

# 「おもしろ機構」 工作室Ⅱ

## － 間欠機構 パラレルカムの製作 －

岐阜職業訓練支援センター 幾瀬 康史

### 1. はじめに

工場の組み立てや製造ラインでは、製品や部品をつかんだり、移動したり、置いたりする作業は、頻繁に行われる。それに伴って製品を一時的に止める必要があることが多く、間欠機構やストッパーなどが用いられることが多い。一般に機械的な間欠機構として、いろんな機構が考案されているが、平面的な形状をし、比較的製作が容易な機構として、ゼネバ機構と平行インデックスカム（以下、平行カムと呼ぶ）がある。

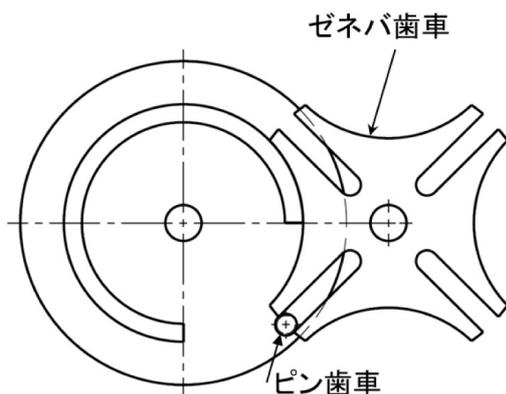


図1 ゼネバ機構

ゼネバ機構は、機構学や自動化機器の設計などの書籍で多く取り上げられ、その設計法は比較的簡単でよく知られている。図1にゼネバ機構の構造を示す。ゼネバ機構は、ゼネバ歯車とピン歯車で構成される。ゼネバ歯車は、一般的に等角度に配置された

$n$ 本の放射線状の溝で構成され、その溝でピン歯車のピンとかみ合う。ピン歯車のピンは、1本または2本取り付けられていることが一般的である。ゼネバ機構はピン歯車を等速で一方向に回転すると、ゼネバ歯車に滑らかに間欠運動が発生する。しかし、この機構はバックラッシがあるので、正確な位置決めが難しい。さらに、途中で停止したり逆方向に回したりすると、干渉して止まる場合もある。

一方、平行カムは、バックラッシが少なく、割り出しが確実なところから自動化機器の回転テーブルやコンベアなどの割り出しや位置決めなどに用いられる。平行カムは2枚の平面カムを用いて、等速回転運動を間欠運動に変換するカムである。このカムは、加工が容易なことから、生産コスト、精度面からも優れている。しかし、カム形状を設計することが難しく、平行カムは、ゼネバ機構に比べ一般的ではなく設計事例も少ない。しかし、最近CAD/CAMシステムの進歩で平行カムの形状も容易に設計できるようになってきている。

そこで、「間欠機構平行カムの製作」と題して、その製作事例についてご紹介する。事例では、数学的な方法と3D-CAD/CAMを用いた方法について示す。

### 2. 平行カムの構造

図2に駆動軸1回転で従動軸が180度の間欠回転運動する平行カムを示す。駆動軸側には、間欠運動が発生する2枚の同形状の平面カムが平行に手

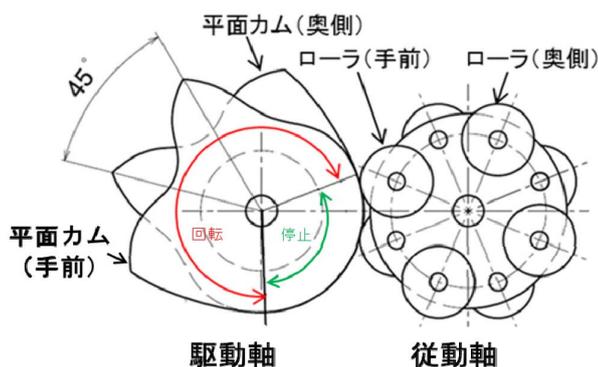


図2 パラレルカム

前側と奥側に配置される。この場合、駆動軸の平面カムの歯数 $Z$ は2枚で、これらの歯によって従属軸は回転する。従属軸の回転ローラ $N$ は、駆動軸の一回転当たりの回転角 $\phi$ と駆動軸の歯数 $Z$ によって応じて決まる。図では従属軸の回転角 $\phi=180^\circ$ 、駆動軸の歯数 $Z=2$ とすると、ローラ数 $N$ は、 $N=360 \cdot Z / \phi$ で与えられる。したがって、回転ローラは、片側4個で、合計8個となる。また、2枚の平面カムは、 $360 / (N \cdot 2)$ つまり45度ずらし、背中合わせに配置される。同様に従属軸側のローラの位置も手前側と奥側で互い違いに配置されている。この配置より、従属軸は、バックラッシュがなく滑らかな回転と静止を生む。

### 3. 平面カムの設計

パラレルカムの設計は、平面カムの設計がポイントとなる。その設計では、はじめにタイミング線図からカムの動作曲線を求め、その曲線をもとに平面カム形状を決定する。

平面カムの形状を簡単に算出する方法として、ここでは、2つの方法を示す。1つは、理論計算とCADのオフセット機能を利用して求める方法、もう1つは、CAD上での創成法により求める方法である。

#### 3.1 理論計算とCADを利用する方法

この方法は、初めに従属軸のローラの径を0として平面カムの理論形状を算出し、その後、その形状

をCADデータに変換して、CAD上で、ローラ半径分オフセットして形状を求めている。

平面カムの形状は、回転ローラ的位置によって決まってくるので、図3に従属軸に取り付けられたローラの中心位置を位置ベクトルで表示したものを示す。駆動軸を原点とするとローラ的位置ベクトル $R$ は次式で示される。

$$R = D + C = \begin{bmatrix} r \cos \tau - L \\ r \sin \tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$L$  : 軸間距離を表すベクトル

$C$  : ローラの半径を表すベクトル

$\tau$  : 従属軸の回転角  $\theta$  : 駆動軸の回転角

従属歯車の回転角 $\tau$ に対応して駆動歯車の回転 $\theta$ も変化しているため、駆動歯車の形状は駆動軸の回転角 $\theta$ に合わせて、ベクトル $R$ を回転座標変換する必要がある。したがって、平面カムの形状は次式で与えられる。

$$R_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \cos \tau - L \\ r \sin \tau \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

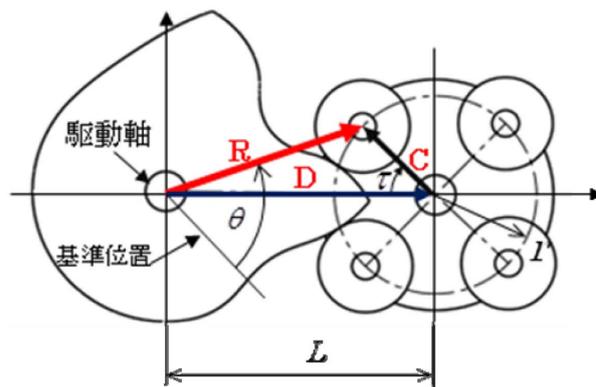


図3 パラレルカムのベクトル図

#### 3.2 創成法による方法

歯車製作の創成法と同様にCAD上で駆動軸の平面カムを製作するブランクと従属軸のローラを切削工具として、バーチャル空間上で回転しながら干渉部分をブーリアン演算により繰り返し除去すると、

平面カムが包絡線として加工される。ただし、両軸の回転角は、間欠運動から算出される動作曲線（後述）によって決まる。

#### 4. パラレルカムの平面カム製作手順

平面カムの製作手順は次のように示される。

- ① 間欠機構のタイミング線図の作成
- ② カム曲線の選定
- ③ 動作曲線の作成
- ④ 平面カムの形状の算出または創成
- ⑤ 平面カムのNCデータ作成
- ⑥ 平面カムの素材と取り付け穴の加工
- ⑦ NC工作機械による加工

##### 4.1 動作曲線の算出

①タイミング線図は、従属軸の1回転中の回転と静止する区間を線図で表したものである。一般に急激に回転が止まったり、動いたりすると、大きな衝撃力を発生し、振動などの問題を引き起こす。そこで、従動軸をなめらかに静動するためにカム曲線が適用され徐々に回転が止まり、動きだすように設定される。具体的な例として、図4にタイミング線図にカム曲線を適用し、駆動軸の動作曲線を作成したものを示す。タイミング線図は、連続して回転する駆動軸に対して従属軸の間欠回転、つまり従属軸の停止と稼働を直線で表したものである。図4では、タイミング線図は図中c点、a点、b点、d点を直線で結んだものに相当する。ab区間は、従属軸が

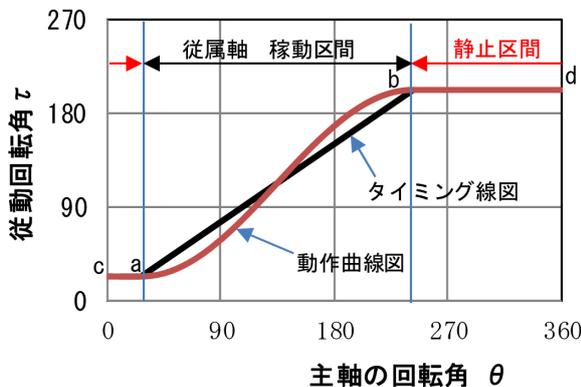


図4 タイミング線図と動作曲線

回転している区間になる。

A点では急激に従動軸は動き始め、b点では急に停止するため、なめらかに静動するためにカム曲線を適用し動作曲線を作成している。

カム曲線は、カムの設計書<sup>1)</sup>などにたくさんの曲線が提案されているので適切なものを選定する。カム曲線 $f(x)$ は、増加関数でタイミング線図に適用が容易にできるように

$$0 \leq x \leq 1 \quad 0 \leq y \leq 1 \quad y = f(x)$$

で与えられる。したがって、動作曲線は、次式で示される。

従動軸の稼働区間は

$$\text{駆動軸} \quad \theta_0 \leq \theta \leq (\lambda_\theta + \theta_0) \quad \text{で}$$

$$\text{従動軸} \quad \tau_0 \leq \tau \leq (\lambda_\tau + \tau_0) \quad \text{が動くとする}$$

$$\text{動作曲線は} \quad \tau = \lambda_\tau \cdot f\left(\frac{\theta - \theta_0}{\lambda_\theta}\right) + \tau_0$$

で示される。

図の作動作曲線は、(3)式のカム曲線を適用している。

$$y = 0.5(1 - \cos \pi \cdot x) \tag{3}$$

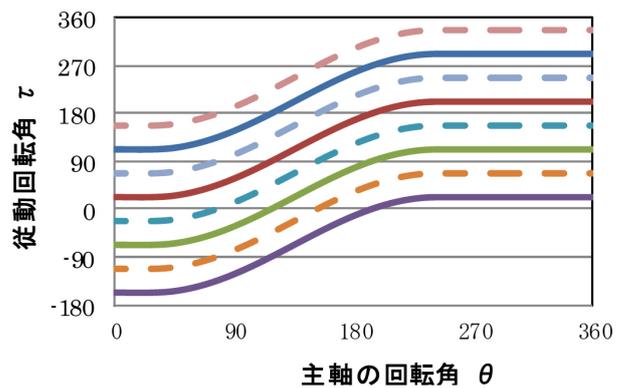


図5 平面カムの動作曲線

式から動作曲線を求めると次のようになる。

$$\text{①} \quad 0 \leq \theta \leq 27 \quad \tau = 22.5 \quad \text{一定}$$

$$\text{②} \quad 27 \leq \theta \leq (216+27)$$

$$\tau = 180 \cdot \left\{ 0.5 \left( 1 - \cos \pi \cdot \frac{\theta - 27}{216} \right) \right\} + 22.5$$

$$\text{③} \quad 43 \leq \theta \leq 360 \quad \tau = 202.5 \quad \text{一定}$$

図1のように従属軸のローラが8個と取り付く場合には図5のように動作曲線を8本描がける。実線は手前側のローラ，破線は奥側のローラの回転を示す。

#### 4.2 論計算とCADを用いた平面カムの製作

平面カムの動作曲線から駆動軸の回転角 $\theta$ と従動軸の回転角 $\tau$ の関係が得られたので、 $\theta$ と $\tau$ を(2)式に代入して、駆動軸回転角 $\theta$ での半径Rが算出される。その結果をもとに、駆動側のカム形状を描くと図6のように描くことができる。カム形状が、図の中心部の形状となる。しかし、この形状は、ローラ径を0として描いたものであるため、ローラ径内側のオフセットしたものが実際のカム形状となる。

オフセットは、図6の形状データをCADデータとして取り込みCAD上でオフセットする簡単カム形状を求めることができる。図7は、回転ローラ半径分内側にオフセットして作成して製作したカム形

状である。この輪郭形状をもとにCAMを用いて、NCデータ作成し、その後NCワイヤー放電加工機やマシニングセンターで作成することができる。

#### 4.3 創成法による平面カムの製作

図5の動作曲線から駆動軸の回転角 $\theta$ 対応する従属軸の回転角 $\tau$ が求まるので、図8のようにカム製作のブランクとカッターに相当する回転ローラをCADで作図して、カムブランクを $\theta$ とカッターを $\tau$ 回転しながら、CAD上で互いに干渉する部分をブーリアン演算で除去を繰り返すと、その包絡線で平面カムを作成することができる。図9は、カッター動きが見やすいように図8の創成法でカムのブランクを固定し、回転ローラのみ回転と移動するように座標変換したものである。なお、今回平面形状を求めるブーリアン演算は720回程度繰り返して行っている。手動操作によりCAD上で演算すると、非常に手間なので、カッターの図形の移動

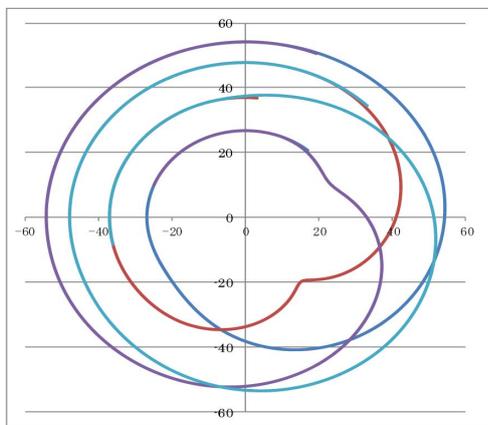


図6 平面カム形状 (ローラ半径 $r=0$ )

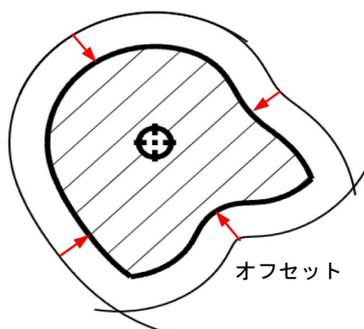


図7 補正後の平面カム形状

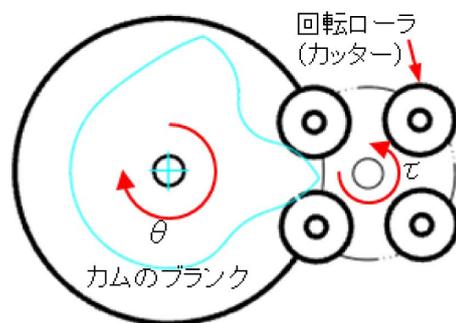


図8 平面カムの創成法

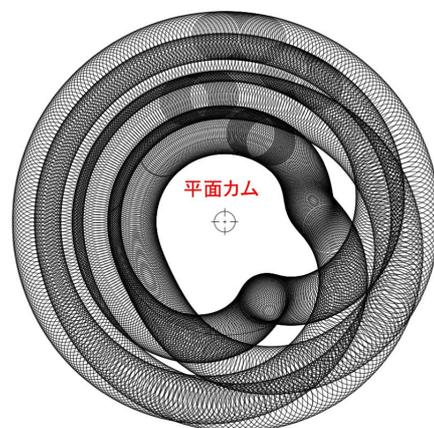


図9 CAD上での創成法による平面カムの製作

とブーリアン演算を1つのサブプログラム化して、マクロを使って行っている。サブプログラムの引数としてカッターの回転移動 $\theta$ と $\tau$ をとっている。サブプログラムを作る際に、手順マクロを実行し、発生するマクロプログラムを参考に作ると簡単にできる。

平面カムの製作は、CAD上で創成された平面カム形状をもとにCAMを用いてNCデータ化しNC工作機械で加工する。

## 5. おわりに

今回提案した平行カムの製作方法を検証するため、図10に前項で示した平面カムを用いて平行カムを製作したものを示す。その平行カムの設計仕様は次のものである。

[設計仕様]

駆動軸1回転当たり従属軸の回転：180°

従属軸の停止角度：142度，軸間距離：40mm

回転ローラ8.5mm

図11に駆動軸側の平面カムと従属軸側の回転ローラの構造を示す。回転ローラ8個で、簡易的に深溝玉軸受を使用して製作している。組立後、駆動軸を回転するとローラカム滑らかに回転し、間欠運動をすることが確かめられた。しかし、駆動軸の平面カムには、アンバランスがあるので、高速回転をする場合、軸のバランスをとることが必要である。また、図12にベルトコンベアに適用の1例を示す。

今後、機構として面白い平行カムが各種の訓練実習に取り入れられ、受講生の訓練の動機づけやものづくりの面白さの高揚になることを期待する。

### <参考文献>

- (1) 例えば 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

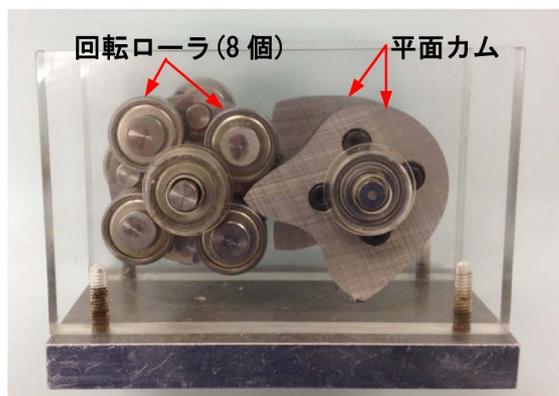
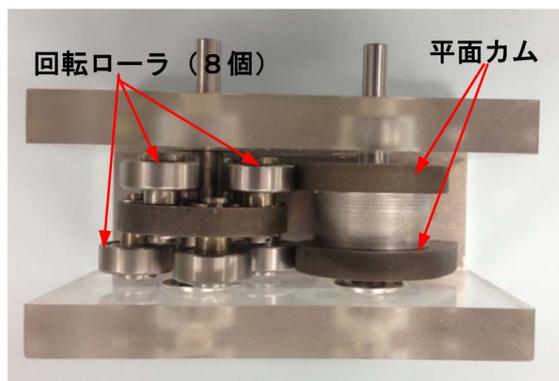


図10 平行カム製作事例

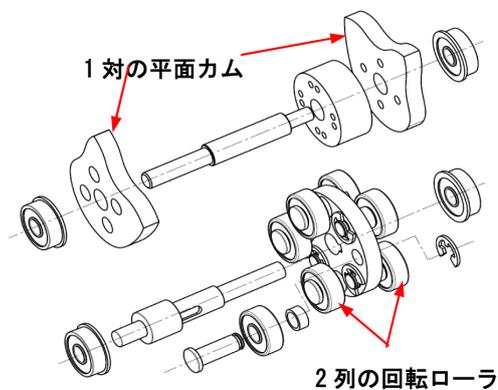


図11 試作した平行カムの構造

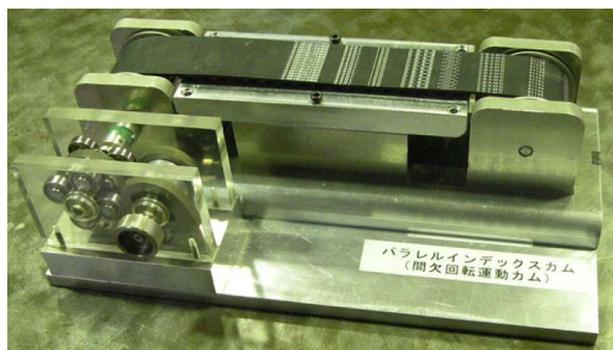


図12 平行カムを応用したベルトコンベア