概要を以下に示す。

- (1) 図1のソフト起動画面で希望のボタンを押す。

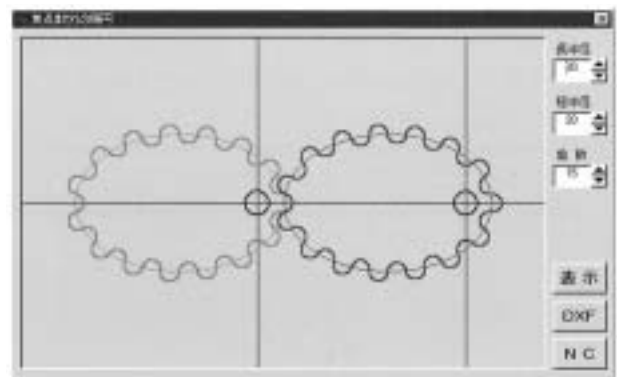


図2 「焦点まわりに回る2つの楕円」画面

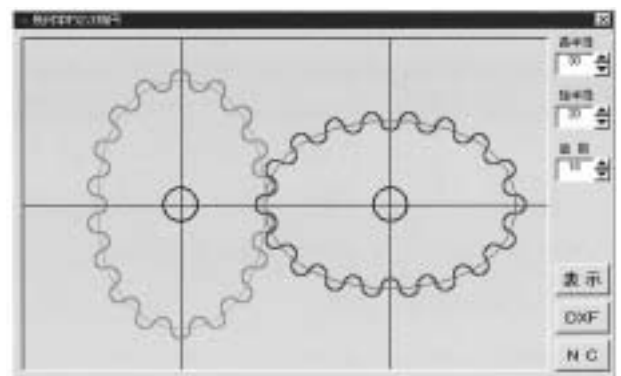


図3 「幾何学的中心まわりに回転する2次の楕円」画面

- (2) 「焦点まわりに回る2つの楕円」を選択した場合は図2の画面が表示される。「幾何学的中心まわりに回転する2次の楕円」を選択した場合は図3の画面が表示される。
- (3) 長半径・短半径・歯数を「 」ボタンまたはキーボードから入力し、「表示」ボタンを押すと、その歯車形状が再表示される。

(4) 希望の歯車形状が決まり，CADに出力する場合は，「DXF」ボタンを押す。図4に示す「出力ファイル名」を指示する画面となる。

出力されたデータをAutoCAD LT 2000で読み込んだ例を図5に示す。

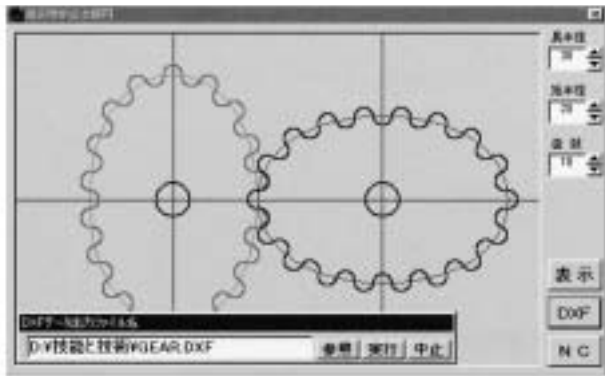


図4 「歯車形状のDXFデータ出力」画面

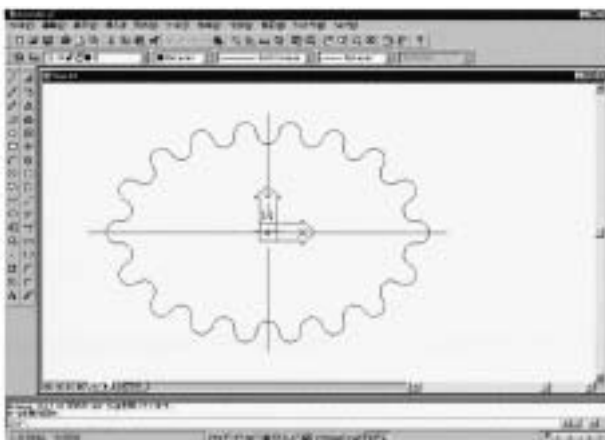


図5 「AutoCAD LT 2000」で読み込んだ画面

(5) 歯車形状の加工用NCデータを出力する場合は，「NC」ボタンを押す。図6に示す「加工条件」を指示する画面となる。

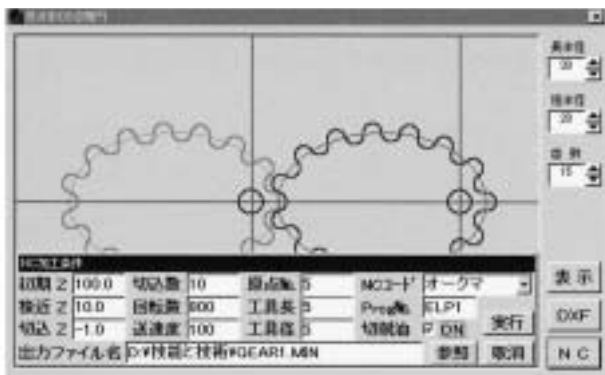


図6 「歯車形状の加工条件」画面

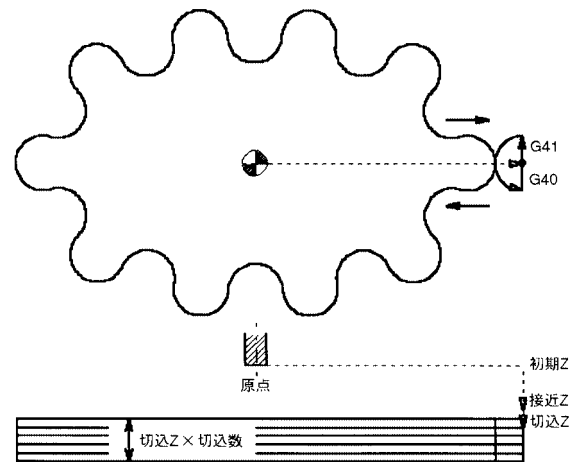


図7 楕円歯車の加工経路図



図8 加工図例

NCプログラムは，図7に示す加工経路をサブプログラムとし，Z軸（-）側に繰り返し，切り込んでいく加工となる。図8に加工図例を示す。

入力データにおいて，原点No.・工具長補正番号・プログラム（Prog）No.は指示しなくてもかまわないが，その他のデータはすべて入力しなければならない。また，加工開始点は図7に示すように，形状右側からだけになっている。

もし，レーザ加工機やワイヤカットなどの工作機械を使う場合や加工開始点を変更したい場合は，歯車形状をDXFデータに出力し，MG_CAM（工業調査会出版「生産技術者のためのすぐ使えるCAM」⁴⁾付録ソフト）を用いてNCデータを作成することができる。

図9に加工した楕円歯車を示す。また，図10にこれらの非円形歯車を用いて製作した実習課題の一つであるバレル研磨機を示す。

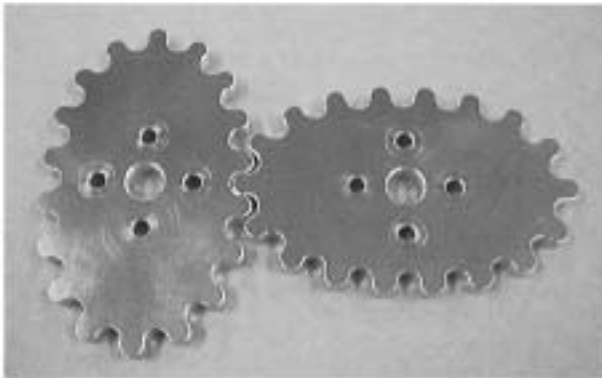


図9 楕円歯車加工品例

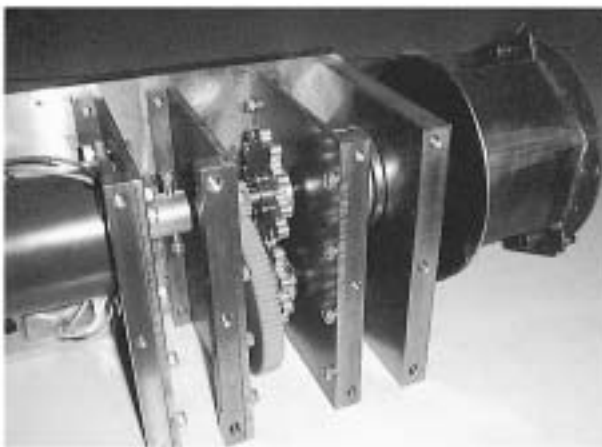


図10 製作実習作品「バレル研磨機」

表2 非円形歯車の特性（実例メカニカルコントロール参照）

形 状	ピッチ曲線
共役車と回転する偏心円形歯車 	$R_1 = \sqrt{a^2 + e^2 + 2ae \cdot \cos \theta_1}$ $\theta_2 = \theta_1 + c \int \frac{d \cdot \theta_1}{C - R_1}$ $C = R_1 + R_2$
対数らせん歯車 	$R_1 = A \cdot e^{k \cdot \theta_1}$ $R_2 = C - R_1 = A \cdot e^{k \cdot \theta_2}$ $\theta_2 = \frac{1}{k} \log (C - A \cdot e)^{k \cdot \theta_1}$ $e = \text{自然対数の底}$
正弦関数歯車 	$\theta_2 = \sin^{-1} (k \cdot \theta_1)$ $R_2 = \frac{C}{1 + k \cdot \cos \theta_1}$ $R_1 = C - R_2$ $= \frac{C \cdot k \cdot \cos \theta_1}{1 + k \cdot \cos \theta_1}$

5. 今後の課題

非円形歯車を簡単に製作できるCAD/CAM用教材自作の一端を紹介したが、さらに使いやすいものとするために、次の～が現在検討中の課題である。

表2に示すピッチ曲線を数学的に求めやすい「共役車と回転する偏心円形歯車」、「対数らせん歯車」、「正弦関数歯車」パターンの作成

歯車形状のパターン選択（インポリュート、サイクロイドなど）

歯車かみあいシミュレータ

任意の角速比曲線に合う非円形歯車とそれにかみあう歯車

6. おわりに

楕円歯車のように、ピッチ曲線を数学的に求めやすい非円形歯車は、入門課題としては効果がある。しかし、ピッチ曲線の式特有の角速比運動しか得られないため、適用製品や創造性の面で限界がある。

そのため、「任意の角速比曲線に合う非円形歯車」等についての新しいCAD/CAMソフトを現在検討中である。興味のある方々には、ご意見やアイデアをいただき、発展させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) T.Otsubo, M.Okada, T.Hayashi: "Mass Production of Noncircular Gear by CAD/CAM", The International Conference on Precision Engineering (IcoPE-2000), March, 2000. (特許申請中)
- 2) 大坪武廣, 柳本和司, 酒井一昭, 中山勝之, 岡田昌樹: 「一回転中に変速する回転型バレル研磨機の試作」, 熊本県立技術短期大学紀要, 第一号, 2000. (特許申請中)
- 3) ニコラス P. チロニス編著, 横山良明訳: 「実例メカニカル・コントロール(3)」, 大河出版, 1977.
- 4) 大坪武廣, 岡田昌樹: 「生産技術者のためのすぐ使えるCAM」, 工業調査会, 1999.
著作権: AutoCAD LT 2000, DXF: 米国オートデスク社およびその他の国における登録商標と商標