

ユニバーサルカム曲線とその応用*

牧 野 洋

(昭和52年8月31日受理)

Universal Cam Curve and Its Application

Hiroschi MAKINO

Abstract

A new cam curve called "universal cam curve" is developed. The curve has a form of combined sinusoidal acceleration and is able to be transformed to several known standard cam curves by adjusting parameters T_0, T_1, \dots, T_7 . By this way more than twenty curves are included in the Fortran subroutine program of the universal curve. As well as standard curves, some special curves for each specific application are also introduced from the curve with slight efforts. The program of the curve and some applications are shown.

1. ま え が き

カム曲線の式としては以前から知られていた単弦・サイクロイドなどの基礎曲線¹⁾とともに、最近では、Neklutin²⁾が提唱した変形台形・変形正弦・変形等速度などの合成曲線が広く一般的に用いられるようになってきている。また、これらの標準的な曲線以外に、用途によっては非対称曲線・片停留曲線・無停留曲線などが必要とされることもある。著者はさきに各種の非対称曲線を作ってその特性を計算し³⁾、また、既知の曲線を含めた総計32種類のカム曲線について、無次元最大速度 V_m 、無次元最大加速度 A_m などの諸特性値を計算して、これをカム曲線の特性比較表⁴⁾としてまとめた。

これらのカム曲線の計算は手計算で行うには複雑にすぎ、電子計算機に頼らなければならない。単に曲線の計算を行うのみでなく、これらの曲線を用いたカム装置の設計計算までも計算機によって行うものとなれば、これらのカム曲線の式はサブルーチンの形でフォートランプログラムに記録しておくことが便利である。このサブルーチンの長さは、もちろん曲線の式の複雑さによって異なるけれども、フォートランで100ないし300ステップ程度であり、したがって、常時10

種類ぐらいのカム曲線を用いるメーカーや研究者は2000枚程度のカード、あるいはこれに見合うメモリをカム曲線のために準備しておかねばならない。

ところが、これら常用のカム曲線は、そのほとんどが正弦曲線系の合成曲線であるため式の形に共通性があり、やや自由度の多い高級な曲線を設定すれば、個々の曲線はそのうちの特殊な場合として吸収してしまいうることができる。このような汎用化されたカム曲線の式をユニバーサルカム曲線と名付ける。

ユニバーサルカム曲線のプログラムをすることにより、数十種類のカム曲線をたった一つのサブルーチンに収めることができ、個々の曲線は数個のパラメータの指定、あるいは曲線番号の指定だけで呼び出すことができるようになる。

また、これらのパラメータを任意に選ぶならば、目的に応じた新しい曲線を作ることも可能である。特殊用途のカムに対して、目的に合ったカム曲線の式をその都度作る必要はなく、パラメータだけを適当な値に設定してやればよい。

以下にユニバーサルカム曲線の式とプログラム、およびその用法の例を示す。

2. ユニバーサルカム曲線

図-1にユニバーサルカム曲線の形を示す。加速度曲

* 昭和52年度精機学会山梨地方講演会にて講演

線Aの形状は区間Ⅰ, Ⅲ, Ⅴ, Ⅶにおいて1/4周期の正弦曲線であり, 区間0, Ⅳ, Ⅵにおいては0, 区間Ⅱにおいては最大値 A_{mp} , 区間Ⅵにおいては最小値(負の最大値) $-A_{mn}$ をとり, 全区間を通じて連続である。

速度Vは加速度Aを時間Tで積分して, 境界において連続となるように接続することによって得られ, その初値は V_0 , 終値は V_7 , 最大値は V_m である。また, 変位Sは速度Vをさらに時間Tで積分して, 境界において連続となるように接続することによって得られ, その初値は S_0 , 終値は S_7 である。躍動Jは加速度Aを時間Tで微分することによって得られ, QはAとVとの積であり, 従節の慣性にもとづくカム軸のトルクはこの値に比例して変化する⁴⁾。

曲線の式を以下に示す。

区間0 ($T < T_0$)

$$S=S_0, V=V_0, A=0, J=0 \quad (1)$$

区間Ⅰ ($T_0 \leq T < T_1$)

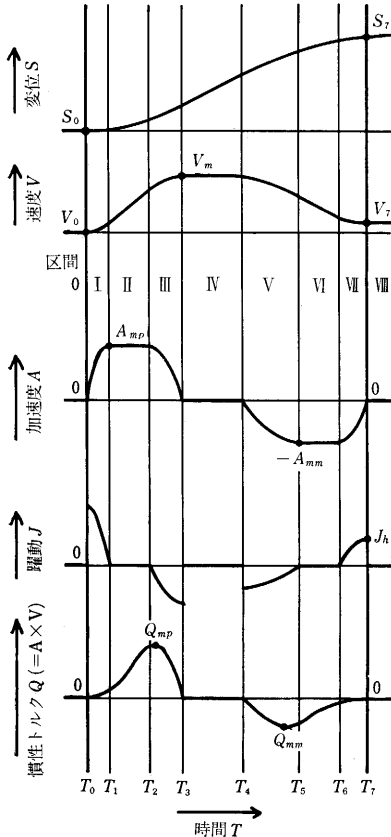


図-1 ユニバーサルカム曲線

$$\left. \begin{aligned} A &= A_{mp} \sin \frac{\pi(T-T_0)}{2(T_1-T_0)} = A_{mp} \sin p \\ &\text{とおく。} \\ C_1 &= \frac{2(T_1-T_0)}{\pi}, \quad p = \frac{T-T_0}{C_1} \\ J &= \frac{A_{mp}}{C_1} \cos p \\ V &= C_1 A_{mp} (1 - \cos p) + V_0 \\ &= V_1 - C_1 A_{mp} \cos p \\ V_1 &= C_1 A_{mp} + V_0 \\ S &= -C_1^2 A_{mp} \sin p + V_1(T-T_0) + S_0 \\ S_1 &= -C_1^2 A_{mp} + V_1(T_1-T_0) + S_0 \end{aligned} \right\} (2)$$

区間Ⅱ ($T_1 \leq T < T_2$)

$$\left. \begin{aligned} A &= A_{mp}, \quad J=0 \\ V &= A_{mp}(T-T_1) + V_1 = A_{mp} \cdot p + V_1 \\ p &= T-T_1 \\ V_2 &= A_{mp}(T_2-T_1) + V_1 = C_2 A_{mp} + V_1 \\ C_2 &= T_2-T_1 \\ S &= \frac{A_{mp}}{2} p^2 + V_1 p + S_1 \\ S_2 &= \frac{A_{mp}}{2} C_2^2 + V_1 C_2 + S_1 \end{aligned} \right\} (3)$$

区間Ⅲ ($T_2 \leq T < T_3$)

$$\left. \begin{aligned} A &= A_{mp} \cos \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)} = A_{mp} \cos p \\ C_3 &= \frac{2(T_3-T_2)}{\pi}, \quad p = \frac{T-T_2}{C_3} \\ J &= -\frac{A_{mp}}{C_3} \sin p \\ V &= C_3 A_{mp} \sin p + V_2 \\ V_m = V_3 &= C_3 A_{mp} + V_2 \\ S &= -C_3^2 A_{mp} (\cos p - 1) + V_2(T-T_2) + S_2 \\ S_3 &= C_3^2 A_{mp} + V_2(T_3-T_2) + S_2 \end{aligned} \right\} (4)$$

区間Ⅳ ($T_3 \leq T < T_4$)

$$\left. \begin{aligned} A &= 0, \quad J=0 \\ V &= V_3, \quad V_4 = V_3 \\ S &= V_3(T-T_3) + S_3 \\ S_4 &= V_3(T_4-T_3) + S_3 = V_3 C_4 + S_3 \\ C_4 &= T_4-T_3 \end{aligned} \right\} (5)$$

区間Ⅴ ($T_4 \leq T < T_5$)

$$\left. \begin{aligned} A &= -A_{mn} \sin \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)} = -A_{mn} \sin p \\ C_5 &= \frac{2(T_5-T_4)}{\pi}, \quad p = \frac{T-T_4}{C_5} \\ J &= -\frac{A_{mn}}{C_5} \cos p \\ V &= C_5 A_{mn} (\cos p - 1) + V_4 \\ &= C_5 A_{mn} \cos p + V_5 \end{aligned} \right\} (6)$$

$$\left. \begin{aligned}
 V_5 &= -C_5 A_{mm} + V_4 \\
 S &= C_5^2 A_{mm} \sin p + V_5 (T - T_4) + S_4 \\
 S_5 &= C_5^2 A_{mm} + V_5 (T_5 - T_4) + S_4 \\
 \text{区間VI } (T_5 \leq T < T_6) \\
 A &= -A_{mm}, \quad J = 0 \\
 V &= -A_{mm}(T - T_5) + V_5 = -A_{mm} \cdot p + V_5 \\
 p &= T - T_5 \\
 V_6 &= -A_{mm}(T_6 - T_5) + V_5 = -A_{mm} C_6 + V_5 \\
 C_6 &= T_6 - T_5 \\
 S &= -\frac{A_{mm}}{2} p^2 + V_5 p + S_5 \\
 S_6 &= -\frac{A_{mm}}{2} C_6^2 + V_5 C_6 + S_5
 \end{aligned} \right\} (7)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \text{区間VII } (T_6 \leq T < T_7) \\
 A &= -A_{mm} \cos \frac{\pi(T - T_6)}{2(T_7 - T_6)} = -A_{mm} \cos p \\
 C_7 &= \frac{2(T_7 - T_6)}{\pi}, \quad p = \frac{T - T_6}{C_7} \\
 J &= \frac{A_{mm}}{C_7} \sin p \\
 V &= -C_7 A_{mm} \sin p + V_6 \\
 V_7 &= -C_7 A_{mm} + V_6 \\
 S &= C_7^2 A_{mm} (\cos p - 1) + V_6 (T - T_6) + S_6 \\
 S_7 &= -C_7^2 A_{mm} + V_6 (T_7 - T_6) + S_6
 \end{aligned} \right\} (8)$$

$$\left. \begin{aligned}
 \text{区間VIII } (T_7 \leq T) \\
 A &= 0, \quad J = 0, \quad V = V_7 \\
 S &= S_7 + V_7 (T - T_7)
 \end{aligned} \right\} (9)$$

ここで、

$$m = \frac{A_{mm}}{A_{mp}} \tag{10}$$

とおくと、以上の各式から A_{mp} に関する次式を得る。

$$\begin{aligned}
 \frac{S_7 - S_0 - V_0(T_7 - T_0)}{A_{mp}} &= -m \{ C_7^2 + 0.5 C_6^2 - C_5^2 \\
 &+ C_6(T_7 - T_6) + C_5(T_7 - T_4) \} + C_3^2 + 0.5 C_2^2 - C_1^2 \\
 &+ C_3(T_7 - T_3) + C_2(T_7 - T_2) + C_1(T_7 - T_0) \tag{11}
 \end{aligned}$$

各区間の幅、すなわちパラメータ T_0 ないし T_7 を定め、正負振幅比 m 、初期値 V_0 、 S_0 、終値 S_7 の値を与えると、これにより A_{mp} の値が求まり、これを上記各式に代入することによって S 、 V 、 A 、 J の値が確定する。なお、無次元化されたカム曲線⁴⁾の式においては

$$\left. \begin{aligned}
 T_0 &= 0, \quad V_0 = 0, \quad S_0 = 0 \\
 T_7 &= 1, \quad V_7 = 0, \quad S_7 = 1
 \end{aligned} \right\} (12)$$

であり、標準カム曲線の式の場合にはこの条件を設定しているが、ユニバーサルカム曲線の式自体としては必ずしもこの条件を満足する必要はなく、したがって、場合によっては実時間特性で変数計算を行うことも可能である。

3. ユニバーサルカム曲線のプログラム

付録-1に SUBROUTINE の形に書かれたユニバーサルカム曲線のフォートランプログラムを示す。このプログラム、すなわち、SUBROUTINE "CURVE" は三つの部分に分かれている。

まず付録-1の1に示したのは個々のカム曲線に固有なパラメータを与える部分である。パラメータは標準曲線の場合には $T_1 \sim T_6$ の6個であり、この他に共通的な値として T_0 、 T_7 、 V_0 、 V_7 、 S_0 、 S_7 、RATIO (= $A_{mm}/A_{mp} = m$) および π の値が設定される。非標準の曲線の場合には、この他にもいくつかの値が設定される。頁数の都合で付録-1の1に示したプログラムには4個の曲線しか入っていないが、実際のフルプログラムには約30個の標準および非標準のカム曲線の式が入っている。

このプログラムを用いるときにはまず最初に1回だけ引数 INIT を1にして、カム曲線の番号(引数 NO)を与えてサブルーチンと呼ぶ。そうすると、曲線番号によって仕分けられてパラメータが与えられ、これが次の共通定数計算部(付録-1の2)に行く。これらの定数はアレイ PM に格納されてメインプログラムに戻る。アレイの割付けは表-1のとおりであり、必要な

表-1 パラメータの割付け

PM	変数	意味
1	T_0	時間 T の初値
2	T_1	" 中間値
3	T_2	" "
4	T_3	" "
5	T_4	" "
6	T_5	" "
7	T_6	" "
8	T_7	" 終値
9	V_0	速度 V の初値
10	V_7	" 終値
11	S_0	変位 S の初値
12	S_7	" 終値
13	RATIO	$= m = A_{mm}/A_{mp}$
14	VM	速度 V の最大値
15	AMP	加速度 A の正の最大値
16	AMM	" 負の "
17	AJKMP	躍動 J の最大値
18	AJKMM	" 最小値
19	AJKH	" 終値
20	QMP	トルク Q の最大値
21	QMM	" 最小値
22	FLAG	エラー変数
23	(idle)	(あそび)
24	(idle)	(あそび)

カム曲線の特性値がもうらされている。

付録-1の3に示したのはプログラムの変数計算部分であり、入力変数 T に対する出力変数 $S, V, A, AJK (=J), Q (=A \times V)$ の値を計算する。INIT を0とすると、この計算が行われるが、戻り行程用の非対称曲線の場合にはINIT を2としてサブルーチンと呼ぶようにする。

付録-2はこのサブルーチンを使って実際に計算を行うメインプログラムの例、付録-3の1および3の2はこのプログラムによるラインプリンタ出力の一部である。

4. 標準カム曲線への応用

「まえがき」に述べた特性比較表にのせた32種類のカム曲線は数式および特性値が既知であり、これらを標準曲線と呼ぶことにすると、このうち18種類の曲線はユニバーサルカム曲線のプログラムに吸収することができる(表-2)。しかも、この中には変形正弦・変形等速度など、普通一般に用いられている使用頻度の高い曲線はすべて含まれているので、このプログラムが一つあれば、ほとんどの用途を満たすことができる。

これらの標準曲線を指定するには曲線番号のみを引数 $\bar{N}\bar{O}$ に与えてやればよい。この番号は文献⁴⁾の特性比較表に記された分類番号をそのまま用いている。曲線番号が与えられると付録-1の1のプログラムの部分でパラメータ $T_0 \sim T_7$ が与えられる。図-2に代表的なカム曲線の場合におけるパラメータの値を図示した。

表-2 ユニバーサルカム曲線に含めうる標準カム曲線

区分	曲線番号	名称	備考
不連続	12	単弦	
対称	22	サイクロイド	
	25	変形台形	
	26	変形正弦	
	27	変形等速度	
非対称	33	非対称サイクロイド	
	34	非対称変形台形	
	35	トラペクロイド	
片停留	43	片停留サイクロイド	$m=1$
	44	片停留サイクロイド	$m=2/3$
	45	片停留変形台形	$m=1$
	46	片停留変形台形	Ferguson
	47	片停留変形台形	$m=2/3$
	48	片停留変形正弦	$T_1=1/8$
49	片停留トラペクロイド	$T_1=1/8$	
無停留	50	単弦	
	51	無停留変形台形	
	52	無停留変形等速度	

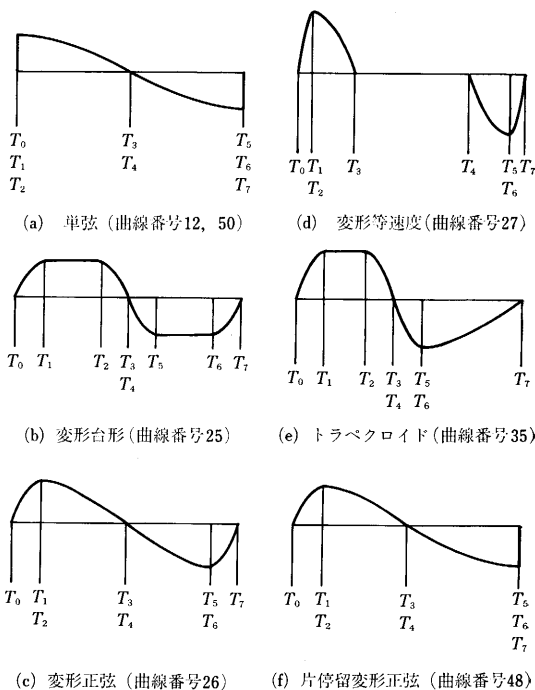


図-2 ユニバーサルカム曲線に含めうる標準曲線の例

一例として、標準変形等速度曲線(曲線番号27)の場合の S, V, A, J, Q の値を計算するプログラムを付録2のEXAMPLE 1の部分に、その計算結果(ラインプリンタ出力)の一部を付録-3の1に示した。

表-2に含まれる他の標準曲線の場合にも、曲線番号と入力変数 T の値を与えるだけで曲線の計算ができ、カム形状の設計に利用することができる。

5. 特殊なカム曲線への応用

以上述べたように、ユニバーサルカム曲線はいくつかの標準曲線のプログラムを合わせて一つにしたものであるが、同時に、そのパラメータの値を調節することによって、目的に合わせた特殊なカム曲線を設計することを可能にしている。以下に二・三の例を示す。

5.1 非標準変形等速度曲線(曲線番号4)

たとえば、定速で回転する印刷ローラに紙を供給するグリッパの動きを考えてみる。このグリッパをカムで動かすとすると、グリッパに与えるべき運動は、加速—定速送り—減速の形となり、変形等速度曲線が使用できる。この場合に標準の変形等速度曲線(曲線番号27, $T_1=0.0625, T_3=0.25$)を用いると $V_m=1.28$ となり、これから紙送り速度が決定される。この紙送り速度をロールの周速と同期させるためにカムの割付け角を変えられればよいが、一般にはカムの割付け角もタイミングから決まってしまうので、 V_m の

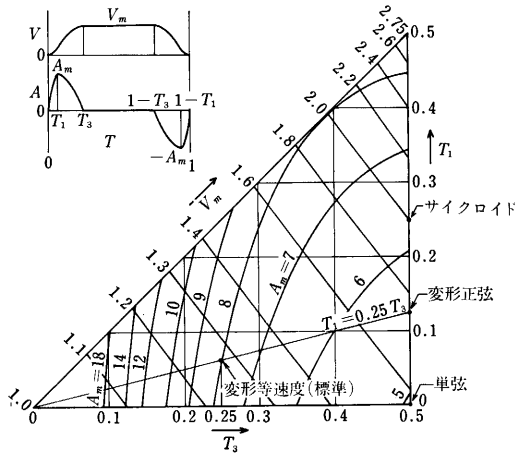


図-3 非標準変形等速度曲線のパラメータ T_1 , T_3 と特性値 V_m , A_m の関係

値を調節して同期をとりたいという場合が多い。このような目的に用いられるのが非標準の変形等速度曲線(曲線番号4)であって、 T_1 と T_3 の値を任意に選定することによって V_m を希望値に合わせられる。

プログラムはこの二つの値をパラメータ PM(2) と PM(4) を利用して入れており、これから他の特性値を計算するようになっていいる。付録-2の EXAMPLE 2に V_m および A_m の値を求めるプログラムを示し、付録-3の2にその計算結果(ラインプリンタ出力)の一部を示した。

図-3は計算結果を図表に示したもので、これから、 T_1 および T_3 をある値に選定したとき V_m および A_m の値がいくらになるかを知ることができる。 T_1 と T_3 の関係をあらかじめある関係、たとえば $T_1=0.25T_3$ となるように定めておけば、 V_m の値から一義的に T_1 , T_3 の値を定めることが可能になる。

5.2 トラペクロイドⅡ曲線(曲線番号36)

ばね拘束板カム(図-4)において、ばねの浮上り現象を防ぐためには、ばね力曲線と交叉しにくい形状の加速度曲線を持つ曲線がのぞましい。この目的に沿って開発した曲線が図-5に示すトラペクロイドⅡ曲線であり、減速域における負の加速度が小さく、かつ、ばね力曲線の形に沿っており、正の加速度は変形台形曲線を利用して最大値を低くおさえたものである。

この曲線のパラメータ $T_0 \sim T_7$ は下式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} T_0 &= 0 \\ T_1 &= 0.125 \\ T_2 &= \frac{2-6T_1+\pi T_1}{2+\pi} \end{aligned} \right\}$$

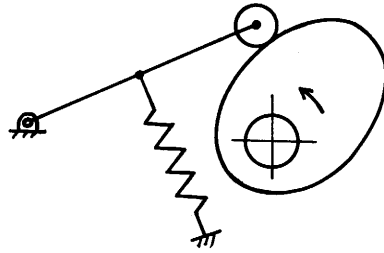


図-4 ばね拘束板カム

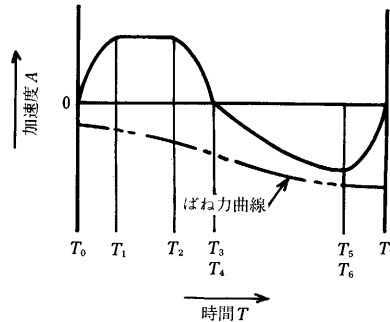


図-5 トラペクロイドⅡ曲線(曲線番号36)

$$\left. \begin{aligned} T_3 &= T_2 + T_1 \\ T_4 &= T_3 \\ T_5 &= 1 - T_1 \\ T_6 &= T_3 \\ T_7 &= 1 \end{aligned} \right\} (13)$$

従来であると、このような新しい曲線を開発する場合にいちいち式を立てて解を求め、それをもとにプログラムを作成しなければならなかったが、ユニバーサルカム曲線のプログラムを利用することによって、この種のカム曲線はたかだか10枚のフォートランカードをプログラムに挿入するだけで作ることができるようになった。

また、上の例では正負の加速度の最大値を等しくとったために T_2 の式が複雑になったが、この条件をゆるめれば T_2 の値は任意に設定することができ、このとき、 A_{mp} および A_{mm} の値は自動的に計算される。

上式のパラメータを用いて特性値を計算すると、

$$\left. \begin{aligned} V_m &= 1.85 \\ A_m &= A_{mp} = A_{mm} = 5.22 \\ J_m &= 65.6 \\ Q_{mp} &= 7.75 \\ Q_{mm} &= -5.34 \end{aligned} \right\} (14)$$

となる。

5.3 切削ユニット送り用のカム曲線(曲線番号1および2)

切削ユニットを送るためのカムは一般に早送り――

切削送り—早戻し—停留のサイクルを必要とする(図-6)。このためのカム曲線として速度および加速度が連続であり、しかも全体のサイクルタイムが最短になるような曲線を考案してみると図-7のようになる⁵⁾。ここで、戻り行程には既知の片停留変形正弦曲線(曲線番号48、図-2(f)参照)を利用することができるが、往き行程には用意された曲線がない。そこで、これを二つの部分に分け、早送り部分(曲線番号1)と切削送り部分(曲線番号2)とにそれぞれユニバーサルカム曲線を用いることにする。

図-8に早送り用のカム曲線を示す。

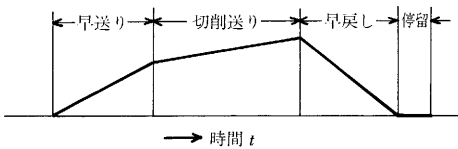


図-6 切削ユニット送りのタイミング線図

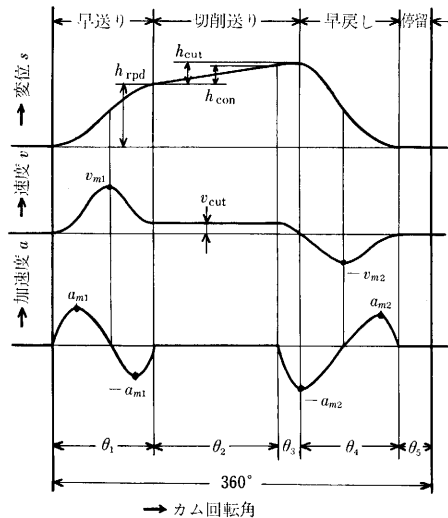


図-7 切削ユニット送り用カムのカム曲線

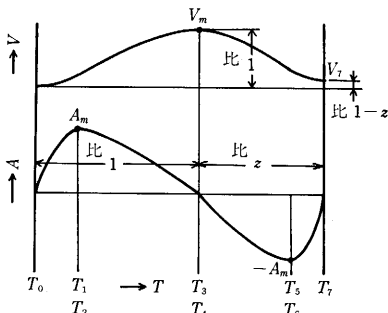


図-8 早送り曲線(曲線番号1)

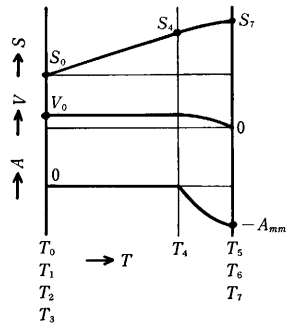


図-9 切削送り曲線(曲線番号2)

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= \frac{T_3}{4} \\ T_7 - T_3 &= \frac{T_7 - T_3}{4} \\ m &= \frac{A_{mm}}{A_{mp}} = 1 \end{aligned} \right\} (15)$$

として、加速期間と減速期間の比を 1 : z とすると、

$$\left. \begin{aligned} T_3 &= \frac{1}{1+z} \\ \frac{V_7}{V_3} &= 1-z \end{aligned} \right\} (16)$$

であり、切削送り速度は早送り最高速度の $1-z$ 倍になる。たとえば $z=0.9$ とすると $V_3=10V_7$ である。この関係から判断して z を適当な値に決めてやれば、これからすべてのパラメータ $T_0 \sim T_7$ が決定する。この曲線は曲線番号1に入れてあり(付録-1の1参照), $z=PM$ (23) を入力することによって計算することができる。

次に切削送り用カム曲線(曲線番号2)を図-9のように定める。入力としては $T_4=PM(5)$ の値を与え、これによって A_{mm} と V_0 の値を計算するようになっている。 T_4 の値は実時間特性(図-7)における速度および加速度が、曲線のつなぎ目において連続になるように定める。

ユニバーサルカム曲線の一つの特徴は速度 V の初期値 V_0 および終値 V_7 、変位 S の初期値 S_0 が必ずしも 0 でなくてもよいことであり、そのため、この例のように一つの片道の行程を二つの曲線に分けて接続することも可能であり、また、無次元値に直さないでも計算することが可能である。

6. 結 論

ユニバーサルカム曲線の式を作り、これをフォートランサブルーチンプログラムに書いた。これにより、

(1) 多数の標準曲線、とくに使用頻度の高い正弦曲線系のカム曲線が統一され、一つのプログラムの中に収められた。

(2) これらの曲線は曲線番号を指定するだけで呼び出すことができるようになった。

(3) パラメータの値を任意に設定することによって、きわめて融通性に富む、目的に沿った特殊なカム曲線を新しく作ることが可能となり、カム曲線開発の労力が軽減された。

(4) カム曲線の特性値を容易に計算することができるようになり、とくに非標準の変形等速度曲線の特性値の展望が明らかになった。

文 献

- 1) 中井：実用カム設計法，日刊工業新聞社（昭38）。
- 2) Neklutin：Mechanism and Cams for Automatic Machines, Elsevier（1969）。
- 3) 牧野：両端停止用非対称カム曲線，山梨大学工学部研究報告，第20号（昭44），p.41～50。
- 4) 牧野：自動機械機構学，日刊工業新聞社（昭51）。
- 5) 牧野：カム機構の自動設計，精機学会自動組立専門委員会第43回研究発表会資料（昭52），p.41。

付録-1の1 ユニバーサルカム曲線のプログラム（個別定数部分）

```

1  SUBROUTINE CURVE(NO,INIT,T,S,V,A,AJK,Q,PM)
2  C * UNIVERSAL CURVE.
3  C * REDUCED PROGRAM
4  C * NO = CURVE NUMBER.
5  C * INIT = INITIATION FLAG. CALL THIS SUBROUTINE WITH INIT=1 AT THE
6  C * FIRST TIME FOR EACH CURVE. CALL WITH INIT=0 FROM THE SECOND.
7  C * USE INIT=2 INSTEAD OF INIT=0 IN THE CASE OF REVERSE CURVE. (SYMMET-
8  C * RICAL RETURN CURVE.)
9  C * 1977.03.02
10 C * PROGRAM MADE BY H. MAKINO, YAMANASHI UNIVERSITY.
11 IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
12 DIMENSION PM(24)
13 IF(INIT.EQ.0) GO TO 300
14 IF(INIT.EQ.2) GO TO 200
15 PI=4.000*DATA4(1,000)
16 T0=0.00
17 T7=1.00
18 V0=0.00
19 V7=0.00
20 S0=0.00
21 S7=1.00
22 RATIO=1.00
23 QMP=0.00
24 QMM=0.00
25 FLAG=0.00
26 IF(NO.EQ.1) GO TO 1
27 IF(NO.EQ.2) GO TO 2
28 IF(NO.EQ.4) GO TO 4
29 IF(NO.EQ.27) GO TO 27
30 1 CONTINUE
31 C * CUTTING UNIT FEED CURVE, RAPID FEED.
32 C * Z GIVEN.
33 Z=PM(23)
34 T3=1.000/(1.000+Z)
35 T4=T3
36 T1=T3/4.000
37 T2=T1
38 T5=(3.000+T3)/4.000
39 T6=T5
40 RATIO=1.000
41 GO TO 91
42 2 CONTINUE
43 C * CUTTING UNIT FEED CURVE, CUTTING FEED.
44 C * T4 GIVEN.
45 T1=0.000
46 T2=0.000
47 T3=0.000
48 T4=PM(5)
49 T5=1.000
50 T6=1.000
51 AMM=PI/(4.000*(1.000-T4)**2/PI+2.000*(1.000-T4)*T4)
52 AMP=0.000
53 RATIO=1.0075
54 V0=2.000*(1.000-T4)*AMM/PI
55 GO TO 91
56 4 CONTINUE
57 C * MODIFIED CONSTANT VELOCITY, NON-STANDARD.
58 C * T1 AND T3 ARE GIVEN.
59 T1=PM(2)
60 T2=T1
61 T3=PM(4)
62 T4=1.000-T3
63 T5=1.000-T1
64 T6=T5
65 GO TO 91
66 27 CONTINUE
67 C * MODIFIED CONSTANT VELOCITY, STANDARD.
68 T1=1.000/16.000
69 T2=T1
70 T3=1.000/4.000
71 T4=1.000-T3
72 T5=1.000-T1
73 T6=T5
74 GO TO 91

```

付録-1の2 ユニバーサルカム曲線のプログラム (共通定数部分)

```

75 91 CONTINUE
76 C1=2.000*(T1-T0)/PI
77 C2=T2-T1
78 C3=2.000*(T3-T2)/PI
79 C4=T4-T3
80 C5=2.000*(T5-T4)/PI
81 C6=T6-T5
82 C7=2.000*(T7-T6)/PI
83 IF(NO.EQ.2) GO TO 93
84 IF(V7-V0.NE.0.000) GO TO 92
85 IF(NO.EQ.1) GO TO 92
86 RATIO=(C3+C2+C1)/(C7+C6+C5)
87 92 CONTINUE
88 AMP=(S7-S0-V0*(T7-T0))/(-RATIO*(C7*C7+0.500*C6*C6-C5*C5+(T6-T5)*
89 1*(T7-T6)+C5*(T7-T4))+C3*C3+0.500*C2*C2-C1*C1+C3*(T7-T3)+(T2-T1)*
90 2*(T7-T2)+C1*(T7-T0))
91 AMM=RATIO*AMP
92 93 CONTINUE
93 V1=C1*AMP+V0
94 V2=C2*AMP+V1
95 V3=C3*AMP+V2
96 VM=V3
97 V4=V3
98 V5=-C5*AMM+V4
99 V6=-C6*AMM+V5
100 V7=-C7*AMM+V6
101 S1=-C1*C1*AMP+V1*(T1-T0)+S0
102 S2=0.500*C2*C2*AMP+C2*V1+S1
103 S3=C3*C3*AMP+V2*(T3-T2)+S2
104 IF(NO.EQ.3) PM(23)=S3
105 S4=C4*V3+S3
106 S5=C5*C5*AMM+V5*(T5-T4)+S4
107 S6=-0.500*C6*C6*AMM+C6*V5+S5
108 S7=-C7*C7*AMM+V6*(T7-T6)+S6
109 IF(ABS(S7-1.000).GT.1.0-5) FLAG=2.00
110 IF(NO.EQ.2) GO TO 94
111 IF(NO.EQ.12) GO TO 94
112 IF(NO.GE.50) GO TO 94
113 AJKMP=AMP/C1
114 AJKMM=-AMP/C3
115 AJK5=-AMM/C5
116 IF(AJK5.LT.AJKMM) AJKMM=AJK5
117 AJKH=AMM/C7
118 IF(AJKH.GT.AJKMP) AJKMP=AJKH
119 GO TO 99
120 94 CONTINUE
121 AJKMP=0.000
122 AJKMM=-AMM/C5
123 AJKH=0.000
124 99 CONTINUE
125 PM(1)=T0
126 PM(2)=T1
127 PM(3)=T2
128 PM(4)=T3
129 PM(5)=T4
130 PM(6)=T5
131 PM(7)=T6
132 PM(8)=T7
133 PM(9)=V0
134 PM(10)=V7
135 PM(11)=S0
136 PM(12)=S7
137 PM(13)=RATIO
138 PM(14)=VM
139 PM(15)=AMP
140 PM(16)=AMM
141 PM(17)=AJKMP
142 PM(18)=AJKMM
143 PM(19)=AJKH
144 PM(22)=FLAG
145 RETURN

```


付録-1の3 ユニバーサルカム曲線のプログラム (変数部分)

```

146 C * CALCULATION OF S,V,A,AJK AND Q FROM GIVEN T.
147 200 CONTINUE
148 C * ONE-DWELL, RETURN, SYMMETRICAL SOLUTION.
149 TT=T
150 T=1.000-TT
151 300 CONTINUE:
152 C * UNIVERSAL CURVE, TWO-DWELL.
153 IF(T.LT.T0) GO TO 400
154 IF(T.GE.T0.AND.T.LT.T1) GO TO 401
155 IF(T.GE.T1.AND.T.LT.T2) GO TO 402
156 IF(T.GE.T2.AND.T.LT.T3) GO TO 403
157 IF(T.GE.T3.AND.T.LT.T4) GO TO 404
158 IF(T.GE.T4.AND.T.LT.T5) GO TO 405
159 IF(T.GE.T5.AND.T.LT.T6) GO TO 406
160 IF(T.GE.T6.AND.T.LT.T7) GO TO 407
161 IF(T.GE.T7) GO TO 408
162 400 CONTINUE
163 S=S0
164 V=V0
165 A=0.000
166 AJK=0.000
167 GO TO 490
168 401 CONTINUE
169 P=(T-T0)/C1
170 S=-C1*C1*AMP*DSIN(P)+V1*(T-T0)+S0
171 V=-C1*AMP*DCOS(P)+V1
172 A=AMP*DSIN(P)
173 AJK=AMP*DCOS(P)/C1
174 GO TO 490
175 402 CONTINUE
176 P=T-T1
177 S=0.500*AMP*P*P+V1*P+S1
178 V=AMP*P+V1
179 A=AMP
180 AJK=0.000
181 GO TO 490
182 403 CONTINUE
183 P=(T-T2)/C3
184 S=-C3*C3*AMP*(DCOS(P)-1.000)+V2*(T-T2)+S2
185 V=C3*AMP*DSIN(P)+V2
186 A=AMP*DCOS(P)
187 AJK=-AMP*DSIN(P)/C3
188 GO TO 490
189 404 CONTINUE
190 S=V3*(T-T3)+S3
191 V=V3
192 A=0.000
193 AJK=0.000
194 GO TO 490
195 405 CONTINUE
196 P=(T-T4)/C5
197 S=C5*C5*AMM*DSIN(P)+V5*(T-T4)+S4
198 V=C5*AMM*DCOS(P)+V5
199 A=-AMM*DSIN(P)
200 AJK=-AMM*DCOS(P)/C5
201 GO TO 490
202 406 CONTINUE
203 P=T-T5
204 S=-0.500*AMM*P*P+V5*P+S5
205 V=-AMM*P+V5
206 A=-AMM
207 AJK=0.000
208 GO TO 490
209 407 CONTINUE
210 P=(T-T6)/C7
211 S=C7*C7*AMM*(DCOS(P)-1.000)+V6*(T-T6)+S6
212 V=-C7*AMM*DSIN(P)+V6
213 A=-AMM*DCOS(P)
214 AJK=AMM*DSIN(P)/C7
215 GO TO 490
216 408 CONTINUE
217 S=S7+V7*(T-T7)
218 V=V7
219 A=0.000
220 AJK=0.000
221 GO TO 490
222 490 CONTINUE
223 IF(INIT.EQ.0) GO TO 499
224 T=TT
225 V=-V
226 AJK=-AJK
227 499 CONTINUE
228 Q=V*A
229 IF(Q.GT.QMP) QMP=Q
230 IF(Q.LT.QMM) QMM=Q
231 PM(20)=QMP
232 PM(21)=QMM
233 PM(22)=FLAG
234 RETURN
235 END

```

付録-2 プログラムの使用例 (メインプログラム)

```

1 C * CAM407
2 C * UNIVERSAL CURVE NO SHIYOUREI.
3 C * 1977.08.16
4 IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
5 DIMENSION PM(24)
6 C * EXAMPLE 1.
7 C * HYOUJUN CAM CURVE NO KEISAN NO REI.
8 LINE=120
9 LSKIP=5
10 NOCRV=27
11 CALL CURVE(N)CRV,1,T,S,V,A,AJK,Q,PM)
12 WRITE(6,600)
13 600 FORMAT(1H1///7H CAM407,10X,10H1977.08.16//11H EXAMPLE 1.)
14 WRITE(6,601) NOCRV,PM(14),PM(15)
15 601 FORMAT(1H0,55HMODIFIED CONSTANT VELOCITY, STANDARD,5X,9HCURVE NO=,
16 1I4/6X,3HVM=,F10.5/6X,3HAM=,F10.5/)
17 WRITE(6,610)
18 610 FORMAT(1H0//5X,2HN0,8X,1HT,11X,1HS,11X,1HV,11X,1HA,11X,1HJ,11X,
19 11HQ,7X,2HNO/)
20 I=0
21 J=0
22 1 T=DFLOAT(I)/DFLOAT(LINE)
23 CALL CURVE(N)CRV,0,T,S,V,A,AJK,Q,PM)
24 WRITE(6,611) I,T,S,V,A,AJK,Q,I
25 611 FORMAT(1H ,I5,6F12.5,I6)
26 I=I+1
27 J=J+1
28 IF(J-LSKIP) 3,2,2
29 2 WRITE(6,612)
30 612 FORMAT(1H )
31 J=0
32 3 IF(I-LINE) 1,1,9
33 9 CONTINUE
34 C * EXAMPLE 2.
35 C * HIYOUJUN CAM CURVE NO TOKUSEICHI NO KEISAN.
36 NOCRV=4
37 WRITE(6,620)
38 620 FORMAT(1H1///11H EXAMPLE 2.)
39 WRITE(6,621) NOCRV
40 621 FORMAT(1H0,40HMODIFIED CONSTANT VELOCITY, NON-STANDARD,5X,
41 19HCURVE NO=,I4)
42 WRITE(6,622)
43 622 FORMAT(1H0//12X,2HT3,13X,2HT1,13X,2HVM,13X,2HAM/)
44 DO 20 I=1,16
45 DO 10 J=1,2*I
46 T3=DFLOAT(I)/DFLOAT(32)
47 T1=DFLOAT(J)/DFLOAT(64)
48 PM(2)=T1
49 PM(4)=T3
50 CALL CURVE(N)CRV,1,T,S,V,A,AJK,Q,PM)
51 WRITE(6,623) T3,T1,PM(14),PM(15)
52 623 FORMAT(1H ,4F15.5)
53 10 CONTINUE
54 20 CONTINUE
55 STOP
56 END

```

付録-3の1 計算結果の一例(変数計算)

CAM407 1977.08.16

EXAMPLE 1.

MODIFIED CONSTANT VELOCITY, STANDARD CURVE NO= 27
 VM= 1.27526
 AM= 8.01268

NO	T	S	V	A	J	Q	NO
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	201.38070	0.00000	0
1	0.00833	0.00002	0.00697	1.66593	196.98005	0.01161	1
2	0.01667	0.00015	0.02756	3.25905	183.97042	0.08983	2
3	0.02500	0.00051	0.06089	4.70974	162.92041	0.28677	3
4	0.03333	0.00120	0.10549	5.95458	134.74999	0.62813	4
5	0.04167	0.00230	0.15941	6.93919	100.69035	1.10616	5
6	0.05000	0.00388	0.22030	7.62051	62.23006	1.67876	6
7	0.05833	0.00598	0.28549	7.96879	21.05001	2.27500	7
8	0.06667	0.00864	0.35219	8.00780	-2.34270	2.82030	8
9	0.07500	0.01185	0.41879	7.96879	-7.01667	3.33725	9

(以下略)

付録-3の2 計算結果の一例(特性値計算)

EXAMPLE 2.

MODIFIED CONSTANT VELOCITY, NON-STANDARD CURVE NO= 4

T3	T1	VM	AM
0.03125	0.01563	1.03226	51.88695
0.03125	0.03125	1.04144	52.34836
0.06250	0.01563	1.05704	26.56629
0.06250	0.03125	1.06667	26.80826
0.06250	0.04688	1.07647	27.05467
0.06250	0.06250	1.08646	27.30566
0.09375	0.01563	1.08304	18.14650
0.09375	0.03125	1.09315	18.31588
0.09375	0.04688	1.10345	18.48845
0.09375	0.06250	1.11394	18.66431
0.09375	0.07813	1.12464	18.84354
0.09375	0.09375	1.13555	19.02625
0.12500	0.01563	1.11035	15.95308

(以下略)