

3次元曲面板金展開加工システムの開発

北村 欣也, 小林 政義

Development of machining systems for the sheet metal unfolding with three dimensional curved surface

kinya KITAMURA, masayoshi KOBAYASHI

抄 録

数年前から企業と共同でパソコン用に板金展開の「定型」数種類を開発し「板金展開 NC 加工システム」として、現在、製品製作に実用化している。

本研究では、今日の Windows パソコンの進歩に合わせ、また、新しい機能として「3次元曲面」を加えて、「3次元曲面板金展開加工システム」の開発と「板金展開 NC 加工システム」の Windows への移植を行って実用性を高めたシステムを開発した。

キーワード： 3次元曲面, 板金展開, 加工システム, NC, 工具径補正

1. はじめに

道内の製造業における板金加工において、専門の業種「配電盤、スチール家具、流し台」の製造業では、自動化した専用のシステムや自社開発のシステムを使用している。しかし、一般の企業では、「少量多品種生産」などの理由から板金展開システムの導入は進んでいないの現状である。

生産性の向上に必要な項目は何か 製品製造作業の中から、作業準備時間【＝実際の製品加工の中で、製造作業に必要な準備のための時間】の短縮が現在、最も効果が上がる方法であると考えている。

この事を板金展開加工作業から見ると、以前から行われていた手作業による原寸展開と切断では、多大の時間を費やし加工精度も良くないのが現実であった。近年の、NC 工作機械とパソコンの普及によって展開計算をプログラムで行い、加工を NC 加工機械で行う事によって大幅な時間短縮が見込まれると共に加工精度も飛躍的に向上する事が期待できる。

以上の様な背景の中、企業からの要請で、実際の製造に必要な「定型」の形状物については、「板金展開 NC 加工シ

ステム」として開発し、現在、製品製造に使用して生産性の向上に寄与している。このシステムは「PC-98の MS-DOS システム」で稼働しているが本研究では、これを Windows へ移植する事と、汎用性と機能の拡張を合わせて実現すべく、「3次元曲面板金展開加工システム」の開発を行った。

2. 板金展開加工システム

一般的な板金展開加工システムの処理の流れを図1のフローチャートで示す。

図1で、展開は1.項から7.項へ順次進んで処理が完了するが、途中2.項, 4.項, 6.項, 7.項から前へ戻って処理をやり直しする事も出来る。

以下に各項の処理を説明する。

2.1 展開図形データの入力

展開する図形の形状寸法データは、「定型図形」では、図形各部の寸法値、角度等と展開に必要な分割数をキーボードから入力する。

「3次元 CAD システム」から図形データを入力する時は、CAD の中間ファイルに出力したデータを読み込む方法で入力する。

事業名：一般試験研究

課題名：3次元曲面板金展開加工システムの開発

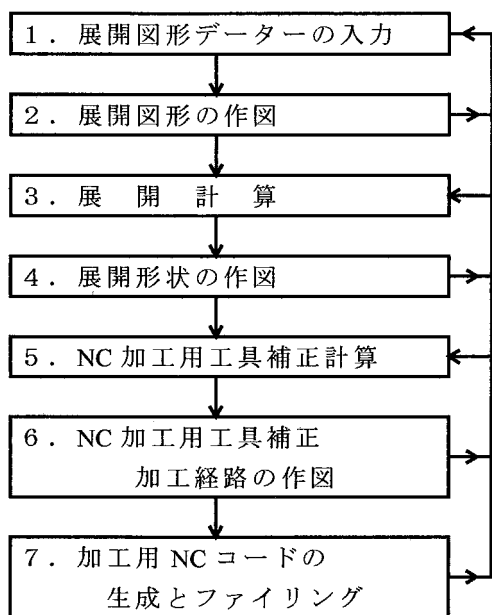


図1 板金展開加工システムの流れ

2.2 展開図形の作図

前項で入力された図形データから展開する3次元図形を作図し表示する。これによって、入力されたデータの誤りなどをフィードバックして訂正する事が出来る。

2.3 展開計算

一般的に図形の形状によって展開方法が決まるが、展開する分割要素で、四角形が確定するもの、三角形に分割されるもの、扇型になるものその他に分類される。

一般的には展開図形ごとに展開は異なった計算方法が必要であり、展開に必要な3次元座標値、または図形寸法から分割数で分けられる展開図形要素の各図形寸法値、または座標値を計算する。

要素図形の寸法値や座標値が決まると、展開図形の種類に合った要素図形の四角形や三角形の連結計算を行って展開図形座標値を決定する。

2.4 展開形状の作図

展開された座標値から展開形状を要素をも含めて作図し表示する。

2.5 NC加工用工具補正計算

NC加工に必要な加工工具、加工条件、加工順序などの情報を入力して加工工具経路を計算する。

加工では工具の大きさがあるため、工具径オフセット命令が必要がある。

板金展開の中で、展開形状が曲線を有する場合で凹状態がきつい輪郭形状では、加工工具が隣の輪郭部分を加工してしまう「オーバーカット(=切り込み過ぎ)」が生じて、加工

精度を著しく低下させる。

本研究開発では、この加工誤差を生じない方法として、工具径補正計算(加工輪郭線の工具半径分外側の直線の交点を求めて工具経路とする)を行った加工工具経路とした。

2.6 NC加工用工具補正加工経路の作図

加工経路座標値から、加工経路、加工工具形状、展開形状を合わせて作図し表示する。

2.7 加工用NCコードの生成とファイリング

加工経路座標値をもとに、NC加工機械に合った固有のコード(命令)の各種座標値、加工長さ、加工角度、円弧、送り、ニブリングピッチなどに変換してNCコードを生成すると共にファイリングしてNC加工を行う。

3.「3次元曲面板金展開加工システム」の開発

これからの板金展開システムはCADシステムとの有機的連携が必須の課題であるとの認識から、3次元CADシステムとの連携で有効な板金展開形状を考察し、「定型」の次のステップとして「3次元曲面」を取り上げた。

一般的に曲面を適当な「三角形」に分割し、各辺の長さが決定されれば、それらを順次連結して展開図形を求める事は可能である。しかし、曲面を加工する時には、複雑な曲げ加工に伴う事が考えられる。このような考察から、3次元曲面として最も基本形状である「平行でない直線で囲まれる四角形(捻れ面)」を展開の基本図形として「3次元曲面展開加工システム」を開発する事とした。開発には、Visual Basicを使用した。本システムの流れを図2に示す。

3.1 展開図形データの入力

3次元CADシステムで設計された「捻れ面」の図形データを「中間ファイル」として出力する。

本システムでは、3次元CADシステムからの「中間ファイル」を読み込み、四角形の辺の線分データからX,Y,Z座標値を抽出する。

キーからの直接入力も可能であり、ファイル名を入れなければ直接入力モードとなる。

3.1.1 中間ファイルの入力

3次元CADシステムからの板金展開図形データを、CADそれぞれの「中間ファイル」として出力し、オフラインで「3次元曲面板金展開加工システム」に入力する方式とした。

使用した3次元CADシステムは「CADKEY」で中間ファイルは「*.CDL」である。

また、図3にこの捻れ面のモデルを示す。

この「*.CDL」ファイルの書式は、表1に示した様に、「捻れ面」を4本の直線(LINE)で表現している。その詳細は、最初に線の種類を示す英単語(LINE)で始まり、次に直線の始点のX,Y,Z座標値、終点のX,Y,Z座標値、線色、線種、……で全データ数14で構成された書式と成っている。

表1 CADKEY 中間ファイル「*.CDL」

```

LINE 0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000,
0.0000000000, 30.0000000000, 100.0000000000, 1, 1, 1,
0, 0, 1, 1
LINE 0.0000000000, 30.0000000000, 100.0000000000,
100.0000000000, 50.0000000000, 100.0000000000, 1, 1,
1, 0, 0, 1, 1
LINE 100.0000000000, 50.0000000000, 100.0000000000,
100.0000000000, 40.0000000000, 0.0000000000, 1, 1, 1,
0, 0, 1, 1
LINE 100.0000000000, 40.0000000000, 0.0000000000,
0.0000000000, 0.0000000000, 0.0000000000, 1, 1, 1, 0,
0, 1, 1
    
```

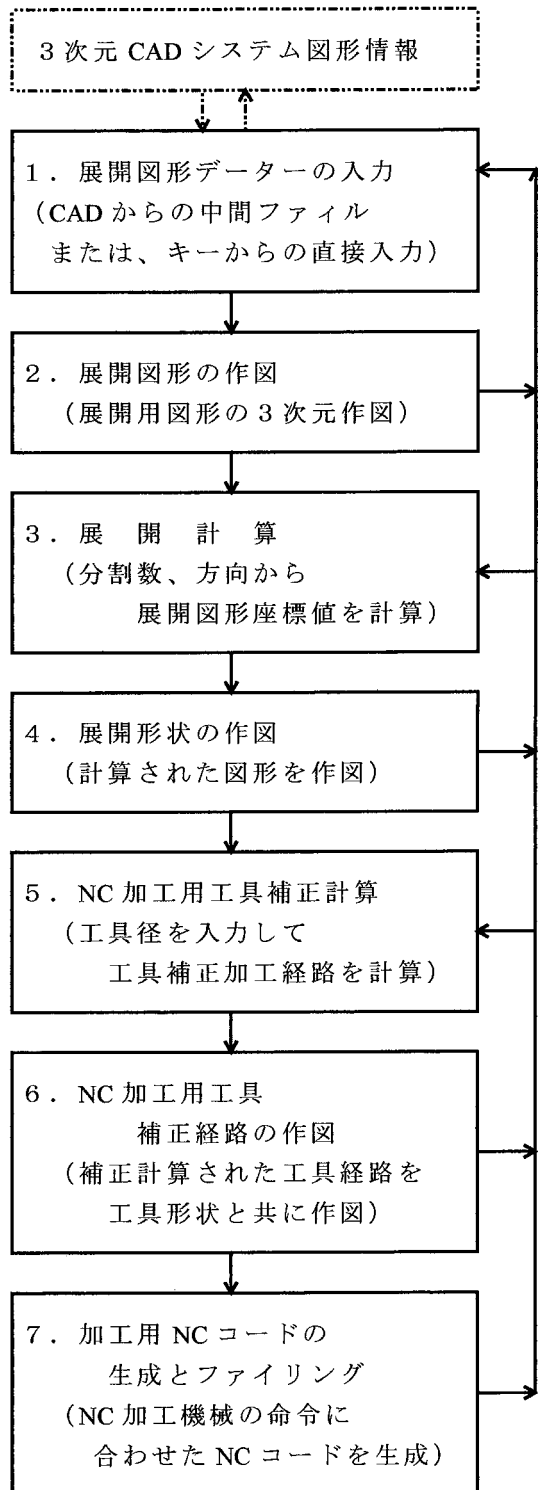


図2 3次元曲面板金展開加工システム

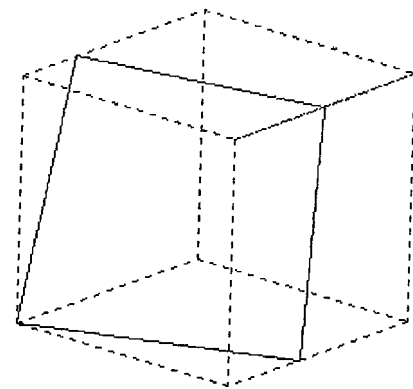


図3 捻れ面モデル

3.1.2 直接キー入力

キーからの入力は、実行ウインドウの「TEXT」欄のX1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, ……X4, Y4, Z4に直接「捻れ面」の頂点座標値を入力して線分データとして配列へ収納する。

また、展開のための分割数も「TEXT」欄で入力する。

3.2. 展開図形の作図

入力された頂点座標値から4点を結ぶ直線を構成し、分割数(N=n)による直線の分割点を計算する。図4参照

各頂点をP1,1, P2,1, P3,1, P4,1とし、それぞれの3次元座標値をP1,1(X1,1, Y1,1, Z1,1), ……P4,1(X4,1, Y4,1, Z4,1)として、線分 $\overline{P1,1-P2,1} = L1, \dots, \overline{P4,1-P1,1} = L4$ とする。

展開用図形分割は、各線分を座標値でN等分し、

L1の分割点 P1,1, P1,2, P1,3, ……P1, n, P2,1
 ……

L4の分割点 P4,1, P2,2, P2,3, ……P4, n, P1,1

とすると、i 番目の座標 X, Y, Z は、

$$P1, iX = (P2, 1X - P1, 1X) / n \times (i-1) + P1, 1X$$

$$P1, iY = (P2, 1Y - P1, 1Y) / n \times (i-1) + P1, 1Y$$

$$P1, iZ = (P2, 1Z - P1, 1Z) / n \times (i-1) + P1, 1Z$$

となり、相対する分割点を結んで分割四角形を構成する。ここで分割四角形は、縦と横方向の二種類生成されるが分割方向は「捻れ面」の機能を考慮した方向を設計図から決める事が必要である。

縦方向四角形を TR1, TR2, … TRn とすると、

$$TR1 \text{ は } P1, 1 - P2, 1 - P2, 2 - P4, n-1, P1, 1$$

$$TR2 \text{ は } P4, n - P2, 2 - P2, 3 - P4, n-2 - P4, n$$

……

$$TRn \text{ は } P4, 2 - P2, n-1 - P3, 1 - P4, 1 - P4, 2$$

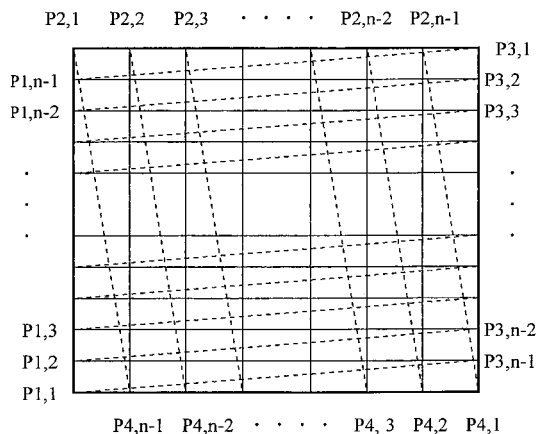


図4 展開の分割記号と分割三角形

横方向四角形を YR1, YR2, … YRn とすると、

$$YR1 \text{ は } P1, 1 - P4, 1 - P3, n-1, -P1, 2 - P1, 1$$

……

$$YRn \text{ は } P1, n-1 - P3, 2 - P3, 1 - P2, 1 - P1, n-1$$

分割四角形は、各辺の長さだけでは四角形を確定出来ないので、対角線の長さを求めて二つの三角形に分割してその三角形を対角線で結合して四角形を確定する。

縦分割四角形 TR1…TRn の分割三角形を、

$$TR1 \text{ は } TRT1, 1 \text{ と } TRT1, 2,$$

……

$$TRn \text{ は } TRTn, 1 \text{ と } TRTn, 2$$

とすると、

$$TRT1, 1 \text{ は } P1, 1 - P2, 1 - P4, n-1, P1, 1$$

$$TRT1, 2 \text{ は } P2, 1 - P2, 2 - P4, n-1, P2, 1$$

……

$$TRTn, 1 \text{ は } P4, 2 - P2, n-1 - P4, 1 - P4, 2$$

$$TRTn, 2 \text{ は } P2, n-1 - P3, 1 - P4, 1 - P2, n-1$$

となる。横分割四角形の分割三角形も同様にして生成する。

3.3 展開計算

定義された三角形の各辺の長さを計算する。三角形の辺の長さ、T1, T2, T3は頂点座標を X1, Y1, Z1, X2, Y2, Z2, X3, Y3, Z3とすると、

$$T1 = \sqrt{(X2 - X1)^2 + (Y2 - Y1)^2 + (Z2 - Z1)^2} \dots\dots \text{式1}$$

T2, T3も同様にして計算し、生成された四角形の四辺と対角辺の長さを計算する。

次に、最初の分割三角形の三辺の長さから、縦分割の時は、辺 L1を、また、横分割の時は、辺 L4を展開の基準線として、基準線の端点から他の二辺の長さを半径とする円を描きその交点を求めると、初めの分割三角形が確定する。

図5は、縦の太線を基準線として、その両端を円の中心 (a, b) (c, d) に三角形の二辺の長さ R1, R2を半径とする破線の円を描きその右下の交点を求めて左の三角形を確定する。次に、先に求められた三角形の右の辺を基準に同様な計算をし、右上の交点を求め分割四角形を完成させる。その算出方法は、円の方程式、

$$C1 : (X - a)^2 + (Y - b)^2 = R1^2 \dots\dots\dots \text{式2}$$

$$C2 : (X - c)^2 + (Y - d)^2 = R2^2 \dots\dots\dots \text{式3}$$

から交点を求める事によって計算する。この方法で分割数×

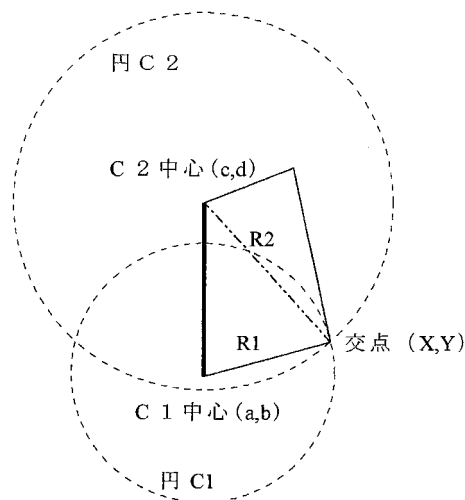


図5 三角形と四角形の生成

2 個の三角形を逐次連結計算を行って展開図形の座標値を決定する。

3.4 展開形状の作図

展開された座標値を元に展開平面形状を作図する。展開座標値 X, Y の $(N + 1) \times 2$ 組から X, Y の最大、最小値を抽出し、作図範囲に収まるように、座標値に対する作図倍率を決定する。

作図は、展開形状(分割した三角形)を分割順に作図する。作図例を図 6, 7 に示す。

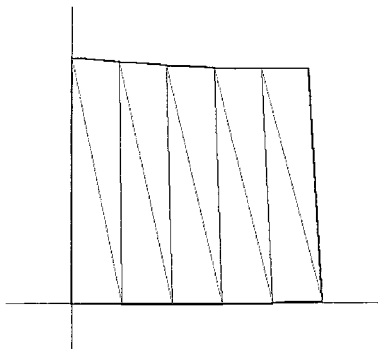


図 6 平面展開図形(横方向分割)

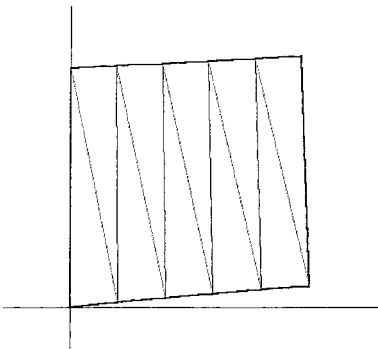


図 7 平面展開図形(縦方向分割)

3.5 NC 加工用工具補正計算

NC 加工のための工具補正経路は、展開座標値を結ぶ加工輪郭線の直線の方程式を順次二本を一組として補正計算をする。

展開図形座標値を $(x_1, y_1) (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$ とし、連続する座標値を一組として、連続する二本の直線の方程式は、傾きを a, c 、 Y 軸との切片を b, d とすると、

$$a \cdot X + b = Y \dots\dots\dots \text{式 4}$$

$$c \cdot X + d = Y \dots\dots\dots \text{式 5}$$

となり展開図形の曲線部の輪郭線の直線の方程式が決まる。

次に、加工工具補正のために輪郭線の外側(工具径 $\times 1/2$)の直線の方程式を、

$$e \cdot X + f = Y \dots\dots\dots \text{式 6}$$

$$g \cdot X + h = Y \dots\dots\dots \text{式 7}$$

とし、この式を連立で解いて交点を計算する。

この方法で相対する展開座標値の (X_n, Y_n) までを順次計算をくりかえし、また、端面も同様に計算して加工工具経路を生成する。

3.6. NC 加工用工具補正経路の作図

生成された工具経路、工具径を展開図形上に作図して NC 加工シミュレーションを兼ねた図形を表示する。

図 8 は横方向の展開図形の工具経路を図 9 には縦方向の工具経路を表示した。

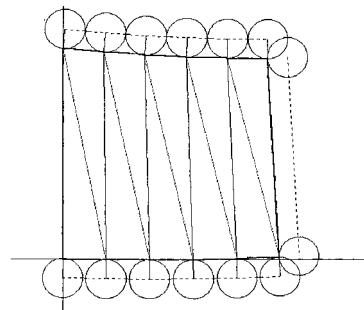


図 8 加工工具経路(横方向)

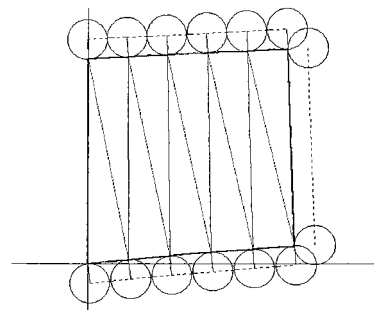


図 9 加工工具経路(縦方向)

3.7 加工用 NC コード生成とファイリング

生成された加工経路座標値 (X, Y) から NC 加工に必要な NC コード用の数値の計算を行う。

本システムでは「NC タレットパンチプレス」(アマダ製)をターゲットとしている。

加工用 NC コードのなかで加工位置への移動と、直線加工の命令の主なもの説明する。

加工座標系は加工機械の正面に向かって横方向が X 軸で右側への移動が $(+)$ 、縦方向の奥側が Y 軸で $(+)$ と成っている。

工具移動用「G72」命令は、「パターン基準点指令」で、加工の位置を表し、その書式は、

G72 X ** . ** Y ** . **

で工具をこの位置に移動し、以後のパターン加工を行う。

「G69」は「ニブリング・ライン」命令で、「G72」で指令された点から X 軸と角度 θ をなす方向の長さ m だけ、間隔 q ずつニブリング加工を行う。

G69 Im J ± θ P ± ϕ Qq T ○○○

m : 加工長さ mm

θ : 角度+は反時計回り-は時計回り

ϕ : 工具径で+の時は、進行方向の左、
-の時は、右側へオフセット

q : ニブリングピッチ mm

T ○○○ : 金型ステーション指令で
加工工具の位置で 3 桁の番号

ここで 加工する材料の厚さが 3.2mm より大きい時は、「G79」のパンチング・ライン命令で加工する。

G79 Im J ± θ P ± ϕ Qq Dt T ○○○

m : 加工長さ mm

θ : 角度+は反時計回り-は時計回り

ϕ : 工具径で+の時は、進行方向の左、
-の時は、右側へオフセット

q : ニブリングピッチ mm

t : 材料の板厚 mm ($q \geq t$)
T ○○○ : 金型ステーション指令で
加工工具の位置で 3 桁の番号

以上の NC コード書式から新たに加工線の長さ θ と角度を計算する。

長さを L, 角度を K とする。

工具補正加工経路の加工線の座標値を,

(X1, Y1) (X2, Y2) … (Xi, Yi) … (Xn, Yn) とすると,

$$Li = \sqrt{(Xi+1 - Xi)^2 + (Yi+1 - Yi)^2}$$

$$KKi = \text{ATN}((Yi+1 - Yi) / (Xi+1 - Xi))$$

$$Ki = KKi \times 180 / \pi (\text{角度への変換})$$

以上の計算値をもとに、加工順序を考慮して NC コード生成する。

テストデータによる NC コード出力を表 2 に示す。

生成された NC コードは、ファイリングして NC 加工に使用する。図10にシステムの処理フォームを示す。

表2 生成した NC コード

「捻れ面 上部」

```
N000 G92 X 1000.00 Y 1040.00
N001 G72 X .93 Y 147.66
      G69 I 20.29 J -5.32 P 0 Q2.00 T 302
N002 G72 X 21.13 Y 145.78
      G69 I 20.18 J -4.09 P 0 Q2.00 T 302
N003 G72 X 41.26 Y 144.34
      G69 I 20.18 J -2.84 P 0 Q2.00 T 302
N004 G72 X 61.41 Y 143.34
      G69 I 20.17 J -1.57 P 0 Q2.00 T 302
N005 G72 X 81.57 Y 142.79
      G69 I 20.28 J -0.28 P 0 Q2.00 T 302
```

「捻れ面 右端」

```
N006 G72 X 111.79 Y 133.26
G69 I 101.98 J -86.70 P 0 Q 2.00 T 302
```

「捻れ面 下部」

```
N007 G72 X -.22 Y 20.00
      G69 I 21.61 J -1.23 P 0 Q 2.00 T 302
N008 G72 X 21.39 Y 19.54
      G69 I 21.69 J -0.39 P 0 Q 2.00 T 302
N009 G72 X 43.08 Y 19.39
      G69 I 21.69 J 0.46 P 0 Q 2.00 T 302
N010 G72 X 64.77 Y 19.56
      G69 I 21.69 J 1.32 P 0 Q 2.00 T 302
N011 G72 X 86.46 Y 20.06
      G69 I 21.62 J 2.18 P 0 Q 2.00 T 302
```

捻れ面の平面展開

2002年5月30日 16:02:17

入力データファイル名 a\CADKEY\d1.CDL X,Y 軸角 10 20 分割数 5

X1 0.00000	Y1 0.00000	Z1 0.00000	辺長 104.40307	分辺 20.88061
X2 0.00000	Y2 30.00000	Z2 100.00000	101.98039	20.59008
X3 100.00000	Y3 50.00000	Z3 100.00000	100.49876	20.09975
X4 100.00000	Y4 40.00000	Z4 0.00000	107.70330	21.54088

対角長さ 1-3 150.00000 2-4 141.77447 倍率 20 FileOut

実行 展開方向 横方向 展開 工具径 NC加工 印刷

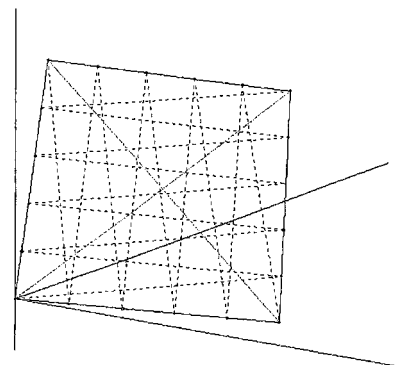


図10 3次元曲面板金展開加工システム

4. 板金展開 NC 加工システムの移植

本システムは、NEC「PC-98」の「N88-日本語 BASIC (86) (MS-DOS)」版で開発し現在、稼働中であるが、パソコンの Windows への移行が進んだ今日、「板金展開 NC 加工システム」の存続がハードウェアの生産中止で危ぶまれているのが現状である。そこで、Windows への移植を行った。使用言語は「捻れ面」と同じく Visual Basic を使用した。

移植は、N88-日本語 Basic 版の「板金展開 NC 加工システム」ファイルを Windows ファイルへ変換し、そのファイルを Visual Basic へ読み込んで文法の異なる箇所を書き直して完成させた。以下に主な処理項目を説明する。

4.1 エルボの展開

エルボは、円筒をある半径と角度で曲げたもので、その角度の間を数個の円筒でつないだ物である。エルボの正面図を図11に示す。

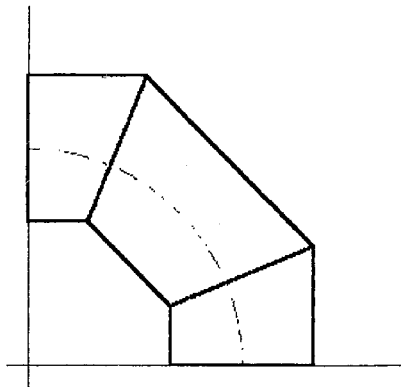


図11 エルボの正面図

展開は、展開半径、展開角度、角度分割数から分割角度 = BK を求めると、

$$BK = KD / (BN + 1)$$

KD : 展開角度

BN : 分割数

となる。ここで分割角度の計算で分割数に + 1 をするのは、エルボ両端は展開角度に直角にするためで、3 分割以上の時は、両端の展開円筒は中間の円筒の半分の長さになる。

次に、円筒直径と円筒分割数、展開半径、分割角度から展開円筒の展開半径上の長さを求める。両端の中心長さ LH、内側の長さ LU と外側の長さ LO すると、

$$LH = RT \times \tan(BK)$$

$$LU = (RT - DH) \times \tan(BK)$$

$$LO = (RT + DH) \times \tan(BK)$$

RT : 分割半径

D : 管の直径

DH : D/2 : 管の半径

LU : 内側の管の長さ

LO : 外側の管の長さ

となる。次に、分割する円筒管の長さを短い方から分割数の半分を計算すると、残りは座標値の順序を反対に並べると全円周の展開座標値が求められる。

展開座標を X_i, Y_i とすると、

$$X_i = D \times \pi \times i$$

$$RD = 2\pi / N$$

$$D_i = D \times \cos(\pi - i \times RD)$$

$$Y_i = (RT - D_i) \times \tan(BK) + LU$$

D : 管の直径

i : 円筒分割の i 番目

D_i : i 番目の X 軸方向の長さ

RD : 展開円筒の分割角度

ここでは、展開を円筒管の内側から行う様に計算する。

次に、角度分割が 2 と 3 以上の展開で、両端の管は、展開図形の半分で上部が凸となり、中間の円筒管は、上下部が共に凸となる。図12、13に展開図形を示す。

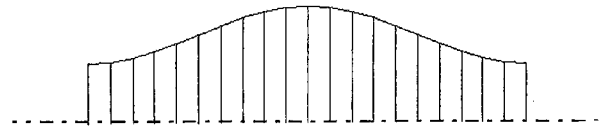


図12 エルボ端部の展開図形

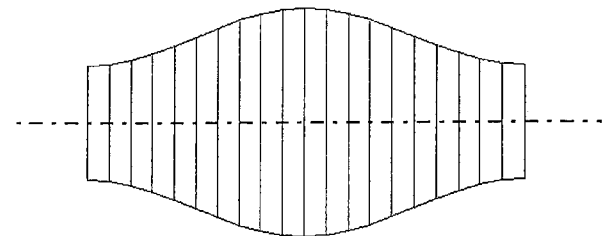


図13 エルボ中部の展開図形

4.2 エルボの NC 加工用

求められた展開座標値から、「板金展開加工システム流れ」にそって NC 加工のための工具径補正計算と NC コード生成処理を行う。この処理は「捻れ面」で記した方法と同じであ

る。図14に「板金展開 NC 加工システム-(エルボ)」のフォームを写真15に本システムよる製品の加工例を示す。

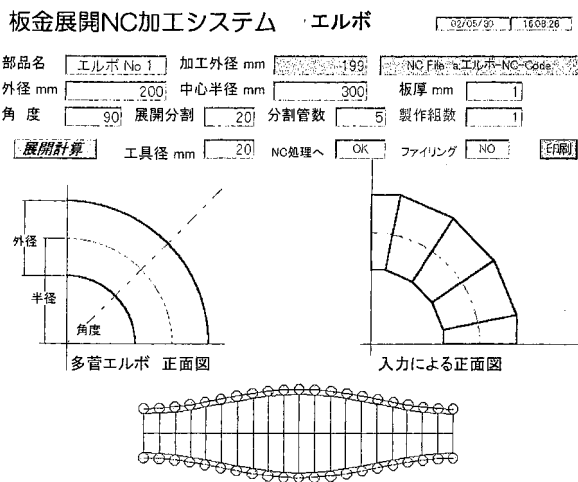


図14 板金展開 NC 加工システム



写真15 板金展開 NC 加工システム

5.まとめ

板金展開加工システムを、Windows 版として開発を行い、「3次元曲面板金展開加工システム」における3次元CADシステムから中間ファイルとしてデータを入力する手法による汎用性の高い「捻れ面展開システム」を完成した。

また、既に開発したPC-98用「板金展開 NC 加工システム」の移植を行い、今後の継続した活用を可能にした。

ここで、本研究に協力して頂いた、(株)有働鉄工所と帯広市産業技術センターに厚く謝意を表します。