

新潟大学工学部 藤井義也, ○實沢康朗, 岩部洋育

## 1. はじめに

最近空調機器の分野において, 低騒音, 低振動を可能とするスクロールコンプレッサーが注目されている.

スクロール輪郭形状は, インボリュート曲線に沿って3~5mmの厚みの曲面壁を構成しているもので, その加工には通常スクエアエンドミルが使われる. しかし, 加工面の曲率が連続的に変化するため切削面積が変化し, 加工精度を一定に保つことが困難である. また壁の厚さの加工精度へおおよぼ影響も考えられる.

これらの原因による加工精度の低下は, 主としてコンプレッサーの圧縮効率に影響をおよぼし, 高効率実現のためにも加工精度の向上が望まれる.

そこで本研究では, うず巻形状部品の高精度加工法の確立を目的とする. 本報では, 工具経路の計算方法を示すとともに, 基礎実験により壁厚を考慮した切削条件を定め, 送り速度制御により精度改善の効果を検討した結果について報告する.

## 2. 工具経路の計算方法

インボリュート曲線は $r$ を基礎円半径,  $t$ を曲率中心回転角とすれば, 次式によって表される.

$$\left. \begin{aligned} X &= r \cos(t) + r t \sin(t) \\ Y &= r \sin(t) - r t \cos(t) \end{aligned} \right\} (1)$$

実際には,  $t$ を0.1rad間隔で5.2~15.0radまで変化させて計算したものをオフセットすることにより, 工具経路を求めている. 図1は2点間の補間方法を示しており, 点と点の補間には, 誤差が $1\mu\text{m}$ 以内となるように円弧補間を用いている. また曲率中心は図1に示す各点で一次微分まで連続させ, 以下のように求めた.

まず, 各区間ごとに $u, v$ 座標系をとる. ここで2点間の曲線の式を(2)で表す.

$$(u - a_i)^2 + (v - b_i)^2 = R^2 \quad (2)$$

補間の幅を $l, \alpha = \text{TAN } \alpha, \beta = \text{TAN } \beta$ とすれば, 曲率中心 $O_i(a_i, b_i)$ は次式で与えられる.

$$\left. \begin{aligned} a_i &= \alpha l / (\alpha - \beta) \\ b_i &= -l / (\alpha - \beta) \end{aligned} \right\} (3)$$

次に,  $P_i(X_i, Y_i), O_i(X_{O_i}, Y_{O_i})$ とし, 式(3)の $a_i, b_i$ を次式により $X, Y$ 座標系に変換する.

$$\begin{pmatrix} X_{O_i} \\ Y_{O_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_i \\ b_i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix} \quad (4)$$

この操作を $i=1-n$ まで行なうことにより, 曲率中心座標が求められる.

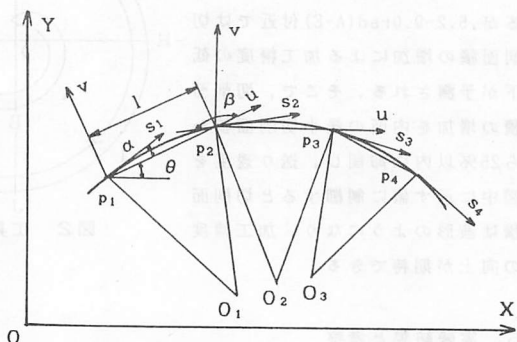


図1 2点間の補間方法

## 3. 切削面積の計算方法

エンドミル切れ刃の軌跡はトロコイド曲線であるが, 主軸回転数に比べて送り速度が小さいため円に近似し, 円を一刃当りの送り分だけ移動させて, 軸方向投影面積を計算する. さらに,  $1/\text{SIN}(\lambda)$  [ $\lambda$ :ねじれ角]を乗ずることによってねじれ刃による切削面積が求められる.

## 4. 実験方法とシミュレーション

切削実験は超硬,  $\phi 13$ , 右ねじれ角 $45^\circ$ , 2枚刃スクエアエンドミルを使い, 図2に示す工具経路で外面の後に内面という順序で切削した. 被削材にはS45Cを用い, 湿式, 下向き削りで, 主軸回転数 1000 rpmである. また加工誤差はNCフライス盤(アマダ-104NC  $1\mu\text{m}/\text{pulse}$ )上で電気マイクロメータを用いて測定した. その際に, 工作物上面から5mmを切込み $0.05\text{mm}$ , 送り速度 $60\text{mm}/\text{min}$ で仕上げ, 基準面とした.

まず最初に, 壁のたおれによる加工精度への影響を取り除くため, 曲率をもつ壁の中で最も剛性が低いと考えられる平面(曲率 $\infty$ )の薄壁で切削条件を変えて実験を行ない, 形状誤差の変化を調べた. その結果が図3である. 図より形状誤差は, 半径方向切込み, 送り速度にほぼ比例しており, この結果に基づいて形状誤差 $10\mu\text{m}$ に抑えられる切削条件を定めることが可能である. すなわち半径方向切込みを $0.2\text{mm}$ とすれば,  $4\text{mm}$ の薄壁に対しては, 内挿法により送り速度 $95\text{mm}/\text{min}$ が求められる.

図4は上記の条件を用いて切削面積を計算した結果である. 図より同一送り速度で外面を切削する場合は, 切削面積の増加も少なく加工精度の低下も少ないと考

えられる。しかし、内面の場合には切削面積がA点近傍で最大値を示し、外周部の約2倍である。その後なめらかな曲線となって減少するが、5.2~9.0rad(A-E)付近では切削面積の増加による加工精度の低下が予測される。そこで、切削面積の増加を内面の最小切削面積から25%以内に抑制し、送り速度を图中に示す値に制御すると切削面積は波形のようになり、加工精度の向上が期待できる。

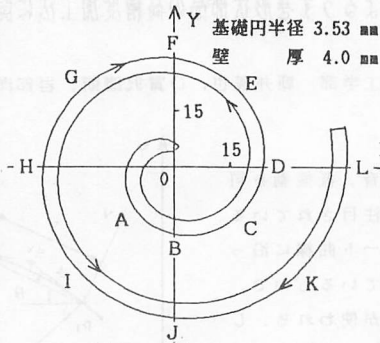


図2 工具経路

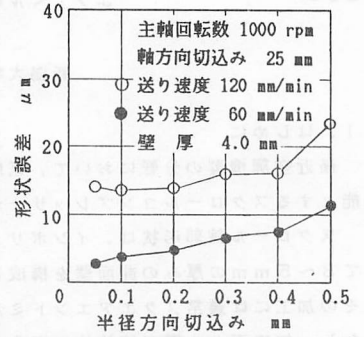


図3 切削条件と形状誤差の関係

### 5. 実験結果と考察

切削面積によるシミュレーション結果と比較するために実験を行い、図5はその例である。なお寸法誤差は1mmごとに25mmの高さまでの加工誤差の平均値である。また図2におけるA~Lの記号は測定位置を示し、図5の丸印の左から順にA~Lに対応する。

図5において、(a)図は送り速度制御なしの寸法誤差である。図より内面の寸法誤差は、ほぼシミュレーションと一致している。しかし、外面の寸法誤差はシミュレーションとは一致せず、C、G、K付近でピーク値となる正弦波状のうねりが見られる。これは機械の熱変形による主軸中心位置の移動の影響を受けたものと思われる。

そこで、A~Iまで1周分の外面データによりフリーエ解析を行なうと、点線で示す曲線が求められ、熱変形による主軸中心の移動方向と移動量は-59.2°の方向に5μmであると推定された。同様な方法で、25%制御の場合は-46.5°の方向に4μmであると推定された。

この結果に基づいて、内面のデータを補正し、制御の有無による寸法誤差の比較をしたのが(b)図である。

(b)図より、送り速度を制御したA~Eの範囲では平均4.9μm寸法精度が向上している。

### 6. 結論

- (1) 平面の薄壁による切削実験により、軸方向の形状誤差10μmを実現できる切削条件を検討した。
- (2) スクロールの輪郭形状を加工する工具経路を円弧補間で近似する方法により求めた。
- (3) スクロール中心部の内面加工において、増大する切削面積を外周部の25%以内になるように送り速度を制御し、寸法精度を平均4.9μm改善した。

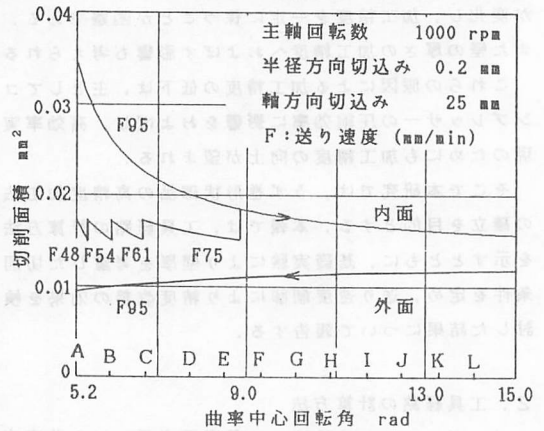


図4 工具経路中での切削面積の変化

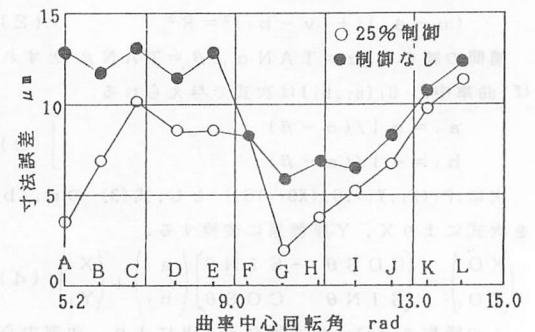
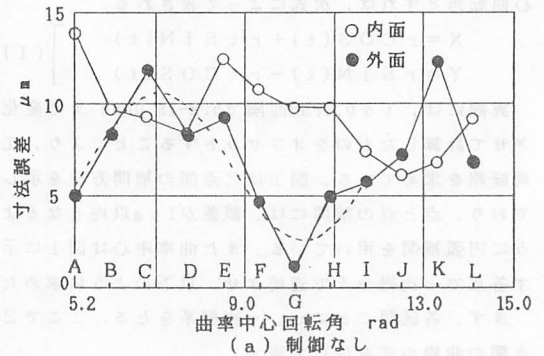


図5 A~L位置における寸法誤差