

「おもしろ機構」 工作室V

—立体カムを用いたPick&Place装置の製作 その1—

岐阜職業訓練支援センター 幾瀬 康史

1. はじめに

Pick&Place装置は、工場の自動化ラインなどで所定の位置にあるワークをつかみ、上昇、移動、降下、置くという一連の運動を行う装置である。本装置は、機械要素と制御要素を組み合わせることで製作され、装置の動きの面白さもある。職業訓練の受講生にもものづくりの楽しさを感じて、良い訓練教材となり得ることから、総合的な実習課題として多くの教材が開発されてきている。

一般的なPick&Place装置の教材としては、制御の簡単さとフレキシビリティの観点からアクチュエータとして空気圧装置、ソレノイド装置、制御モータを用いてプログラムコントローラ（PLC）やマイコンで制御するものが多く作られてきた。しかし、これらの課題は機械的な要素は少なく、制御関係の要素が多く含まれているため、制御関係の訓練科としては優れているが、機械加工や機械的な機構などを主体に学ぶ生産技術科などの機械加工関係の訓練科の受講生にとっては問題があった。

そこで、当時担当していた専門課程の生産技術科の受講生の総合制作実習の課題としてリンク、カムなど機械的な機構で主に構成されるメカニカルPick&Place装置を課題として適用した。この装置の製作には、カムやリンク等の機構学的な知識だけでなく、汎用工作機械やNC工作機械の機械加工および組み立て調整などの技術と技能を必要とするため、生産技術科で学ぶべき教科と合致する点も多い。課

題の加工と設計には多少難度があるため、受講生にもものづくりの面白さを伝え、同時に難しさも知り、達成感のある良い課題と思われた。その結果、いろいろな機械要素を組み合わせた装置を7年間にわたり、専門課程の総合制作の課題として取り組んできた。受講生による課題の評価も非常に高く、学生自身も積極的に実習に取り組んでいることから、ものづくりへの動機づけにも非常に良い課題と判断された。

本装置の製作に取り組んだ初年度は、専門課程2年2名の受講生で行い、基本的な構造や設計の仕方を学ぶため、職業能力開発総合大学校の応用課程で開発されていた標準課題を参考に模倣することから始めた。平成12年度と平成13年度標準課題「機構形Pick&Place装置の制作」¹⁾ および「メカニカルPick&Place装置の制作」²⁾ の報告から、それぞれPick&Place装置の本体とインデックステーブルを参考に製作を行った。図1に初年度製作した装置を示す。ワークを移動する本体は平面カムとリンク機構を用い、テーブルの間欠運動はゼネバ歯車機構を使用している。その後、この装置をもとに各種の平面カム、リンク、立体カムなど機械要素を適用した課題に毎年挑戦してきた。

ところで、最近企業のニーズから機械関係の訓練施設に5軸のマシニングセンタが導入され、訓練に取り入れられ始めている。5軸マシニングセンタの訓練課題の開発は、加工時間や難度の問題から、まだ試行錯誤している状態と推測される。

これまで製作した装置のうち、立体カムを用いた

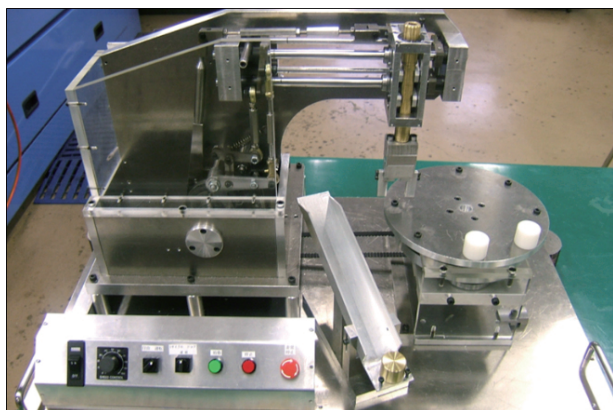


図1 Pick & Place装置の1号機

Pick & Place装置の製作では、カムの加工で5軸のマシニングセンタによる加工が必要となり、実際に加工してみると非常に面白く訓練課題として、良いものになると思われた。

そこで、今回総合的な訓練課題として、図2に示す立体カムを用いたPick & Place装置を紹介する。なお、図の装置は、ハンド先端のチャックの代わりにマーキング装置を取り付け、自動スタンプ装置としたものである。本装置には、立体カムとしてローラギヤカムとインデックスバレルカム（以下バレルカムと呼ぶ）および平面カムを使用している。ローラギヤカムは、マシニングセンタのATC装置の旋回などに用いられ、高速に回転ができ、バックラッシュが少ない機構である。また、バレルカムは、

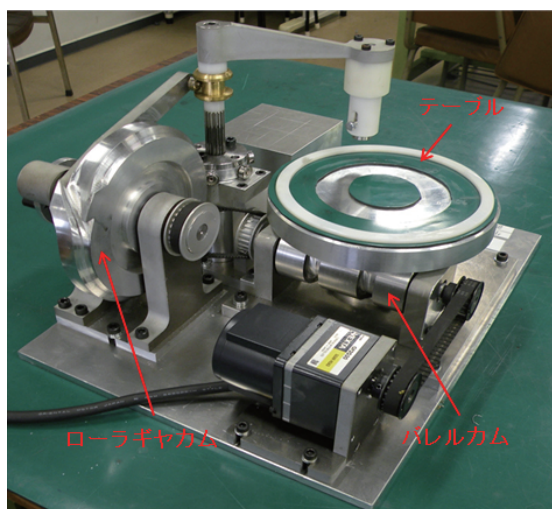


図2 立体カムを用いたPick & Place装置

テーブルの割り出しに用いられる機構である。本報告は紙面の関係でバレルカムによるインデックステーブルを紹介し、次回にローラギヤカムについて紹介する。

2. 立体カムを用いたPick & Place装置

図3に立体を用いたPick & Place装置の構造と動作を示す。間欠回転運動をするテーブルとワークを移動するハンド部で構成される。図中の駆動軸を回転すると本装置は稼動する。図のハンド部はローラギヤカムとカムフォロアで揺動運動し、かつ平面カムでリフト運動する。これらのカムを動作に合わせて配置すると、ハンド部は一連の動作を行うことができる。さらにテーブルはハンド部の動きに同調してバレルカムにより間欠回転運動し、テーブルの割り出しを行う。

ここで具体的な動き示すと、次のようになる

- ① 駆動軸が回転すると、ローラギヤカムと平面カムが連続回転を始める。
- ② 平面カムの回転でその従節のレバーが上昇し、ハンド部を上昇させる。
- ③ ローラギヤカムの溝でハンド部が正転し、ハンド部が回転テーブルに近づく。
- ④ ハンド部は平面カムの従節レバーにより降下する。
- ⑤ ハンド部と回転テーブルは一時停止する。
- ⑥ ハンド部は平面カムの従節レバーで上昇する。
- ⑦ ハンド部がローラギヤカムにより反転し、最初の位置に戻る。
- ⑧ ハンド部が降下する
- ⑨ ハンド部は一時停止する。

以上で1サイクルとなる。

なお、回転テーブルは④⑤⑥の区間で停止し、それ以外の時点で1サイクルごとに60度回転する。

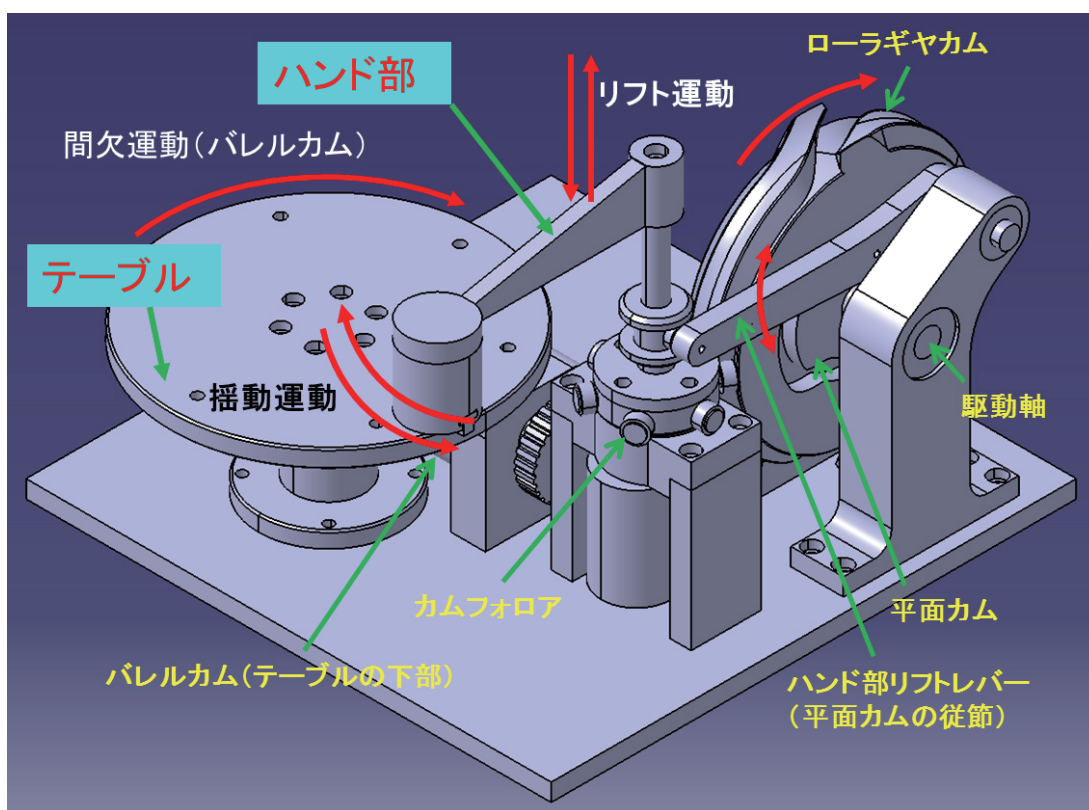


図3 Pick & Place装置の構造と動作

3. バレルカムによる間欠回転テーブルの構造と理論

パレルカムの構造を図4に示す。パレルカムは、回転テーブルの間欠円運動等に用いられる立体カムである。図中の駆動軸を回転すると、円筒面上に形成された溝で回転テーブルの下面に取り付けられたカムフォロアでテーブルが移動し、テーブルの停止や回転運動する。溝の形状により、間欠運動などいろいろなテーブル動きを作り出すことができる。図のパレルカムは、回転テーブルを60度ごとに割り出しをするものを示している。2つのカムフォロアでパレルカムを挟み込むためバックラッシも少ない。

パレлкаムの溝形状を求める原理図を、図5に示す。駆動軸の回転角 θ 、カムフォロアを取り付けたテーブルの回転角を ϕ とすると、カムフォロアの位置は次式で求められる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \cdot \sin\phi \\ R - R \cdot \cos\phi \\ d \\ \theta \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、カムフォロアのピッチ半径を R 、溝の深さ d とする。

そして、カムフォロアを切削工具とみなせば、溝形状を加工することができる。

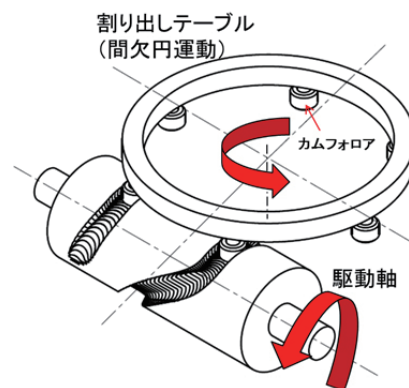


図4 バレルカムの構造

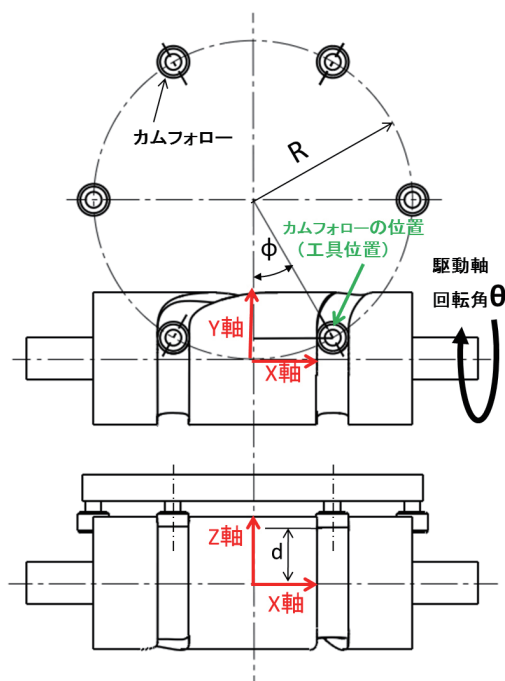


図5 バレルカムの原理図

4. バレルカムの製作

次に本バレルカムの製作手順を示す。

「設計と加工手順」

- ① 割り出しテーブルのタイミングチャートの作成
- ② 滑らかな間欠運動をするためカム曲線を選定
- 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 $[\phi = F(\theta)]$ を作成
- ④ カム動作曲線を式(1)に適用し、バレルカムの溝の中心位置の算出
- ⑤ 溝のNCプログラムの作成
- ⑥ 5軸マシニングセンタによりバレルカムの溝加工

初めに、テーブルの1回転中の回転と停止する角度を決定し、タイミングチャートを作成する。図6に今回製作に用いた割り出しテーブルのタイミングチャートを示す。駆動軸が0から90度まではテーブル $\phi = 30$ 度で停止し、駆動軸が90度から270度区間でテーブルは30度から-30度まで（合計60度）回転する。そして、再び駆動軸が270度から360度までは

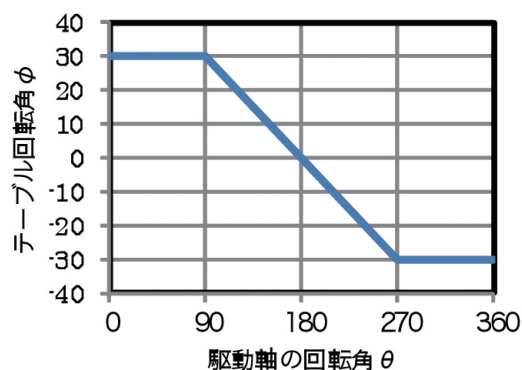


図6 回転テーブルのタイミングチャート

-30度でテーブルは停止する。タイミングチャートの曲線では、装置を滑らかに動かしたり停止することができないため、カム曲線を選定し、適用する。

カム曲線として多くの曲線が提案されているが³⁾、今回は、次の簡便なカム曲線として、次の単弦曲線を用いている。

$$S = 0.5 (1 - \cos \pi T) \quad 0 \leq T \leq 1, \quad 0 \leq S \leq 1$$

このカム曲線を適用し、図7のカム動作曲線を求めている。なお、タイミングチャートにカム曲線を適用して、実際の滑らかな曲線にしたものをカム動作曲線としている。カム動作曲線は、加工のことを考慮して、駆動軸回転角 $-180 < \theta < 540$ の区間でのテーブル回転角 ϕ を求めている。

次に、図7のカム動作曲線から駆動軸の回転角 θ とテーブルの回転角 ϕ の関係が求められたので、表計算ソフトを用いて式(1)から溝の位置を算出し、その座標値をもとに4軸で直線補間することでNCプログラムを作成し、バレルカムの加工を行った。その時の様子を図8に示す。

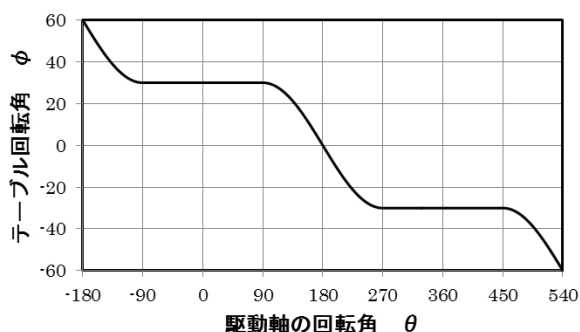


図7 カム動作曲線

加工機として5軸（直交3軸と回転2軸）マシニングセンタを使用して、バレルカムの溝加工のみを行っている。加工中は、直交XYZ軸（3軸）とC軸の合計4軸で加工しているので、加工中のビビリが発生する場合、図のような片持ちのチャックワークでなく、センター作業でワークを支持して製作するほうがよい。

なお、バレルカムの溝加工として、3次元CADでモデリングして、5軸のCAMシステムを用いて加工する方法も考えられる。しかし、3次元CADでバレルカムのモデリングは多少難しくなる。一般的に溝の中心曲線と溝の断面プロファイルが決まるとモデリングを描けるが、この場合、断面プロファイルの傾きが中心曲線の任意の点で異なるため、難しくなる。また、紙面上3次元のモデリングの図は、式(1)で計算された位置でカムフォロアに相当する形状をブーリア演算で除去することを、マクロプログラムで繰り返して作っている。

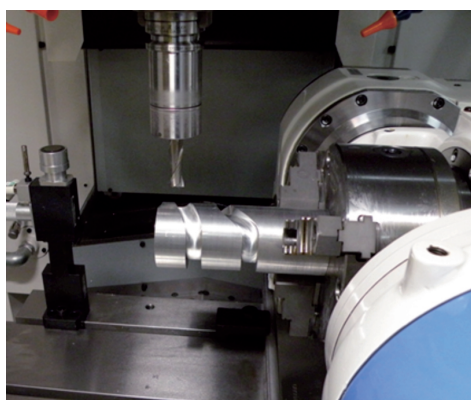


図8 5軸マシニングセンタによるバレルカムの溝加工の様子

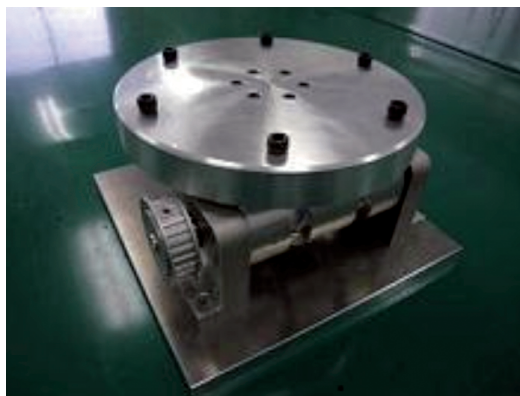


図9 バレルカムによるインデックステーブル

図9に、製作したバレルカムを使用したインデックステーブルを示す。タイミングベルトのホイールを回転すると、滑らかにテーブルは60度回転と停止を繰り返すことができた。

5. おわりに

今回、立体カムを使用したPick&Place装置のインデックステーブルの設計製作の事例について紹介した。本テーブルには、立体カムの1つであるバレルカムを適用し、5軸のマシニングセンタを使用して製作を行った。バレルカムの5軸のNCプログラムも簡単で加工も問題なく行うことができた。今後、5軸のマシニングセンタの導入課題として、バレルカムを使用されることを期待する。

最後に、立体カムのPick&Place装置の製作の協力と資料をいただ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) 職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター「平成12年度応用課程課題集 標準課題1」CD版, 生産システム技術系1
- 2) 職業能力開発総合大学校 能力開発研究センター「平成13年度応用課程課題集 標準課題1」CD版, 生産システム技術系1
- 3) 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