

AutoLISP による接線連続を有する 円弧コマンドの作成と歯形創作の応用

関東職業能力開発大学校 小林 豊彦

Creation of sketching command and cutting work data by the Auto LISP

Toyohiko KOBAYASHI

要約 CADのカスタマイズソフトである AutoLISP を用いて、AutoCAD 内で使用可能なコマンドを作成した。このコマンドは、円に円弧を接線連続で繋ぐコマンドで、従来の AutoCAD では一つのコマンドで、これを行うことができず、描くには数種類のコマンドを用いなければならなかった。このコマンドは円弧を円に接線連続で繋ぐときの、その円弧の始点が円の内側に在るか、外側に在るかを問わず作成が可能である。次に、インポリュート曲線から構成される歯形を作図するプログラムを作成し、この図を加工データとして遊星歯車機構用のアルミニウム製歯車をワイヤー放電加工機で切り出した。歯形は点と、それを結ぶ直線で近似されており、初期値としてモジュール、歯数、圧力角、ステップ数(これによって歯車の構成点数を決める)を入力することにより、一对の歯形と歯先の軌跡を作図する。このプログラムは歯先円と基礎円の間に歯形を作図するもので、完全な歯形を作成するには、プログラムで作図した後に、手作業で歯形曲線を歯底円まで延長するか、歯底円で切断して完成させなければならない。その後、できあがった一つの歯形を配列複写コマンドで所定の個数をコピーして歯車とする。完全な歯車を作図するプログラムを作らなかった理由は、歯形修正の容易さと、学生に使用させるときの学習効果を考慮してのことであった。

はじめに

AutoLISP (オートリスプ)とは AutoCAD に標準的に装備されている (LT には付いていない) カスタマイズソフトで、その名前が示すように LISP の AutoCAD 用方言といえる。LISP は1950年代の終わりから1960年代の初めにかけて、人工知能プログラム開発のために作られたもので、その語源は List Processor, List Programming あるいは List Processing の略からきていられると言われている。MacLisp、InterLisp、CommonLisp など Lisp の頭に種々の名前をつけたものが開発されている。本報で述べる AutoLISP は、AutoCAD 内で使用可能なコマンドを作成することができる。さらには、曲線の座標点を、プ

ログラム中で数値計算することによって作成し、これらの点を直線、円弧あるいはスプライン等で繋ぐことにより近似曲線をつくり、手書きでは困難な図形を描くことができる。後者の利用例としては等速度、等加速度板カムの設計、あるいは、衣料産業での製造業者が、数個のパラメータを入力することによってジャケットの袖部分を作図し、この図面を加工データとしてレーザ裁断を行うなどの案があげられている。⁽¹⁾

ここでは、作図コマンドの作成と、インポリュート歯形作図のプログラムおよび、その図形を加工データとした加工例について述べる。

コマンドの作成

AutoCAD 以外の数種類の CAD では、一つの手順で容易に描ける図形が AutoCAD では数回の手順を経ないと描けないことがある。その例を図 1 に示す。

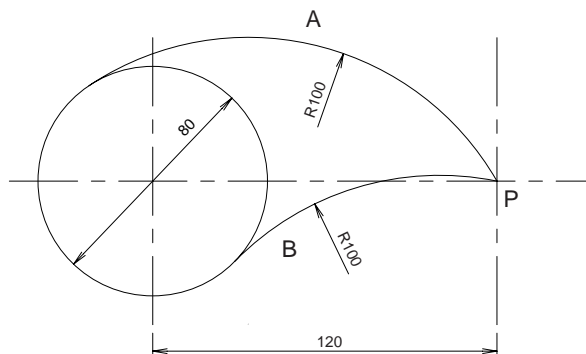


図 1 円に円弧をつなぐ図形

図は、円の中心から 120mm 離れた点 P から半径 100mm の円弧を、直径 80mm の円に接線で接続して描く場合を示している。通常は点 P を始点とし、円弧コマンドで直径 80mm の円に、オブジェクト・スナップを「接線」に設定して、接続して描くことができる。しかし、AutoCAD を用いた場合、この操作では円弧が円に繋がらず、これを描くための一つの方法としては、補助円を二つ描き、その一つを回転コマンドで回転させて描いた後、不要な部分をトリム、削除して仕上げなければならない。スパンなどの図面では、このような円弧を多く用いなければならない、かなり煩雑な作業となる。これを一つのコマンドで描くために次のようなコマンドを作成した。

コマンド操作手順

- 1) コマンドの始動：(ACAP) と入力。
ACAP はプログラムの名前。また、() を付けずに起動する方法もある。
- 2) 図中に描かれている円または円弧をクリックする。
このとき、「円または円弧を指示」が表示され、クリックしたオブジェクトが円、円弧でないときは、「選択されたのは円ではありません」と表示して終了する。
- 3) 作図する円弧の始点となる点をクリックする。
表示：「点を指示」
- 4) 始点から円、円弧に「接線」で接続する円弧の半径を入力する。
このとき「円弧の半径を入力」と表示する。入力した数値では作図が不可能の場合、「半径の値が

適切でないため円弧が作成されませんでした」と表示して終了する。

以上が操作の流れであるが、図 1 の A、B に示すように、この操作によって描かれる図形には、円弧が円の左側と右側に繋がれる、すなわち内接、外接の二通りがある。この区別をつけるために円弧を円に繋ぐとき、繋ぎたい側の円周上をクリックすると、クリックした側に繋がるように作成した。

次に、プログラムを作成するために使った関数について述べる。AutoLISP にはクリックしたオブジェクトの情報、例えば、円であれば、そのオブジェクトが「円」とであるという情報と中心点の座標値や半径の値、直線であれば「直線」と始点、終点座標値などを取得する関数がある。また、クリックした位置の座標値も取ることができ、これによって、クリックした位置とオブジェクトの位置関係を知ることができる。描いてある図形の情報取得した後に、これを基に、手で描く場合と同様に、プログラム中で図形を描いていく。すなわち、AutoLISP には、ジオメトリック関数と呼ばれる、角度と距離から点を求める関数 (polar 関数) 交点を求める関数 (inters 関数)、二点間の距離を測定する関数 (distance 関数) などがあり、これらを用いて作図していく感覚でプログラムを作る。また、AutoCAD のコマンドも使え、例えば直線を描くのであれば、command "LINE" と書き込み、その後始点と終点の座標値を書き込めばよい。

プログラム作成後、図 2 の図形を用いてテストを行った。始点を直径 200mm の円の内側の点 P1 と外側の点 P2 の二点設け、円弧の半径を任意に変えて円に内接、外接する円弧を描いてみた。このとき、P1、P2 は円の中心点と同一直線上 (x 軸上) にあり、円の中心からの距離はそれぞれ 50mm、150mm とした。

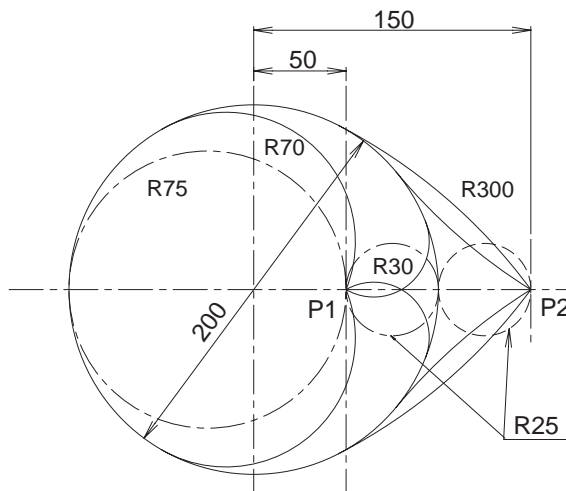


図 2 コマンド「ACAP」による作図例

テストの結果、P1を始点としたときの円弧で、半径が25mmと75mm（図中の一点鎖線で示した円弧）のもの及び、P2を始点としたときの円弧で半径が25mm（破線で示した円弧）のものは作図できなかつた。この3つの円弧は点P1及びP2を直径の一端として持つ円に相当するもので、プログラムではif文で文章を分ける境界値に当たる。if文中で二つの計算値の等号を判定する場合、二つの数値の計算誤差を含めて、それらの値が等しか否かを判定しなければならない。本プログラムでは、前述のdistance関数で得られた値と入力半径値を計算後に比較しているため、あきらかに等号が成立する場合にも、成り立たないことがある。具体的には、前述した境界値にあたる半径の円弧が描ける場合と、そうでない場合が起こる。これを避け、再現性を保つためにif文中の等号を外し、大小関係の判定だけ動くプログラムとした。このため、25mmと75mmの円弧は作図できない結果となった。作図例として図中にR30、R70、R300の円弧を示す。なお、本プログラムで作図できなかった形状は円コマンドの「2P」オプションを用いることによって容易に作図できる。

加工データへの応用

最近のレーザやワイヤー放電加工機には、CADで描いた図面をDXFファイルで受け取れる機能が標準で装備されているため、CADの図面を基に材料を切り出すことができる。そこで、AutoLISPを用いて、インボリュート曲線（以後、Invo曲線と称す）で構成される歯形の作図プログラムを作成し、この図形を基に、ワイヤー放電加工機で歯車を切り出し、遊星歯車機構の作成を試みた。

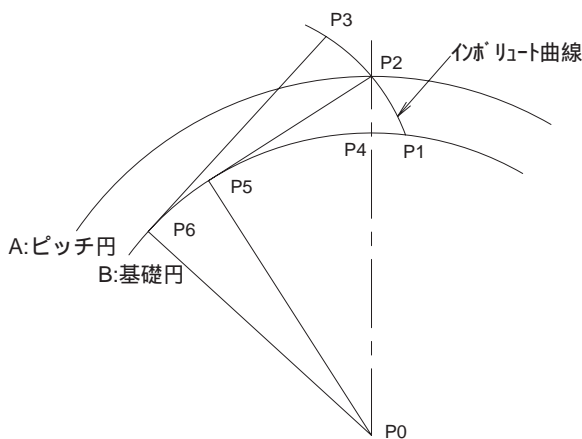


図3 インボリュート曲線概念図

Invo歯形の概念図を図3に示す。図には点P0を共通の中心点とするピッチ円(A)と基礎円(B)の一部も描かれているが、これを横切って点P1、P2およびP3を通る曲線がInvo曲線となる。Invo曲線は点P1に始まり、次の様な条件の下で、P2、P3と描かれていく。Invo曲線上の点（例えば、点P3）から基礎円上に引かれた接線の長さ（P3P6）は、接線と円の接点（P6）からInvo曲線の始点（P1）までの円弧長さ（円弧P1P6）に等しくなる。実際の作図は次の様に行う。モジュールと歯数から求められた、点P0を中心とするピッチ円（直径=モジュール×歯数）がP0を通る垂直線と交わった点P2をピッチ点とする。このピッチ点から、P0を通る垂直線に対し圧力角（P5P0P4）だけ傾いた直線（P0P5）に引いた垂直線の交点が点P5となり、基礎円の半径P0P5が得られる。このようにして描かれた基礎円上を点Pが動くとき、この点と中心点P0を結ぶ線分P0Pを一辺に持つ直角三角形の、辺P0Pに対峙する点の描く軌跡がInvo曲線となる。このとき、点Pから辺P0Pに垂直に引いた線分の長さは、点Pから始点P1までの円弧長さに等しくなる。ここで、始点P1は、圧力角が与えられたときにピッチ点P2が求まることより、逆算して得られる。また、歯先円半径とピッチ円半径の差および歯底円半径とピッチ円半径の差は、それぞれモジュール、モジュール×1.25とした。これらの条件を基に、前述したジオメトリック関数等を用いてプログラムを作成した。

プログラムは、一對の噛み合った歯形と片側の歯先の軌跡を描く。以下にコマンドの操作手順を示す。

- 1) コマンドの始動：(GEAR)と入力。
- 2) 歯車のモジュールを入力。
表示：“モジュールの値を入力”
- 3) 歯数を入力。
表示：“歯数を入力”
- 4) 圧力角（度）を入力。
表示：“圧力角の値を入力”
- 5) ステップ数を入力。
表示：“ステップ数（歯形を構成する線分の数）を入力”
Invo曲線は、点とそれを結ぶ直線で近似される。ここでは、ステップ数+1が点の数となる。
- 6) 二つの歯形が噛み合うピッチ点の位置を指示。
表示：“歯形の中心となる点を指示”
- 7) 1)～5)で入力した歯車と噛み合う相手側の歯車のモジュールを入力。

表示；“相手歯車のモジュールの値を入力”

8) 上記歯車の歯数を入力。

表示；“相手歯車の歯数を入力”

9) 上記歯車の圧力角(度)を入力。

表示；“相手歯車の圧力角の値を入力”

ステップ数は5)の入力値を用いる。

以上のような操作手順で描いた一对の歯形を図4に示す(CRTの画面では一对の歯形を、それぞれ白と緑、軌跡を赤で表示した)。このとき、二つの歯車のモジュール、歯数、圧力角、ステップ数は等しく、それぞれ、1.5、24、20°、10とした。

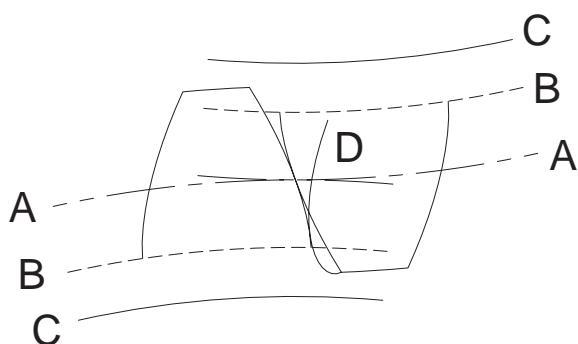


図4 作成コマンド「GEAR」による歯形の作図例
(圧力角20°)
A: ピッチ円 B: 基礎円 C: 歯底円

プログラムは歯形と歯先の軌跡(D)の他に、ピッチ円(A)、基礎円(B)、歯底円(C)の一部を作図し、歯形は基礎円と歯先円の間で描かれる。歯車は圧力角などの値により、基礎円と歯底円の位置関係が変わり、基礎円が歯底円の内側になる場合と、外側になる場合がある(図5参照)。したがって、完全な歯形を作るために、以後は、後述の手作業で歯形を作成する。歯底円が基礎円の外側にある場合は、歯形曲線を歯底円で切断し、歯底円が基礎円の内側にあるときは、歯形曲線を基礎円まで延長する。このとき、歯先の軌跡を参照して、延長した曲線が相手側の歯車と干渉しないような曲線を引く。また、必要であれば、延長曲線と歯底円の交差部あるいは歯先部分にRを付ける。作成した歯形と歯底部分を配列複写コマンドで円形状に24個並べ、歯車の作成が終了する。図6に遊星歯車を、図7に遊星歯車機構の組図を示す。完成し

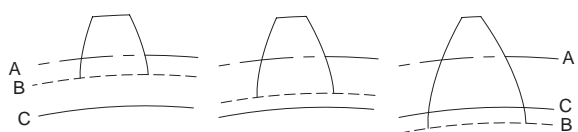


図5 圧力角(α)と歯形(モジュール1.5 歯数30)
A: ピッチ円 B: 基礎円 C: 歯底円

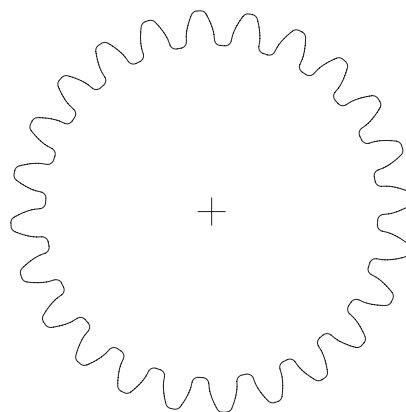


図6 遊星歯車完成図
モジュール1.5 歯数24 圧力角20°

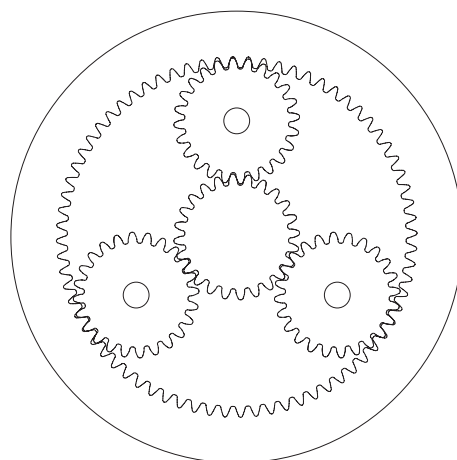


図7 遊星歯車機構組図
太陽歯車, 遊星歯車モジュール1.5歯数24圧力角20°
内歯車 モジュール1.5歯数72圧力角20°

た歯車は加工データとする前に、ワイヤー放電加工機での加工時のトラブルを避けるため、すべてのオブジェクトが連結している(図が一筆書きとなっている)ことを確認する必要がある。この確認を行うには Mechanical Desktop で3次元モデル化してみることが最も確かである。ステップ数を増し、データ数が多くなった場合には、3次元モデルでのプロファイリングの計算に時間を要したり、計算が不可能となる場合があるので、Mechanical オプションの「拘束規則の適用」を外して3次元モデル化を行った。モデル化できることを確認後、加工機でのデータ設定の便宜性を考慮して、歯車の中心を座標値(0,0)に移動してから DXF ファイルに変換した。なお、加工機が読み込めるオブジェクトは直線、円、円弧などに限られるため、これら以外のオブジェクトは加工データとする前に、前述のオブジェクトに変換しておく必要がある。このデータを基にワイヤー放電加工機で切り出したアルミニウムの太陽歯車(遊星歯車も同仕様)を図8に、太陽歯車と遊星歯車および内歯車(歯数74枚、圧

力角、モジュールは太陽歯車と同じ)を組上げた遊星歯車機構を図9に示す。このプログラムは一つの歯形を歯先円と基礎円の間を描くが、完全な歯車を作図するプログラムを作ることも可能である。それを行わなかったのは以下の理由による。歯車の組合せを試行錯誤する場合、はじめは、一对の歯形を見るだけで十分であると思われる。また、歯形修正の容易さということも考慮した。すなわち、このプログラムは一对の歯形を描くだけであるので、例えば、内歯の作成時には相手側遊星歯車の歯形との当たりを、直接作図画面で見ることができ、形状の修正などが容易に行える。歯形が一つできれば、後は配列複写コマンドで簡単に歯車を作ることができる。さらには、数値を入力するだけで完全な歯車が作図されるプログラムでは、学生の学習にあまり役立たない。すなわち、入力する数値によって基礎円や歯底円の相対的な位置の変化を見たり、歯先の軌跡を考慮しながら歯形を歯底円に繋ぐなどの作業を通して、歯車の基礎的な知識を習得が欲しいからに他ならない。数値を入力するだけで完全



図8 アルミニウム製歯車
モジュール1.5 歯数24 圧力角 20°



図9 遊星歯車機構
太陽歯車、遊星歯車 モジュール1.5 歯数24 圧力角 20°
内歯車 モジュール1.5 歯数72 圧力角 20°

な図形を描く、閉じられたプログラムよりは、基本的な知識を持った使い手が描かれた図形を容易に修正、変更できるようなプログラムにしたい、という狙いがあった。

おわりに

「ACAP」と名前を付けたコマンドは茨城短大でアビリティーCAD訓練の終了時に配布して使用したが、プログラム内でAutoCADのシステム変数を変えているため、プログラムを中断させると、UCSアイコンが斜めになったりするなどのトラブルがおきた。使用書に解決法などを追加したが、今後も、多くの方に使ってもらい、完成度を高めてゆきたい。

歯形作図プログラムで作ったデータを基に、歯車を切り出したのは、今回が初めての試みであった。今回のプログラムでは、点を直線で繋いで歯形を作成したが、この歯形の構成点は等分に歯形に配置するような方法としたため、ピッチ点に必ずしも構成点が来るとは限らず、噛み合いの精度を落とす原因になる危険があったが、今回は加工後の精度まで議論するにはいたらなかった。また、ワイヤー放電加工機(Sodick製AQ550L)に装備されている歯車切り出し用のプログラムでは歯形は円弧で補間されているが、ステップ数の調整で歯形の構成点間隔をワイヤーの直径程度にすれば、直線補間でも十分ではと思われるが、これらも今後の課題として取り組んでゆきたい。

最後に、AutoLISPはカスタマイズソフトとして開発されたが、CADシステム内で用いるよりは、加工データへの変換など、外部への展開が、その用途の拡大につながると考えられる。例えば、「はじめに」で述べたレーザ裁断、あるいは、数個のパラメータを入力しての板金展開図の作成、非円形歯車の設計⁽²⁾への利用などの2次元図面応用から、3次元モデルへの応用も考えられる。3次元モデルといっても基本的には2次元平面に描いた図形(断面図)を「レール」などと称せられる経路に沿って動かして作るものであるから、その基礎となる断面図で、手で描がけないもの、数値計算を必要とする曲線が求められるモデルでは、ここで述べたような手法が有用になると考えられる。

謝辞

ワイヤー放電加工にあたっては、生産技術科の菅野金一先生に御指導いただきました。ここに感謝の意を

表します。

[参考文献]

- (1) T. ボスフィールド、「AutoCAD AutoLISP 実践ガイド」、アジソン・ウェスレイ・パブリッシャーズ・ジャパン発行、株式会社星雲者発売、1999年、p58 - 62、111 - 117
- (2) 香取英男、「非円形歯車の設計・製作と応用」、日刊工業新聞社、2001年

他に利用した文献

- (3) 内山弘、「歯車概論」、啓学出版、1981年
- (4) 和田稲苗、本荘恭夫、福永太郎、新井恭司、石川七男、「精説機械製図」実教出版株式会社、1999年
- (5) 落合重紀、「AutoLISP 徹底活用ガイド」、株式会社翔泳社、1999年
- (6) 岡島正夫、「AutoLISP の初歩 AutoCAD を使いこなすために」、東海大学出版社、2001年