繊維機械のための機構学* (3)

渡 辺 茂**

内 容

§ 1 総説	§ 2 カム	2.1 カム線図	2.2 自動止 (その1)	2.3 自動止 (その2)
2.4 伝達力の評価	2.5 基礎円	2.6 カム線図→カム	2.7 カム→カム線図	2.8 精紡機のカム
2.9 織機のカム (その1)	以下本号	2.10 跳りとガタ	2.11 ばねのサージング	2.12 織機のカム (その2)
2.13 トリコットのカム	2.14 他の応用			

(前号復習)

(1) カムに力 P を加えて、抵抗 Q なる従動体を動かそうとする場合、カムの圧力角 α が、自動止になる限界角 α_s の近傍では、 P/Q はほぼ $\cot(\alpha_s - \alpha)$ に比例する。

(2) カムの基礎円半径を大きくするほど、力の伝達状態はよくなる。しかし材料費、加工費及び場所がかさむので、(11) 式を用いて適正な基礎円半径を定める。

(3) カム線図からカムのプロファイルを求める作図は、包絡線をつくることに帰着するが、とくにプロファイルが尖点を含まないように注意しなければならない。

(4) 円弧や直線や平面のみを組合せたカムは、工作が容易である。これらの性能を調べるために、カム線図をつくる必要のある場合には、(12)~(16) の諸式を用いる。

(5) 精紡機のハートカムの問題点について考察した。

(6) 織機のピッキングカムについて考え、シャットルの運動方程式を作ることによって、シャットルの発射速度は、カム線図から求めた最大速度の2倍弱であることが分った。

2.10 跳りとガタ

高速回転のカムにおいては、いろいろ予期しないことがおこる。これはエレメントの重さとたわみとに起因する振動現象によることが多い。繊維機械はがいて低速であるから、今のところ問題はないが、この項と次項とで述べることは、あなたが繊維機械に無関係とは思われない。というより、跳り現象とか、ばねのサージング現象は、すでに繊維機械の各部に散見せられ、高速化にともない、今にも問題になりそうなので、簡単に述べることにする。

第23図は、内燃機関の吸排気弁を開閉するカムの一例

(第 23 図)

内燃機関の吸排気弁

である。 W = 弁の重さ、 x = 弁の変位、 x_0 = 弁ばねの取付時における圧縮量、 k = ばね常数とすれば、弁の上部を押すときに生ずる抵抗 Q は

$$Q = \frac{W}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + k(x + x_0) + W \quad \dots\dots\dots (22)$$

である。ただし W の符号中 $+$ は、図の上下が反対になったときに用いるものとする。

カム線図の x と d^2x/dt^2 とを (22) に代入すれば、

Q の線図が描かれる。もし Q が 0 または負の値になるなら、弁はカムから離れる。これを跳りという。弁がカムのプロファイルに従って忠実に動くためには、 Q はつねに正でなければならない。そして Q をつねに正とするためには (22) によって、どの量をどのようにしなければならぬかが分る。

ところがカムと弁との間に衝棒がある場合には、衝棒のたわみのために、弁はさらに跳りやすくなるが、くわしい説明は省略する。^{1,2)}

なお第23図のようなカムの回転位置では、カムの基礎円が直接に弁に接触している。しかし弁は下部で弁座にあたっており、カムがなくても、これ以上上方へは動かないわけである。ゆえにカムと弁との接触は、無用であるばかりではなく、かえって両者の間に有害無益な摩

* Contributions to the Mechanism of Textile Machinery. (3)

** S. Watanabe, 東京大学工学部

擦が生じ、さらに弁が弁座に密着しないことにもなる。これらの欠点を除くため、基礎円の外方に遊隙 i をへだてて遊隙円（第23図）を描き、弁の頭部とカムの基礎円とがふれないように設計しておく。これはガタの効用の一つであるが、高速回転のカムでは、ここにあるガタのため、弁（従動体）が衝撃をうけるので、カムの有効なプロファイルの根本と基礎円とをつなぐ曲線も、あらかじめカム線図に計画的に描いておいてから設計する。

(第 24 図)

原動軸（カギ形）とカムとの間にガタをおいて従動体が下降するときに跳らずかつ急速に下降させるようにしたもの

以上で述べたように、(22) の Q の値が 0 となれば跳りは始まり、 P/Q が ∞ となれば自動止をおこす。ゆえにカムは充分慎重に設計しなければならないが、いろいろの考案によって、このような現象を逃げることもできる。たとえば第 24 図は、原動軸とカムとの間にガタをおいて、従動体を跳らないようにしたものであり、第 25 図はスライドカムを用いて、自動止をさせ、しか

(第 25 図) カムが S-S のところすべりつがいになっている。ゆえにカムのリフトは一つのプロファイルの 2 倍になり、圧力角を小とし自動止をさせる

もリフトを大きくしたものである。もちろん第 24 図のガタのつけ方は、摩耗や調整を考慮に入れた形に設計しなければならないが、これはガタの効用の他の例でもある。

しかしカムのプロフィールに折点があり、速度が不連続になるようなも

(第 26 図) 人絹紡糸機のトラバース運動用確動カム

のでは、 $Q > 0$ の条件は保持できない。 Q の正負いずれの場合でも、確実にカム線図どおりに従動体を動かすものを確動カムという。第 26 図はその例であって、トラバース運動の両端では大きな衝撃が加わるから、充分の検討を加えておかなければならない。

(第 27 図)

ガタ e のため s だけコロがカムのプロフィールから離れて運動する。これはあらかじめ設計のさいに考慮しておかなければならない

第 27 図は確動カムのコロが、カム溝のガタだけ動いて、理想的なカム線図どおりにはならないことを示す。したがってこのガタだけは、あらかじめカム線図の変位曲線にも描いておかなければならない。

2.11 ばねのサージング

高速回転をする第 23 図のようなカムにおいては、跳りを押えるためにつけたばねが異常振動をおこす。これをばねのサージングという。

このような現象は、織機の開口運動やトリコットの針の運動等に起因して糸が振動をするのと同じであると見なすことができるので、以下で述べる弁ばねという言葉のかわりに、糸とか他のばねを置きかえても、理論上ほとんど同じである。

さて振動学において、共振現象を考える手段として、

カムの1回転の間の変位曲線をハーモニックスに分けて考える。^{5,6)}

$$a_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) \cos m\varphi d\varphi \quad (m=1,2,3,\dots) \quad (23)$$

ただし $a_m = m$ 番目のハーモニックスの係数

φ = カムの回転角 (1 回転を $-\pi$ から $+\pi$ までとする)

$f(\varphi)$ = 変位曲線

ところで弁ばね (糸と考えてもよい!) が振動して振巾が大きくなるのは、弁ばねの自然振動数 N_s (r.p.s.) が、カムの回転数 N (r.p.s.) の整数倍になったときである。⁷⁾

何となれば、このときには、(23)' で求めた $m = N_s/N$ 次のハーモニックス a_m が、振動外力として弁ばねに加わり共振現象をひきおこすからである。⁸⁾

そこですべての $m (=1,2,3,\dots)$ にたいして a_m を非常に小さくすれば、広範囲にわたって弁ばねに振動をおこさないカムができるわけである。

じっさいは、すべての m にたいして a_m を小さくすることはできないけれども、 m が或値より大きいときには a_m を小さくできる。このようにすればばねや糸がゆるやかに振動することはあっても、激しい振動は除くことができる。

ここで設計計算に便利のように (23) をつぎのように変換しておこう。すなわち θ を、弁の開き始める点が $-\pi$ で、閉る点が π になるような角度とし、 k を弁の開いている角度と、カムの1回転との比とすれば、 $\varphi = k\theta$ である。そして弁の変位曲線を $F(\theta)$ であらわせば、(23) は

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F(\theta) \cos n\theta d\theta \quad (24)$$

$$a_m = k a_n \quad (25)$$

$$n = k m = k N_s / N \quad (26)$$

となり、 n はもはや整数ではない。また速度曲線を用いれば

$$a'_n = -\frac{1}{n\pi} \int_{-\pi}^{\pi} F'(\theta) \sin n\theta d\theta \quad (27)$$

となり、休止期間があるカムを考えると、⁶⁾ (23) を用いるより (24)~(27) を使う方が便利である。

たとえば定加速度カムで、正負の加速度比が 1:1 のものでは、(24) は第 28 図の曲線となり、 $n < 3$ の a_n は非常に大きい。しかしこれに適当な修正をほどこせば、理想的なカムを作ることができる。1 例として、余弦カムから出発し、 $n > 2.5$ のすべての a_n がリフトの 0.2% 以下であるようなカムが、中西教授によって作られてい

(第 28 図)

定加速度カムの a_n 曲線 (ただし h は全リフト)

(第 29 図)

平織用タベット式開口装置の一例。これと第 23 図の弁とは力学的に同じであることに注意されたい

る。

2.12 織機のカム (その2)

第 29 図は平織用タベット式開口装置を示す。前項で述べた弁ばねが、ここではヘルドやたて糸になっているだけであって、たて糸に不必要な振動を与えないためには、どのようなカムを用いればよいか、という問にたいして答を求める筋道は、すでに前項で説明済みである。またカムを普通の形にする場合もあり確動カムにする場合もあるが、これらの具体的方法も、すべて明らかになったわけである。ただヘルドの静止時間と作動時間の比や、その行程長等をいくらにすればよいかということは、シャトルの大きさや飛走時間、その他から決定されるものである。⁹⁾

ではカムのプロファイルの定め方によって、たて糸の振動がどの程度に問題になるのであろうか。これにたいして、5 種類のカムを作り、たて糸の張力を実測した寺崎氏の報告を紹介して答としよう。¹⁰⁾ 第 30, 31 図はそのうちの 2 種類のカムとその実測値である。

第30図の(a), (b)は同じように見えるけれども、じつは図の説明に記したような相違がある。この二つのカムを装備して、ヘルドの変位とたて糸の張力を実測した結果が第31図であって、これをみれば、いずれのカムにおいてもヘルドのサージングがあらわれている。サージングがはげしくなると、ついには跳り現象にまで発展するが、余弦カムを少しく修正するだけで、これらの現象を防止することができる。⁶⁾重ねて注意するが、ヘルドの運動は、たて糸の歪に關係するものでなく、振動學的に考えることによって、はじめて解明されるものである。

つぎに織機の消極的送出装置に用いられるカムについて阪本氏の研究を述べる。¹¹⁾すなわちヤーンビームのブレーキモーメントを一定にしておけば、滴管ビームから空ビームに至るまでの間に、たて糸張力は大きく変化して2倍以上になってしまうから、張力を一定に保つためには、ブレーキモーメントを、たて糸層半径の二次関数の逆数としなければならない。そこでたとえば第32図のように、ローラをたて糸層半径の函数として移動させる

(第 30 図)

開口運動用カム (a) 余弦カム (b) たて糸の歪に反比例して減速するカム

(第 31 図)

(a), (b) の二つのカムにたいするたて糸の張力(実線)とヘルドの変位(点線)

ことによって、ブレーキモーメントを計画的に変化させる。すなわちビームプレスサとローラとの間に適当なカムを挿入しておけば、これで所期の目的が達成されたことになる。

(第 32 図)

ローラを動かすことにより、たて糸の張力を一定に保持する装置(黒丸は固定ピン)

カムの挿入の仕方については、自動止の条件のみを考慮すればよく、歯車やリンクを併用するとしても、**できるだけすべりつがいの使用は避けた方がよい**であろう。

なおこのような装置をつけて試験すると、送出がなされる時期は、開口運動が、最大位置に止まっている期間に一致することが報告されている。¹¹⁾

2.13 トリコットのカム

トリコットには、針カム、プレスサカム、ガイドカム、シンカム等の多くのカムが用いられている。¹²⁾たとえば第33図は針カムであって、図のように確動カムであるに¹³⁾

(第33図) トリコット用針カムの一例(確動カム)

もかわらず、機械や糸に振動が発生する。これらもすべて広義のサージングとして理解されるものである。

第34図は柄車のカムである。針に糸を巻きつけた¹⁴⁾めおさを針のまわりに前後左右に動かさなければならぬが、図はこのうちの左右動をうる装置であって、柄車Aが回転すると、プランジャBを押し、おさCを動かす。^{14,15)}

(第 34 図)

柄車の例 (A柄車, Bコロつきプランジャ
Cおさ, Dばね)

ここでおさが右に動くためには、ばねDを必要とし、(1)おさが重く、(2)ばねが弱く、(3)回転が速いときには、図の下に描いたように、コロは柄車のプロフィールどおりには動かされないで、跳り現象がひきおこされる。これを避けるためには、(22)のQをつねに正とすればよいわけであるが、そのためには、(1)おさの重さ W を軽くし、(2)ばね常数 k 、ばね取付荷重 kx_0 を大きくすればよいことになる、

ところで、 k を大きくすることと、 x_0 を大きくすることは、工学上異なった意味をもっている。ばね常数を大きくすれば自然振動数が大になるので、おさの重さを軽くすることと同じ意味をもち、ばねの取付荷重を大きくすることは死荷重をかけることと同一である。ゆえに場合に依じていずれを選ぶべきかは、よく考えなければならないが、良質のばねを用い、取付荷重を精密に調整しうる装置をつけたときには、取付荷重を小さくしばね常数を大きくした方がよく、さらに振動体の重さは軽合金とか合理的設計とかによって、うんと軽くするように心掛けなければならない。

一方糸に振動をおこさないようなカムのプロフィールを研究したり、またおさの運動を拡大して柄車のカムのリフトを大きくしたり、確動カムを用いたりする余地も、高速化という問題に附随して大いに考えなければならぬところである。

またトリコットのたて糸の積極的送装置にカムを用

^{17,18)}いたもの等、トリコットのカムについては非常に多くの研究がある。

2.14 他の應用

繊維機械以外でも多くのカムが用いられている。カム¹⁹⁾の項のおわりに、その代表的なものの一部を紹介しよう。

第35図は確動カム C_1, C_2 を用いてP点に所定の平面曲線を描かせる複合カムで、トリコットの針カムもこの変形である。第36図はP点を5の字に動かす複合カムで、このPにドリルをつけて5の字を彫刻するためのものである。5の字を与えて、 C_1, C_2 を作図するには、まずPの動きに対して、 B_1, B_2 がどのように動くかを調べておき、これをもとにして C_1, C_2 の形を定めればよい。またこのカムの誤差が、5の字をどの程度歪めるかをあらかじめ調べるためには、図のように、5の字から微小距離だけ離れた破線をPが通るとき

(第 35 図)

カム C_1, C_2 によってP点に平面曲線を描かせる複合カム

(第 36 図)

複合カムの一例

の C_1, C_2 のプロファイルを同様に求め、その差が製作精度や摩耗量に比べて充分大きければよいわけである。

(第 37 図)

P 点に正方形を描かせるための確動カム (下図はテーパ付きの座金もちいて、ピンのガタを除くようにしたもの) (黒丸は固定ピン)

(第 38 図) トラバースカムの例

(第 39 図)

トラバースの行程を次第に変化させる機構

第37図はとくに P 点に正方形を描かせるためのものでカムのプロファイルは四つの円弧からできている。

繊維機械用カムの他の用途のうち、主要なものとしてワインダ用のトラバースカムがある。第38図はこれである。また第39図は糸以外のトラバース機構に用いられるものであって、まず A 点を固定して考えれば、 TT なるトラバースを確動カムによって行わせることによって、 SS は定長行程の往復運動を行う。つぎに A 点を徐々に矢印の方向に移動させれば、 TT が一定の往復運動をしても、 SS はその行程長を次第に変えることになる。

(第 40 図) 二つのカムを使いわたる機構の例

(第 41 図)

リフトを連続的に変化させるカム

(a)

(b)

(第 42 図)

カムの2回転で従動体が1回だけ動くもの

て二つのカムを使いわける機構であり、第41図はカム軸を軸方向に動かすことによって、リフトを連続的に変化させる機構である。

第42図は黒丸Cをカム軸とし、従動体Rを、2回転に1回だけ上下させようとする機構で、カムと△形金物Aとはハッチング丸Fでまわりつがいでになっている。このピンFは適当なバネロシヤによってカムとAとを押し、両者間の摩擦をきかしている。さてカムが矢印のように回転することは、従動体のコロRが逆向きに回転することと同じであるから、(a)図のRが矢印1, 2, 3のように動き、1→2の間にAを押しつける。ゆえにAは(b)図のような状態になり、コロRは4, 5, 6のような運動をする。ここで5→6の間にRはAを押しつけるから、Aは(a)図のようになり、7, 1, 2……という順序で運動するわけである。なおAを外方から他の機構によって動かせば、必要なときにのみ従動体を作動させることもできる。

第43図は従動体Dに間けつ運動をさせる装置であって、(b)図はA, B, Cの作動状態を説明したものである。¹⁹⁾ すなわちA, B, Cを(a)図のように動かすこ

(第43図) 従動体Dを確実に止めたり動かしたりする機構 (a) カム線図 (b) モデル (c), (d) 設計されたカム(黒丸は固定ピン)

とによって、Dを間けつ的に動かすことができ、(a)図のカム線図によって(c), (d)のようにカムが設計され、所定の運動が実現される。

註

- 1) 中西, 亘理, 佐藤; カムの加速度の変り方が急激でない場合の弁の跳りについて, 機論, 昭和23年(1948) 14-48, I-73
- 2) 中西, 佐藤; 定加速度カムを用いたときの弁の跳りについて, 機論, 昭和23年(1948) 14-48, I-77
- 3) Horton; Ingenious Mechanisms, Vol. 3 (1952)
- 4) 河田; 人絹紡糸機のトラバース運動について, 本誌, 昭和26年(1951) 10月 P. 14
- 5) 坪井; 振動学, (河出書房) P. 40, 任意の周期函数をフーリエ級数に展開し、ハーモニックスを求める具体的、実際的方法がくわしく解説されている。
- 6) 中西; 広範囲に亘り弁ばねに振動を誘起しないカム形について, 機論, 昭和24年(1949) 15-50, II-1; 16-54 P. 159; 以下の所論はすべて中西教授の研究であって、糸の振動を防止するためにも有効なものであると思われる。なおここではフーリエ級数の余弦部分のみが計算されているが、これは弁用カムが対称だからであって、一般には正弦部分も求めなければならぬ。
- 7) 糸の場合には、メルデの振動のように、半整数のものがでることもあるが、このような非線形振動特性は考えないことにする。またここでは、このような場合も含まれるとして何等差支えない。
- 8) ばねにしても糸にしても多くのNをもつことに注意されたい。
- 9) 大住; 力織機構学, 丸善
- 10) 寺崎, 古畑; 力織機の開口運動に関する一考察, 本誌, 昭和26年(1951) 9月 P. 27
- 11) 阪本; 力織機送装置の研究, 本誌, 昭和23年(1948) 9, 10, 11月
- 12) 奥田, 若杉; トリコットの各カムの設計に対する一考察, 本誌, 昭和27年(1952) 8, 10, 11月(カム線図が挙げられている)
- 13) 中島; トリコット編機の針カムの力学について, 本誌, 昭和28年(1953) 4月 P. 24
- 14) 宇野; 柄車ローラのジャンプしない経編機用バネ, 本誌, 昭和26年(1951) 1月 P. 30
- 15) 中島; トリコット編機の柄車に加わる衝撃力に関する考察, 本誌, 昭和27年(1952) 6月 P. 32
- 16) 奥田; トリコット柄車のカムの形状について, 本誌, 昭和26年(1951) 5月 P. 34
- 17) 寺崎, 前田; トリコット経編機の経糸積極的送り出しの機構について, 本誌, 昭和27年(1952) 2月 P. 52
- 18) 宇野; トリコット編機送装置の実験的研究, 本誌, 昭和27年(1952) 4月 P. 35
- 19) Rauh, Praktische Getriebelehre. II
- 20) 大友; 自動フラット磨針機の均整摩擦について, 本誌, 昭和23年(1948) 12月 P. 15 (確動カムの応用がある)
- 21) 阪本, 唐沢, 大工原, 井上, 三浦の諸氏の報文が本誌に発表されている。

(略号) 本誌=日本繊維機械学会誌
機論=日本機械学会論文集