実践報告

「おもしろ機構」工作室Ⅵ
－立体カムを用いたPick＆Place装置の製作　その2－

岐阜職業訓練支援センター　幾瀬　康史

1．はじめに

メカニカルPick&Place装置（以下，「Pick&Place装置」と呼ぶ）は，機械加工，機械的機構，機械要素などを学ぶ機械系の訓練科において総合的な訓練教材として，ものづくりの面白さをかき立て，訓練の動機づけとして優れていることから，『技能と技術』2014年第３号の「『おもしろ機構』工作室Ｖ」で，その設計と製作について報告を行った。前回は立体カムを用いたメカニカルPick&Place装置の概要と，それを構成するインデックスバレルカムの機構を利用したインデックテーブルについて報告した。

今回，このPick&Place装置のもう１つの構成要素であるハンド部を制御する装置について報告する。ハンド部は，ローラギヤカムと平面溝カムを用いて回転運動とリフト運動との複合運動を行う。本装置を構成するローラギヤカムも，前回のバレルカムと同様に，５軸のマシニングセンターで加工が必要となる。このカムの加工は５軸のマシニングセンターの訓練課題として見ても，非常におもしろい課題である。

2．Pick＆ Place装置のハンド部の機構

図１にPick&Place装置のハンド部の構造を示し，図２に製作したハンド部を示す。図中のセレーションの軸は，回転運動と軸方向の直線運動を同時に行うことができる軸である。ハンド部はハンドの回転運動と上下のリフト運動を必要とすることから，軸にセレーション軸とそのセレーションナットを用いることで，可能にしている。そのナットは，カムフォロアを取り付けたタレットと一体化して用いることで，ローラギヤカムの回転運動を直交するタレット軸に間欠運動を伝えている。ハンド部の上下リフト運動はローラギヤカムの側面に取り付けた平面溝カムによりリフト用レバーを揺動運動することで可能にしている。

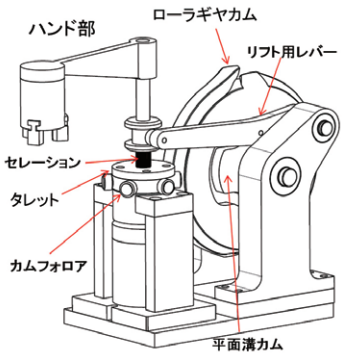

図１　Pick&Place装置のハンド部の構造

図２　Pick&Place装置のハンド部

3. ローラギヤカムの構造と理論

3.1　ローラギヤカム

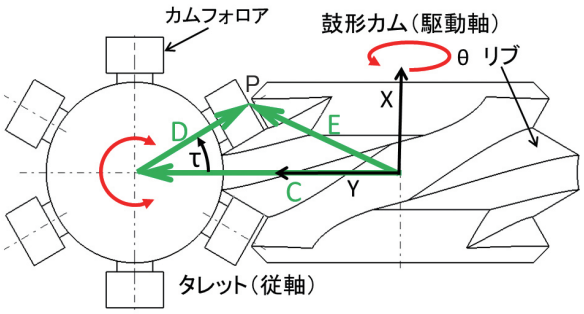

図３　ローラギヤカム機構の構造

ローラギヤカムの機構は，図３のように鼓の形状にリブを巻きつけたような形状の鼓型カムと，そのカムから出力を取り出すタレットから構成される。タレットの円筒面上にカムフォロアを配置している。鼓型カムの凸部（リブ部）をカムフォロアで挟み込み，駆動軸である鼓型カムの回転運動をタレットに運動を伝える。この鼓型カムの形状により，タレットの一方向への回転運動だけでなく揺動運動，間欠運動なども可能にする。

ローラギヤカム機構の鼓型カムの形状は，駆動軸の任意の位置（回転角 θ）において，従動軸のカムフォローの中心位置（回転角 τ）が決まれば，図３のようにカムフォロアの位置Pを決定することができる。各回転角 θ に応じてP点を求め，それらを結ぶと，カムフォロアの通過する閉曲線を描くことができる。そこで，初めに従動軸が τ 回転した時のカムフォローの位置ベクトル E を求めると，式(1)のように求めることができる。

$$E=\begin{bmatrix} D\sin\tau \\ C-D\cos\tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

C：軸間距離

D：カムフォロアの回転半径

τ：カムフォローの回転角

カムフォロアの位置ベクトル E は，回転角 τ によって決まり，回転角 τ は駆動軸回転角 θ によって決まることから，カムフォロアの位置ベクトル E を θ の回転角に応じて座標変換すると，カムフォロアの移動する閉曲線は，式(2)で求めることができる。

$$R=\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} D\sin\tau \\ C-D\cos\tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots \quad (2)$$

式(2)を見ると，溝の中心軌跡は直交ＸＹＺの３軸と回転２軸で決まるので，ローラギヤカムの加工には５軸（直交３軸と回転軸２軸）のマシニングセンターが必要となる。

なお，従軸の回転角 θ とカムフォローの回転角 τ の関係は，次項で説明する装置のタイミングチャートから導かれるカム動作曲線から求められる。

4. ハンド部の設計と製作

4.1　ローラギヤカムの設計と製作手順

ハンド部のローラギヤカムの設計・製作は初めに装置のタイミングチャートからカムの動作曲線を求め，３次元CADシステムを用い，図３のような鼓型カムを３次元でモデリングする。その後，５軸対応のCAMシステムでカッターパスを作成し，５軸のマシンニングで加工を行っている。したがって，３次元CADシステムと，５軸対応のCAMが必要となる。

具体的には次の製作手順となる。

「設計と加工手順」

① ハンド部の回転のタイミングチャートの作成。

② 滑らかな間欠運動等をするためカム曲線の選定。

③ ①のタイミングチャートにカム曲線を適用し，カム動作曲線 [ϕ =F(θ)] を作成。

④ カム動作曲線を式(2)に適用し，バレルカムの溝の中心位置の点群データ算出を表計算ソフトにて行う。

⑤ ３次元CADにこの点群データを取り込み，CAD上でスプライン曲線を作成する。

⑥　このスプライン曲線をもとにCAD上で鼓形カムの３次元モデリング行う。
⑦　モデリングを基に５軸CAMを用いてNCプログラムを作成する。
⑧　５軸マシニングセンターによりバレルカムの鼓形カムの加工を行う。

初めに①でハンド部の回転とリフトのタイミングチャートを作成する。図４に今回製作に用いたハンド部のタイミングチャートを示す。ハンド部が回転する直前にはハンド部が上昇し，ハンド部の回転後に降下させている。タレットの回転角０度と60度の間を間欠して往復運動し，ハンド部のリフト量は35ｍｍとなっている。

図４のタイミングチャートの曲線をそのまま用いてカム設計すると，カムに従動して可動するタレットやリフト用レバーに加速度または角加速度が発生し，カムの回転に大きな力やトルクが必要となる。さらにカムに従属して移動する部材がジャンピング現象を生じたりするので，図４のタイミングチャートにカム曲線を適用して用いる。

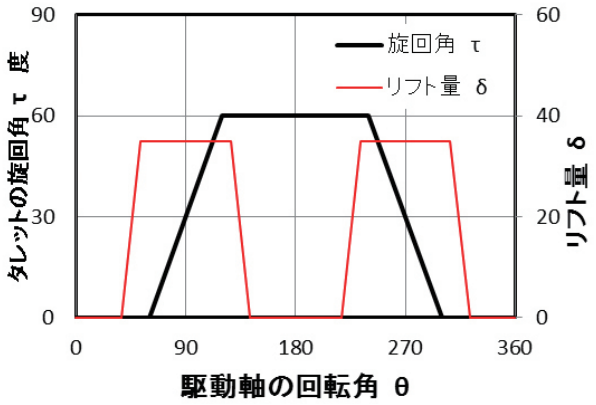

図４　ローラギヤカムのタイミングチャート

カム曲線として多くの曲線が提案されているが[1)]，今回は，最もよく使われており，モータの変動が小さい滑らかな動作が得られるNeklutin作変形正弦曲線を用いていた。このカム曲線を適用すると，図５のカム動作曲線を求められる。

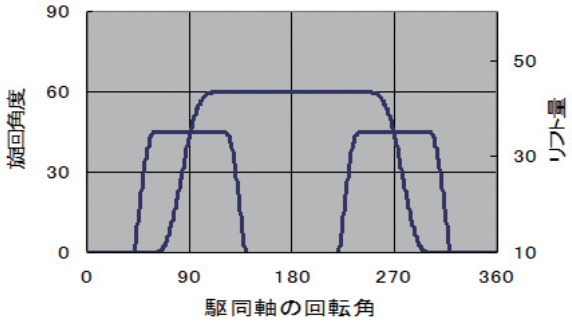

図５　カム動作曲線

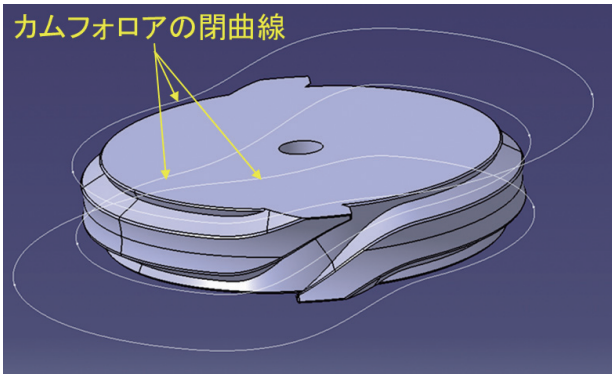

図６　ローラギヤカムの鼓形カムの
３次元モデリング

図５のカム動作曲線から駆動軸の回転角 θ とタイレットの回転角 τ 求め，(2)式からローラギヤカムの溝の中心位置を算出し，３次元CADに点データを取り込みスプライン曲線として求めると，図６のようにローラの中心の閉曲線を求めることができる。これをもとにローラギヤカムの鼓形カムをCAD上に描くと同図となる。この３次元のCADデータをもとに５軸用のCAMを用いて５軸のマシニングセンターのNCプログラムを発生し加工を行った。

次に，このNCプログラムを用いて実際に５軸マシニングセンターで加工している様子を図７に示す。このマシニングセンターは，チャックの回転軸に制限はないが，チャックの揺動軸が左右約200度までである。そのため，１回のチャックですべての加工ができないので，ワークを反転して２度の加工を行っている。ただし，鼓形カムの溝加工以外の鼓形の加工は，NC旋盤で前加工しておくと大幅な時間短縮となる。

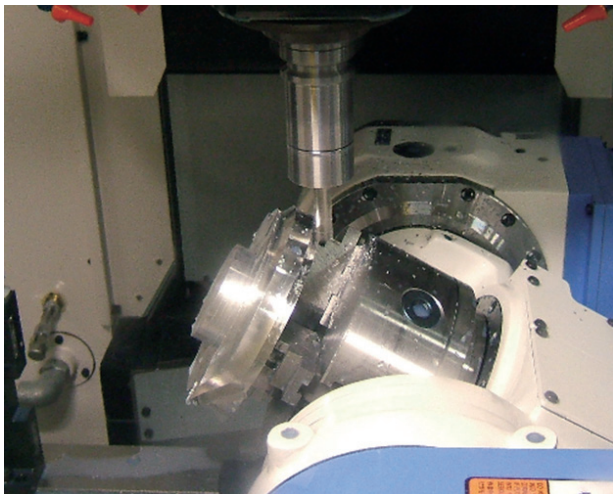

図７　ローラギヤカムの鼓形カムの
５軸マシニングセンターでの加工

4.2　ハンド部のリフター用カム設計と製作

図８にハンド部を上下させる平面溝カム機構とその理論について示す。本機構は，平面溝カムとそれに従属して揺動する揺動レバーからなる。ただし，揺動レバーの回転の中心位置 a（X_1, Y_1），レバーの回転の中心 a からカムフォロアの長さ L，揺動レバーの回転角を τ とする。また，カムの回転角度を θ とする。

平面溝カムの形状はカムフォロアの位置で決まることから，図８の下図で示すカムフォロアの位置ベクトルRを求めれば，カムの形状は決まる。

さらに揺動レバーの回転角を τ はカムの回転角 θ から決まる。したがって，位置ベクトルＲをカムの回転角 θ に応じて座標変換すると，

$$R = C - D = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 - L \cdot \cos\tau \\ Y_1 - L \cdot \sin\tau \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

で示される。ただし，レバーの回転角は，前もってシフト量35ｍｍと回転角の関係は算出しておく必要がある。

平面溝カムの機械加工は同様に図４のタイミングチャートにカム曲線を適用し，カム動作曲線を求めている。ここではカム曲線としては単弦曲線[1)]を用いている。そのカム動作曲線をもとに式(3)によって，カム形状の数値データを算出する。そのデータをCADに取り込み，モデリングを行う。その後，そのモデルをもとにCAMでNCプログラムの出力し，マシニングセンターで加工を行っている。なお，ローラギヤカムによるハンドの回転とリフト運動のタイミングを調整するため，平面溝カムは単独で加工し，ローラギヤカムに組み込んでいる。

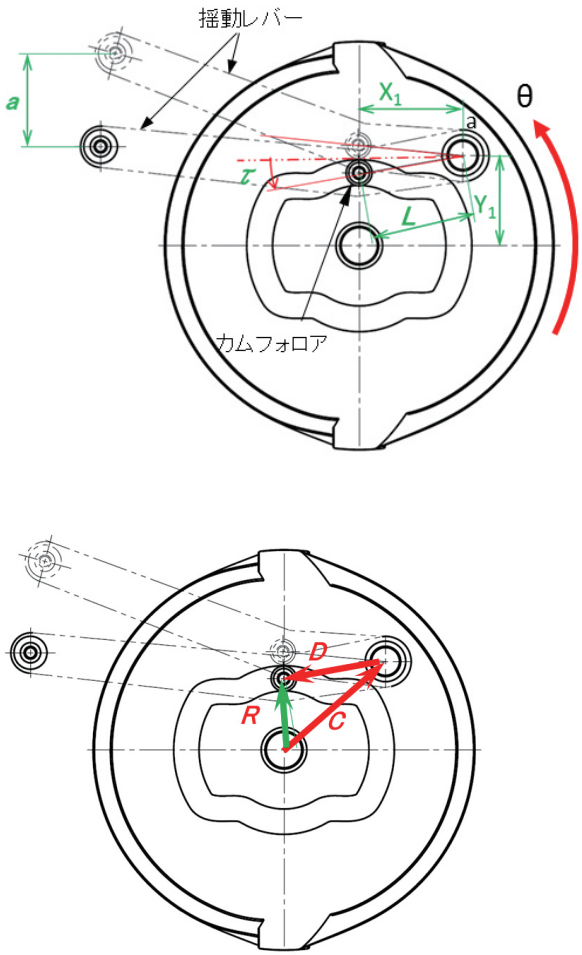

図8　平面溝カムの構造とその理論

5．おわりに

今回，立体カムを使用したPick&Place装置のハンド部の設計・製作の事例について紹介した。

前回，報告したインデックスバレルカムを用いたインデックステーブルと組み合わせたものを図９に，またその設計仕様も併せて示す。

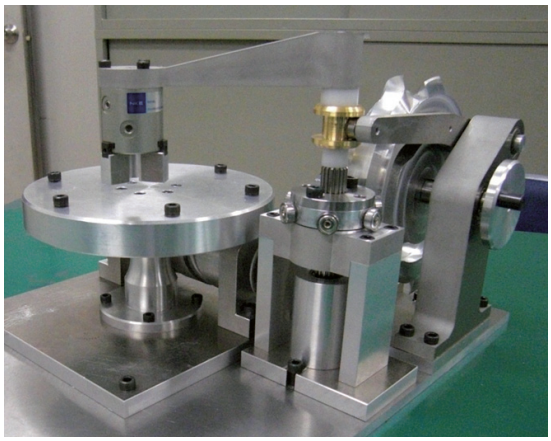

図9　立体を用いたPick&Place装置

〔Pick&Place装置の設計仕様〕

・原従軸間距離：100mm
・従軸外径：51mm
・ハンドの旋回角度：60度
・リフトアップ：35mm
・インデックステーブルの割り出し：60度

Pick＆Place装置，特に立体カム機構の動きの検証のため，今回部材の材質としてアルミニウム合金を用いているが，本装置を可動させると滑らかに動くことが確認できた。ローラギヤカムの鼓型カムと前回のインデックスバレルカムは，CADによるモデリングができると比較的簡単に５軸のプログラムができるので，５軸マシニングセンターの実習課題として適切と判断される。

また，製作した受講生も資料が少ない中，自主的に非常に興味を持ちチャレンジしてくれたと思う。最後に，立体カムのPick＆Place装置の製作の協力と資料を頂いた職業能力総合大学校生産技術科の卒業生の渡辺君と二日市君に御礼申し上げます。

「参考文献」

１）西岡雅夫：「機械技術者のための実用カム機構学」日刊工業新聞，2003.