

三角カムによる早戻り揺動機構について

秋 田 晃

On Oscillated Quick Return Motion Mechanism by Triangular Cam

Akira AKITA

In the automatic machine and various machinery, it is convenient to use positive cam having no springs, and is important to save return time by using of quick return motion mechanism.

This paper shows some consideration on the results of applying triangular cam to oscillated quick return motion mechanism.

1. ま え が き

自動機械はじめ各種機械類には種々のカムが使用されるが、バネの使用を必要としない確動カムの使用が便利であり、又早戻り運動機構を採用して戻り行程の所要時間を短くする事が重要である。ピック・アンド・プレイス等の自動搬送機構への応用も含めた「早戻り揺動機構」に三角カムを応用した場合の結果についての考察を述べる。

この論文において使用する主な記号は次の通りである。

θ : カムの回転角

ω : カムの角速度

a : 三角カムを形成する一辺の長さ

r : 三角カムの隅部の丸味半径

l : カムの回転中心と従動節の揺動中心との間の距離

b : 従動節の溝部の幅

ϕ : 従動節の揺動角

2. 理 論

2.1 従動節の運動

カムの輪郭を図-1及び図-2に示す如く、1~6の6部分に分ける。即ち、半径 $a+r$ の $\widehat{1\cdot2}$, $\widehat{3\cdot4}$, $\widehat{5\cdot6}$ 及び半径 r の $\widehat{2\cdot3}$, $\widehat{4\cdot5}$, $\widehat{6\cdot1}$ とする。

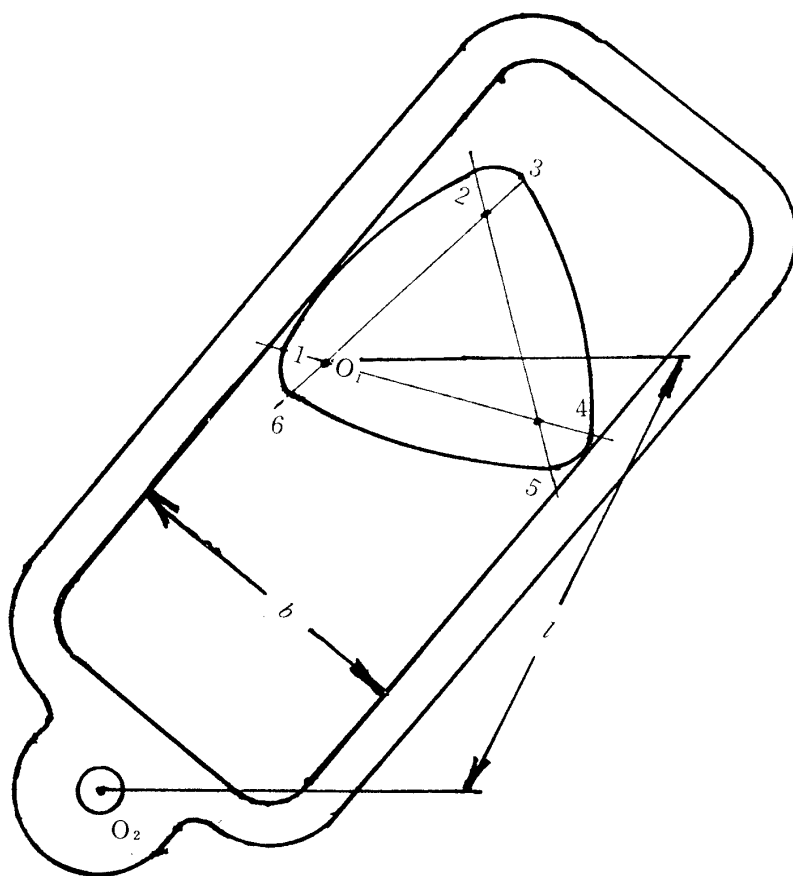


図-1

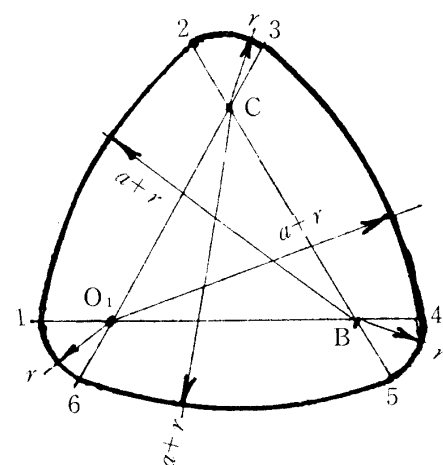


図-2

- 1 カムの1・2が従動節の左側と接触する場合 (図-3)

$$\begin{aligned}\overline{O_1M} &= \frac{b}{2} - (\overline{KB} - \overline{JB}) \\ &= \frac{a-2r}{2} - \{(a+r) - a \cos \theta\} \\ &= a \cos \theta - \frac{a}{2}\end{aligned}$$

$$\therefore \sin \phi = \left(a \cos \theta - \frac{a}{2} \right) / l, \quad \phi = \sin^{-1} \left\{ \left(a \cos \theta - \frac{a}{2} \right) / l \right\}$$

従って、従動節の角速度は次式で示される。

$$\frac{d\phi}{dt} = \left\{ -a \sin \theta / \sqrt{l^2 - \left(a \cos \theta - \frac{a}{2} \right)^2} \right\} \cdot \omega$$

- (2) カムの2・3が従動節の左側と接触する場合 (図-4)

$$\overline{O_1M} = \overline{O_1H} - \frac{b}{2} = \left\{ r + a \cos \left(\frac{2}{3} \pi - \theta \right) \right\} - \frac{a+2r}{2}$$

$$\therefore \sin \phi = \left\{ a \cos \left(\frac{2}{3} \pi - \theta \right) - \frac{a}{2} \right\} / l, \quad \phi = \sin^{-1} \left[\left\{ a \cos \left(\frac{2}{3} \pi - \theta \right) - \frac{a}{2} \right\} / l \right]$$

従って、従動節の角速度は

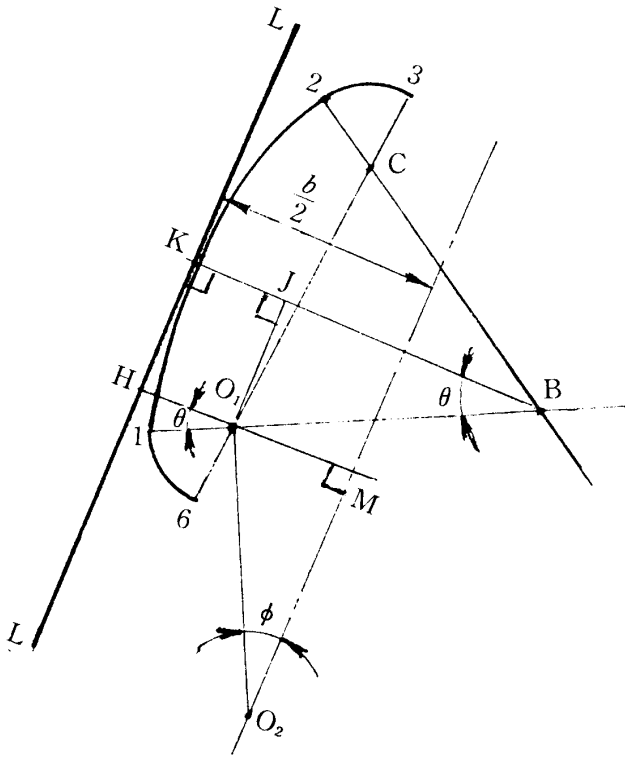


図-3

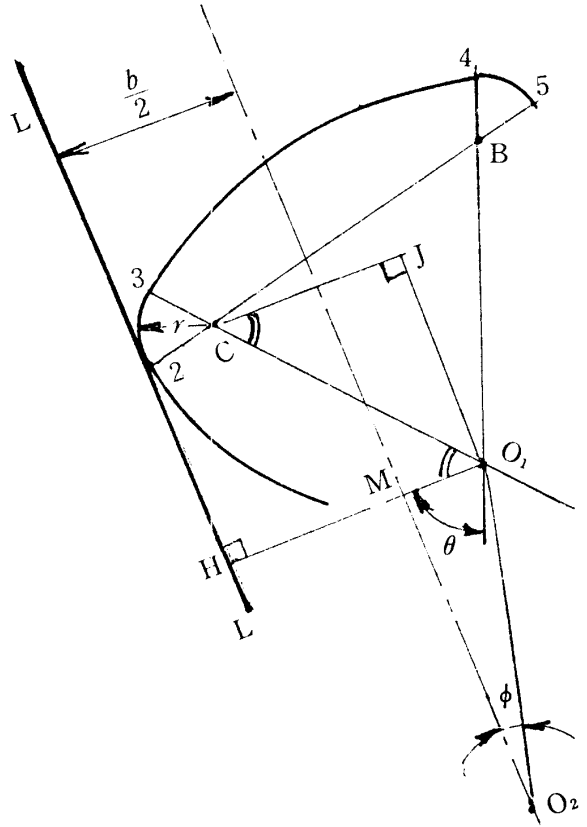


図-4

$$\frac{d\phi}{dt} = \left[a \sin\left(\frac{2}{3}\pi - \theta\right) / \sqrt{l^2 - \left\{ a \cos\left(\frac{2}{3}\pi - \theta\right) - \frac{a}{2} \right\}^2} \right] \cdot \omega$$

(3) カムの3・4が従動節の左側と接触する場合 (図-5)

$$\overline{O_1M} = a + r - \frac{a+2r}{2} = \frac{a}{2}$$

$$\therefore \sin \phi = \frac{a}{2l}, \text{ 従って } \frac{d\phi}{dt} = 0$$

即ち、カムの回転角が $\pi/3$ の間、従動節は最左方に傾いた位置に静止する。

(4) カムの4・5が従動節の左側と接触する場合 (図-6)

$$\begin{aligned} \overline{O_1M} &= \overline{O_1H} - \frac{b}{2} = \{a \cos(\theta - \pi) + r\} - \frac{a+2r}{2} \\ &= a \cos(\theta - \pi) - \frac{b}{2} = -\left(a \cos \theta + \frac{a}{2}\right) \end{aligned}$$

$$\therefore \sin \phi = -\left(a \cos \theta + \frac{a}{2}\right)/l, \quad \phi = \sin^{-1}\left\{-\left(a \cos \theta + \frac{a}{2}\right)/l\right\}$$

従って、従動節の角速度は

$$\frac{d\phi}{dt} = \left\{ a \sin \theta / \sqrt{l^2 - \left(a \cos \theta + \frac{a}{2}\right)^2} \right\} \cdot \omega$$

(5) カムの5・6が従動節の左側と接触する場合 (図-7)

$$\overline{O_1M} = \frac{b}{2} - \left\{ (a+r) - a \cos\left(2\pi - \theta - \frac{\pi}{3}\right) \right\} = a \cos\left(\frac{5}{3}\pi - \theta\right) - \frac{a}{2}$$

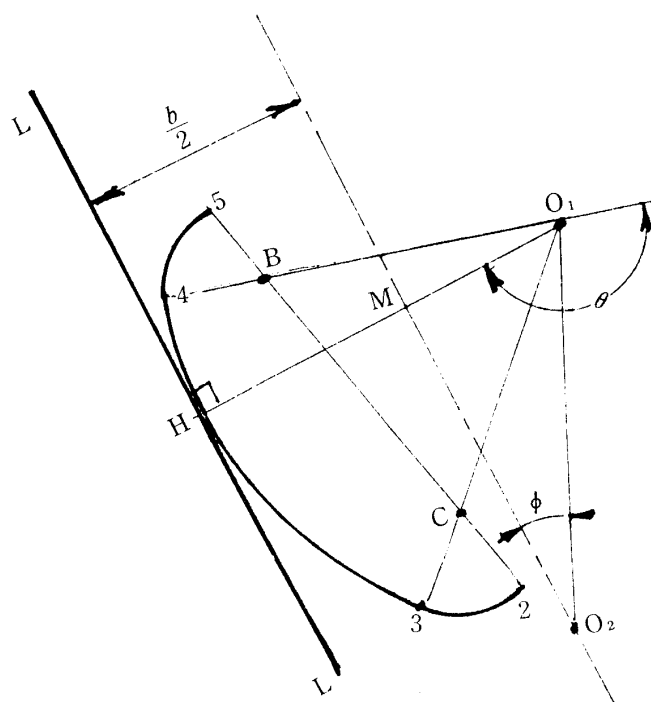


図-5

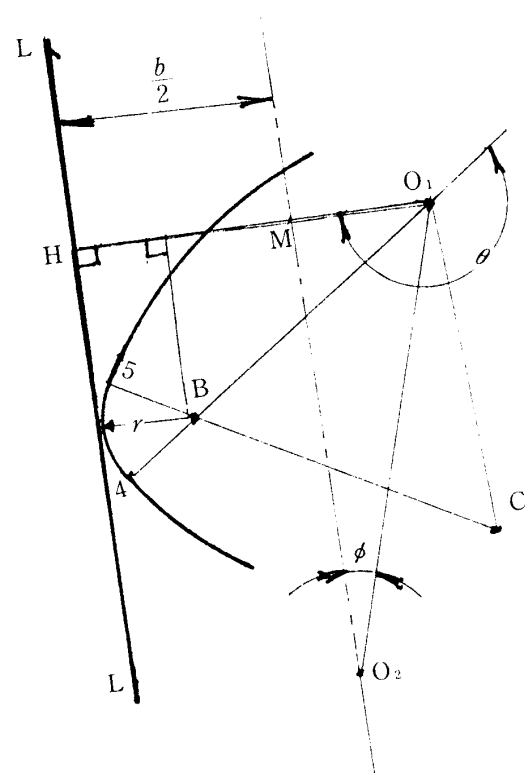


図-6

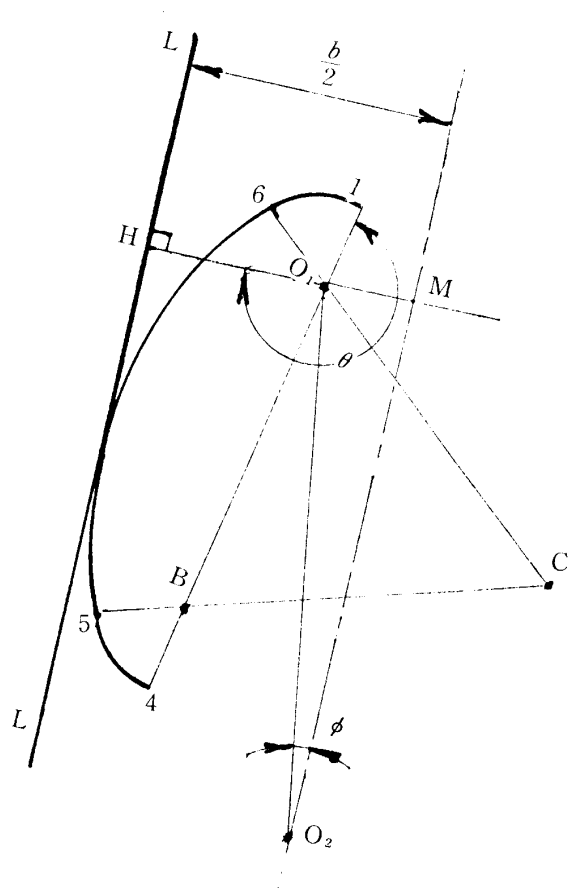


図-7

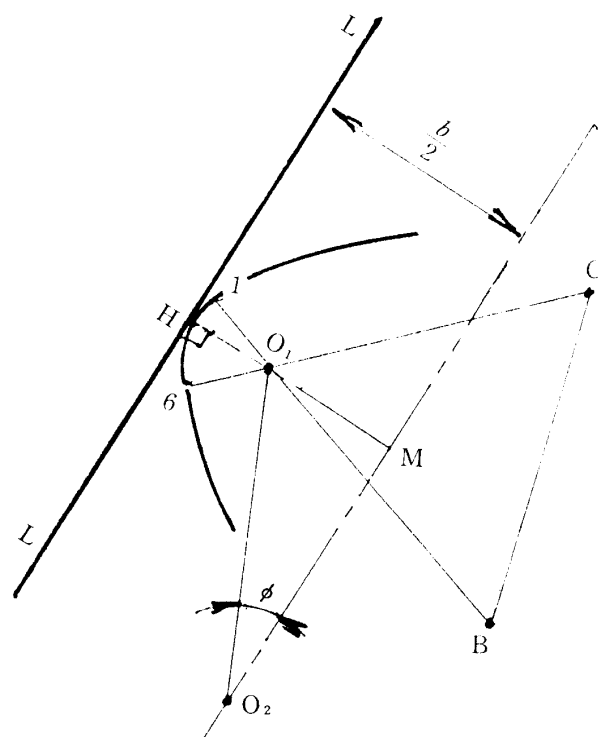


図-8

$$\therefore \sin \phi = \left\{ a \cos \left(\frac{5}{3} \pi - \theta \right) - \frac{a}{2} \right\} / l, \quad \phi = \sin^{-1} \left[\left\{ a \cos \left(\frac{5}{3} \pi - \theta \right) - \frac{a}{2} \right\} / l \right]$$

従って、従動節の角速度は

$$\frac{d\phi}{dt} = \left[a \sin \left(\frac{5}{3} \pi - \theta \right) / \sqrt{l^2 - \left\{ a \cos \left(\frac{5}{3} \pi - \theta \right) - \frac{a}{2} \right\}^2} \right] \cdot \omega$$

(6) カムの $\widehat{6 \cdot 1}$ が従動節の左側と接触する場合 (図-8)

$$\sin \phi = \left(\frac{b}{2} - r \right) / l = \frac{a}{2l}, \quad \frac{d\phi}{dt} = 0$$

カムの回転角が $\pi/3$ の間、従動節は最右方の位置に静止する。

2.2 従動節の早戻り比

カムの $\widehat{1 \cdot 2}$, 更に $\widehat{2 \cdot 3}$ が従動節の左側と接触する場合, 即ち前記の 2.1 における(1)及び(2)の場合に, 従動節が最右方の位置より左方に揺動し, 又カムの $\widehat{4 \cdot 5}$, 更に $\widehat{5 \cdot 6}$ が従動節の左側と接触する場合, 即ち 2.1 における(4)及び(5)の場合に, 従動節が最左方の位置より右方に揺動する。

又, 往行程に対するカムの回転角 α は

$$\alpha = \frac{5}{3} \pi - 2 \cos^{-1} \frac{a}{2l}$$

戻り行程に対するカムの回転角 β は

$$\beta = 2\pi - \left(\frac{\pi}{3} \times 2 + \alpha \right) = 2 \cos^{-1} \frac{a}{2l} - \frac{\pi}{3}$$

従って, 往行程に対する戻り行程の時間比は

$$i_1 = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\cos^{-1}(a/2l) - \pi/6}{5\pi/6 - \cos^{-1}(a/2l)}$$

となり, a と l との比によって決まる。

2.3 従動節の速度変換

従動節の揺動運動の角速度を同軸上に取付けた平歯車とこれにかみ合うラックによって, 直線速度に変換する。歯車のモジュールを M , 歯数を Z とすれば, 従動節の揺動角 ϕ に対するラックの変位量 s 及びその速度は

$$s = \frac{1}{2} Z \cdot M \cdot \phi, \quad \frac{ds}{dt} = \frac{1}{2} Z \cdot M \frac{d\phi}{dt}, \quad \frac{d\phi}{dt} = \frac{2}{Z \cdot M} \cdot \frac{ds}{dt}$$

3. 実験装置等

3.1 実験装置

(i) カム及び従動節

実験に使用したカムは, No. 1~No. 8 の 8 個で, No. 1~No. 5 は一辺の長さ a がそれぞれ, 40 mm, 36 mm, 32 mm, 28 mm, 24 mm で, 円弧の半径 r がそれぞれ, 10 mm, 12 mm, 14 mm, 16 mm, 18 mm (従って, $a+r$ は, 50, 48, 46, 44, 42 mm) である。No. 6~8 の 3 個は, 二等辺三角形が母体で辺の長さが, (28, 28, 40 mm), (34, 34, 28 mm) で, 丸味半径 r に相当する値はそれぞれ (10, 22 mm) 及び (10, 16 mm) である。

従動節の溝の内部幅 b が 60 mm, 又カムの回転中心と従動節の揺動中心との距離 l は 70 mm である。

(ii) 駆動装置

シンボ工業(株)製のコロネット減速機付電動機(AC 200 V, 0.2 kW)の回転を V ベルト車により 1/3 に減速して低速回転。

(iii) 計測器類

平歯車(モジュール 1.5, 歯数 90 枚)とラックにより回転運動(角速度)を直線運動(線速度)に変換。又, 新光電子(株)製変位センサー(直流差動変圧器)及び同専用アンプ, C-R 回路を使用して, 変位及び速度を検出し, 更に, グラフテック(株)製の記録計(サーボコーダ)を使用して, 変位線図及び速度線図を描かせた。

3.2 実験結果

前記 3.1 (i) のカムを回転させて, 従動節の揺動角変位及び揺動角速度の変化状況を求めた結果は, 図-9 及び図-10 に示す通りである。又, この結果から, 早戻り状況を調べると, 各カムの早戻り比の値は大体次の様になる。

$$i_1 \doteq 0.58 \sim 0.72$$

で, カム No. 1 が最も早戻り効果が大である。

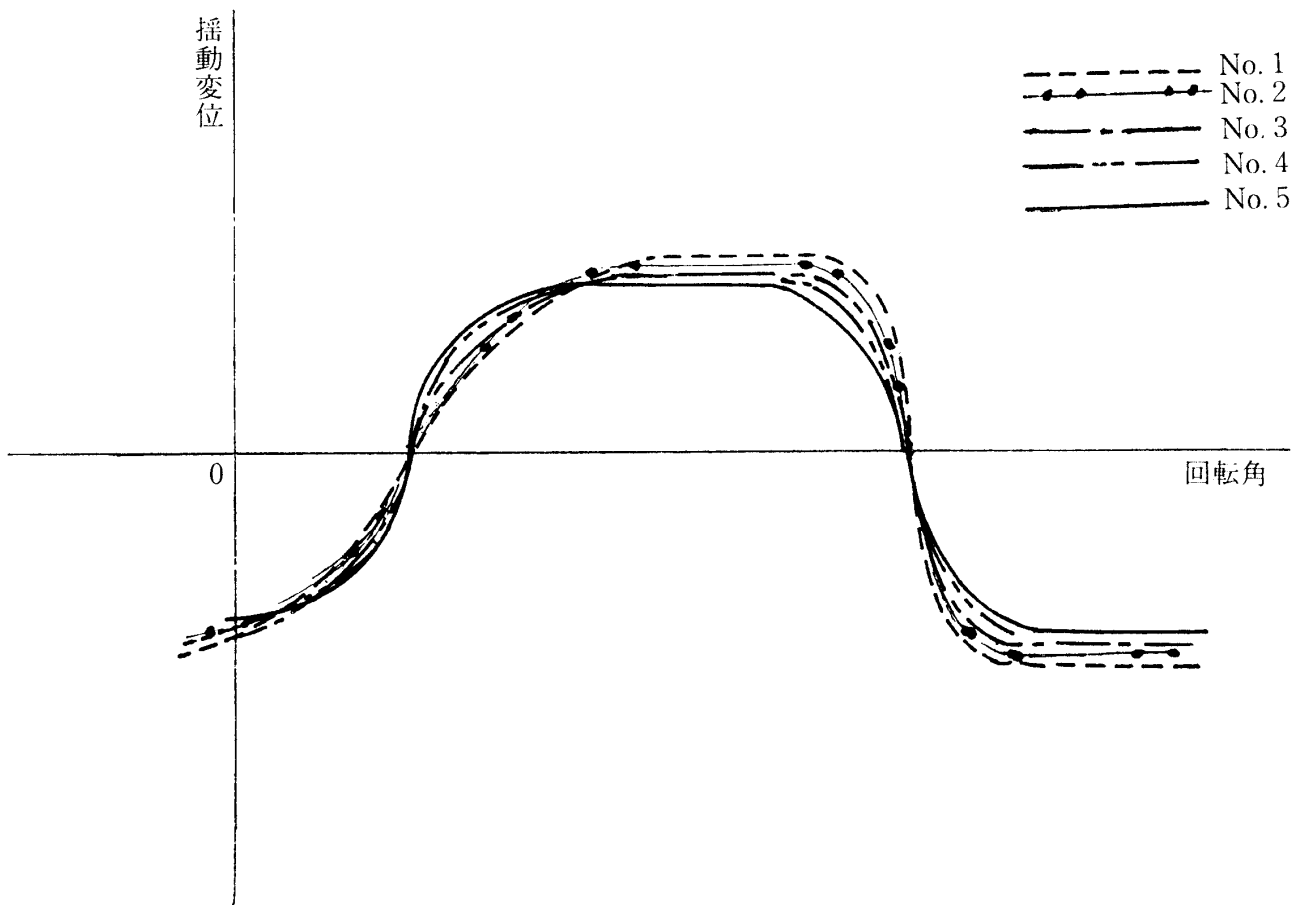


図-9

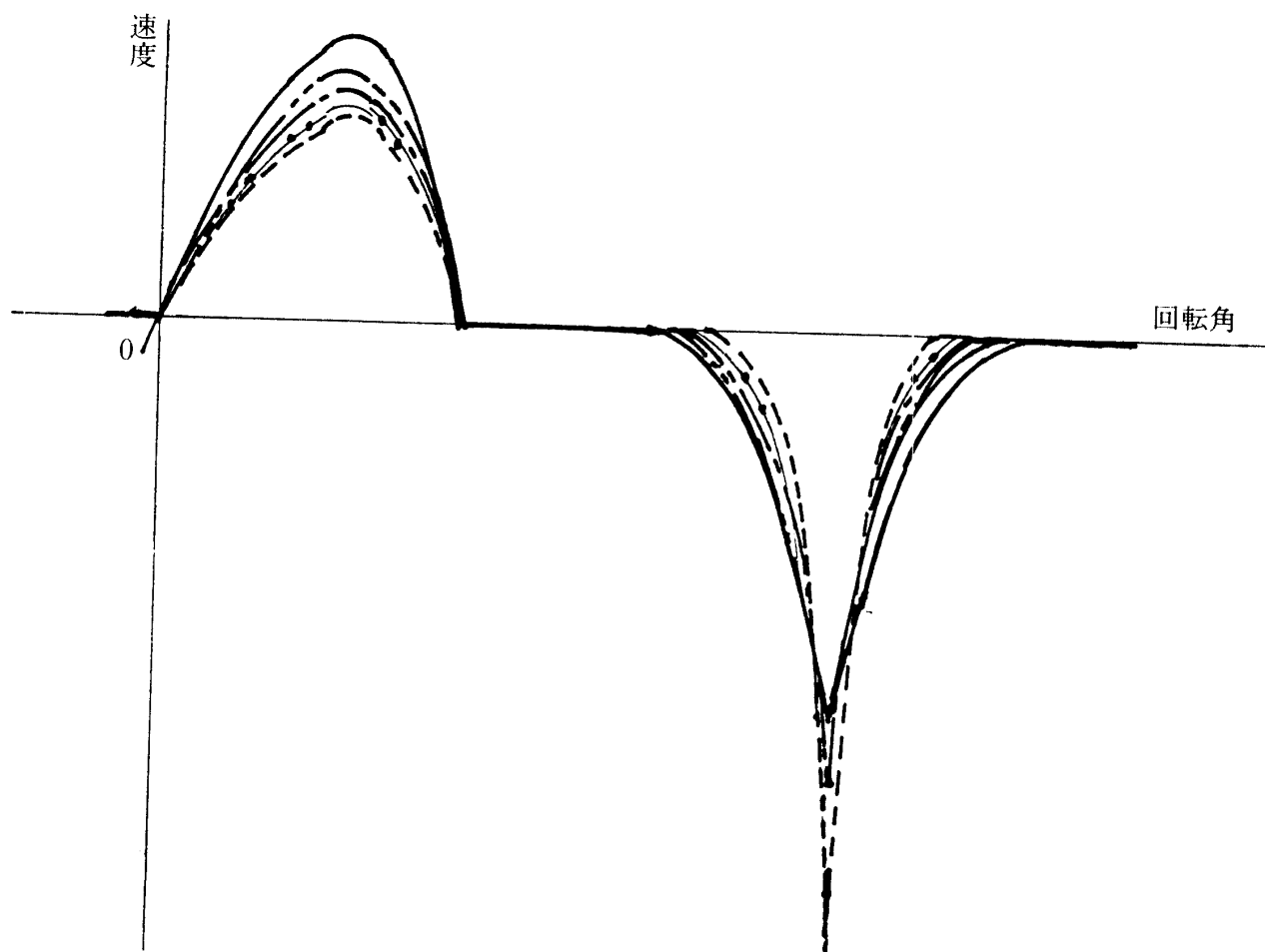


図-10

4. 考 察

4.1 揺動角変位について

従動節が最右方にあるのは、前記2.1の(6)の場合で、図-8の通り。カムの回転角 θ では $-\pi/3 \leq \theta \leq 0$, $5\pi/3 \leq \theta \leq 2\pi$ の場合で、図-9の変位線図では、横軸より下方にある水平部分である。又2.1の(1)と(2)が従動節が右より左方に揺動する場合で、図-3, 図-4に示す。又カムの回転角では θ が $0 \leq \theta \leq 2\pi/3$ の場合で、図-9の変位線図では曲線が右上りの部分である。

従動節が最左方にあるのは、2.1の(3)及び図-5に示し、カムの回転角が $2\pi/3 \leq \theta \leq \pi$ の場合で図-9の横軸より上方にある水平部分である。又2.1の(4)と(5)が従動節が最右方へ左方より揺動する場合で、図-6及び図-7に示し、 $\pi \leq \theta \leq 5\pi/3$ の時であり、又図-9の変位線図では曲線が右下りの部分である。同図より明らかな様に、No. 1のカムが最も揺動角変位が大であり、早戻り運動が顕著に見られ、効果的である。又No. 5のカムが早戻り効果が最も少ない。又No. 6~8のカムは早戻り効果に反し、停止期間が増す等、欠点が多いため図示を省略した。

4.2 揺動角速度について

従動節が最右方より左方へ揺動する場合、即ち、図-10の速度線図に於て、横軸より上方にある曲線が往き（作業行程）を示す速度であり、又従動節が最左方より右方へ揺動する場合、即ち図-10の横軸より下方にある曲線が戻り（不作業行程）を示す速度である。同図より明らかな如く、戻り速度が大で、早戻り運動である事が明瞭であり、特に No.1 のカムが最も早戻り速度が大で、早戻り運動の効果が大きい。又 No.5 のカムが早戻り効果が最も少ない。

4.3 早戻り効果について

(i) 早戻り効果を示す、往行程に対する戻り行程の時間比は、2.2に示した i_1 の式で求められ、各カムの i_1 の値を求めると

カム No.1 …… $i_1 = 0.56655$ ($i_1 = 0.58$)

カム No.2 …… $i_1 = 0.60213$ ($i_1 = 0.61$)

カム No.3 …… $i_1 = 0.63905$ ($i_1 = 0.65$)

カム No.4 …… $i_1 = 0.67746$ ($i_1 = 0.69$)

カム No.5 …… $i_1 = 0.71747$ ($i_1 = 0.72$)

但し、() 内の値は、実験結果より求めたものである。

即ち、No.1 のカムの場合が、早戻り効果が最も大である。又、理論式より求めた値と実験結果より求めた値とは、ほぼ一致している事がわかる。

(ii) 中心距離の影響を考えると、カムの回転中心と従動節の揺動中心との距離 l が大である程、変位が小となり、又戻り速度も小となる。反対に、 l が小である程、従動節の揺動角変位が大となり、戻り速度も大となるので、 l を可能な限り小さくする事が早戻り運動の効果を高める事となる。

(iii) 一辺の長さ a の影響は、 a が大である程、従動節の揺動角変位大で、戻り速度も大となり、早戻り運動が効果的となる。

(iv) 上記より明らかな如く、 a/l の値が大である程、早戻り運動が顕著となるが、加速度が大となる箇所がある為、運動のスムーズさを減ずる結果ともなる。

4.4 三角カムと円板カムとの比較

円板カムは、三角カムに比し、製作の点で有利ではあるが、停止期間がない為、自動搬送の場合の、品物を掴んだり、離したりする時間が得られない欠点がある。

円板カムを使用の場合、カムの偏心量を e とすれば、往行程に対する戻り行程の時間比 i_2 は

$$i_2 = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\cos^{-1}(e/l)}{\pi - \cos^{-1}(e/l)}$$

で表わされる。前記2.2における三角カムの場合の α 及び β に、休止期間のカム回転角 $\pi/3$ を加え、又 $a = 2e$ とおけば2.2の i_1 の式は

$$i_1 = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\cos^{-1}(e/l)}{\pi - \cos^{-1}(e/l)}$$

となり、 $i_1 = i_2$ となる。即ち、三角カムの場合に停止期間を含めれば、円板カム使用時と同じ早戻り比となる。又、その値は、円板カムの偏心率 e （又は、 $a/2$ ）と l との比によって決定される訳である。

4.5 製作上の問題点について

実験に使用したカム及び従動節は、共に、黄銅板、アクリル樹脂板等を使用し、NC フライス盤により加工、製作したが、カム輪郭及び従動節の接触面の仕上状態と、カム・従動節間のクリアランスに充分留意する必要がある。クリアランスは、回転に支障ない範囲で、可能な限り小さくする事が、精度を高める上で、重要である。

5. あとがき

早戻り運動を行わせる事は、能率的に作業を進める上で重要であり、又三角カムを使用する事は、構造及び装置が簡単のために、有利であると考えられる。又、従動節に停止期間がある事は、品物を掴む・離す等の時間に充当する事が出来、又接触面間の摩擦の為に高速運転は無理としても、自動搬送装置（高速化の傾向と言っても、大した速度ではなく、普通速度概念では低速に属する）に充分使用が可能である。

又、早戻り比を変更の必要時には、中心距離を変更するか、又は、カム・従動節を取替えれば、簡単に処置する事が出来る。

従って、自動搬送装置、その他各種の自動機械に適用出来るものとする。

本研究に際し、実験装置等の製作面で福井工大の正津、木下両氏に御協力賜った事を感謝します。又、卒業研究の際に指導、調査した事項の一部を含む事を附記します。

参 考 文 献

- 1) 北郷薫、他3名：機構学，朝倉書店
- 2) 木内石：機械設計便覧，朝倉書店
- 3) 機械設計ハンドブック，日刊工業新聞社
- 4) 機械設計便覧，丸善
- 5) 窪田雅男：機構学，森北出版
- 6) 小川潔：リンク・カムの設計，オーム社
- 7) 中井英一：実用カム設計法，日刊工業新聞社