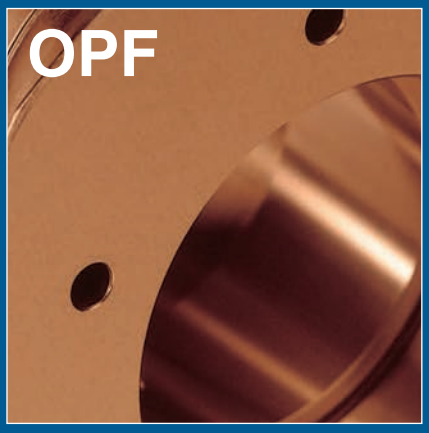
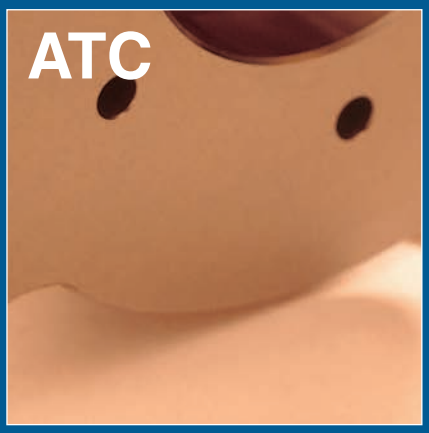
加工 Technical Data

技術資料

OTSUKA HI-TECH





Technical Data

OTSUKA HI-TECH

ハイレベルな技術革新が
カムのグローバルスタンダードを構築する。

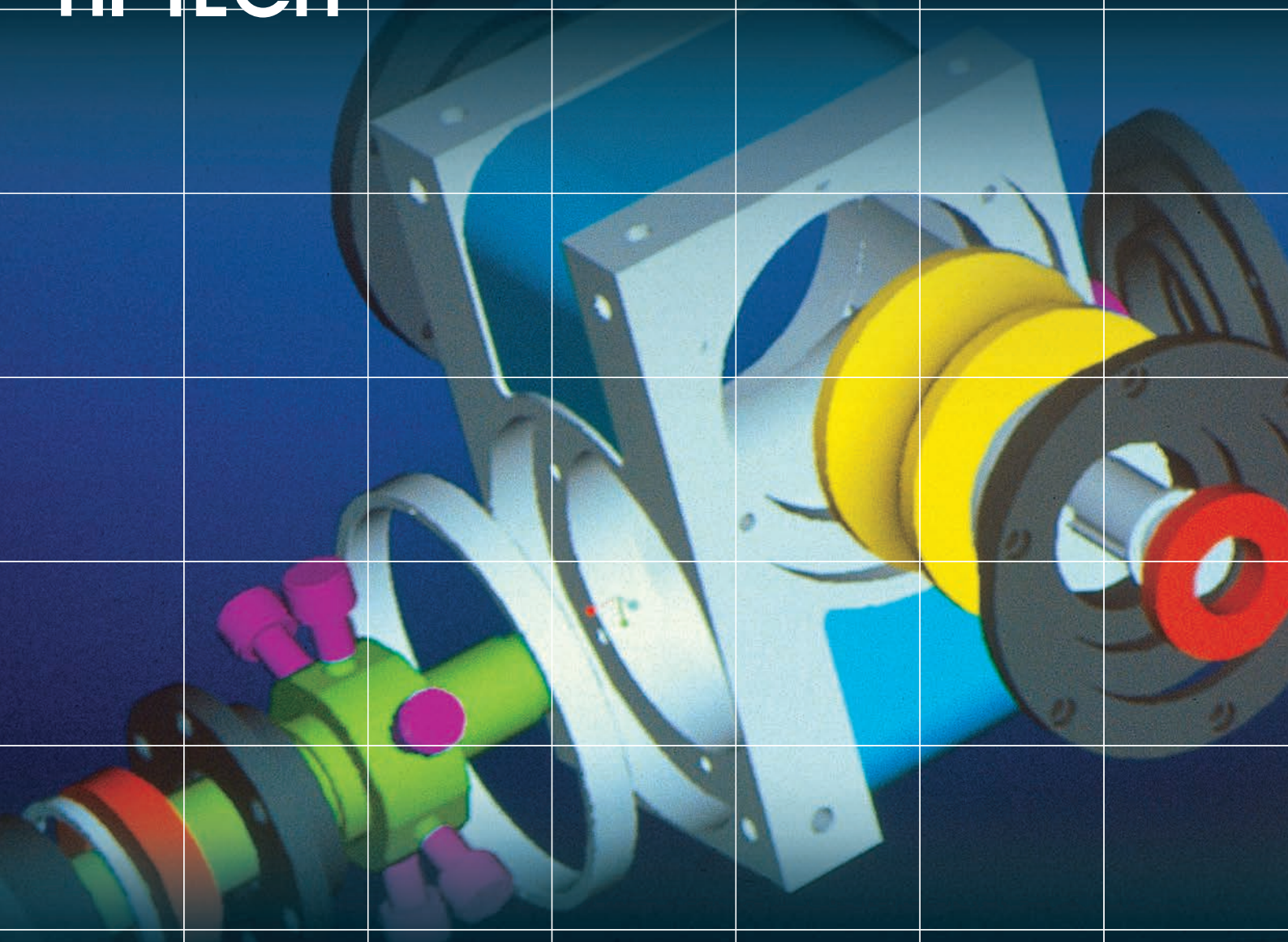
オオツカハイテックの先進技術は
たゆまぬ研究体制により鍛えられています。

オオツカハイテックの製品はご採用いただいた企業の皆様から高い評価をいただいております。その基盤は1959年の創業以来、たゆまぬ研究開発を実践してきた事にあると自負しております。弊社は優秀な専任技術者を擁し、常に時代の産業に必要とされる製品を誕生させるべく精励努力をいたしております。長年に亘る経験と時代の最先端を行く加工機群に加え、完璧に電算化された自社開発ソフトを駆使し、産業界の期待に応えられる体制作りを常に目指しております。本書を機械設計者の皆様に是非参考としていただき、新しい価値を創造する第一歩となればこれに勝る喜びはございません。これからも技術を進化させるべく研究体制を充実させてまいりますので、オオツカハイテックの製品をご採用いただきますよう心よりお願い申し上げます。

OTSUKA HI-TECH

OTSUKA HI-TECH

OTSUKA HI-TECH



OTSUKA HI-TECH

技術資料
CONTENTS

1. カム概要
カムの種類 …… 1
従節機構 …… 2
揺動従節とカム輪郭 …… 4
機械の高速化限界 …… 5

2. カムサイズの概略決定法
圧力角 …… 7
曲率半径 …… 8
線図の使用法 …… 8
曲線の特性比較 …… 10
カムの強度計算 …… 10
例題 …… 12

3. インデックス
間欠機構 …… 13
ローラーギヤカム機構の記号と用語 …… 14
ローラーギヤカム機構の特長 …… 15
パラレルカム機構の記号と用語 …… 16
パラレルカム機構の特長 …… 17
インデックス機構を用いた応用例 …… 19
トルク計算式の導き方 …… 21
機種選定計算法 …… 24
機種選定例 …… 25
慣性モーメント例集 …… 28

4. ピック&プレース
ピック&プレースユニットの機構と特長 …… 29
カム曲線の実際の運動 …… 31

5. ATC
ATC概要 …… 33
ピック&プレースユニットのATCへの応用 …… 33
従来のATCとカム式ATCの比較 …… 34
ATCの機構と特長 …… 35
ATCの仕様決定条件 …… 38
ATC以外でカムを使用した機構例 …… 38
まとめ …… 38

6. カム曲線
カム曲線概要 …… 39
ローラーギヤカムのカム曲線 …… 41
パラレルカムのカム曲線 …… 41
無次元加速度・無次元速度と実加速度・実速度 …… 42
正弦系のカム曲線 …… 43
無次元加速曲線と無次元減速曲線 …… 44
無次元加速、減速曲線の合成 …… 45
ユニバーサルカム曲線の応用 …… 46
カム曲線の最大速度と加速度形状 …… 51
拘束バネとカム曲線 …… 52
カム曲線のデータ …… 54

7. 付記
日本カム工業会標準カム図面の作成 …… 93

1. カム概要

◎カムの種類

カムは、任意形状を持った機械要素であって、その直接接触によって相手側に任意の運動を与えようとするものです。任意の運動を与えるためには、一方のみが任意の形状を持てば充分ですから、相手側としては一般に単純な形状のローラーあるいは平面が用いられます。

カムは一般に原節として用いられ、等速回転させるのが普通です。これに対してカムによって運動を与えられる相手側要素を従節といい具体的には従節ローラー、従節レバー、従節系、従節作動端のように呼ばれています。

カムの形状を分類すると、まず2次元的であるか3次元的であるかによって平面カムと立体カムに分けることができ、カムの運動方向によって直進カムと回転カムに分けられます。また従節をカムに拘束する手段によって片側の開いたカムである板カム、端面カムなどと、両側に壁のある溝カムあるいはリブカムがあります。後者を一般に拘束カムまたは確動カムといい、2枚のカムを用いる共役カムもこれに属します。特殊な用途のカムとしては、従節が間欠回転を行うパラレルインデックスカム、インデックスバレルカム、ローラーギヤカムがあります。図1－1、1－2に代表的なカム図を示してあります。

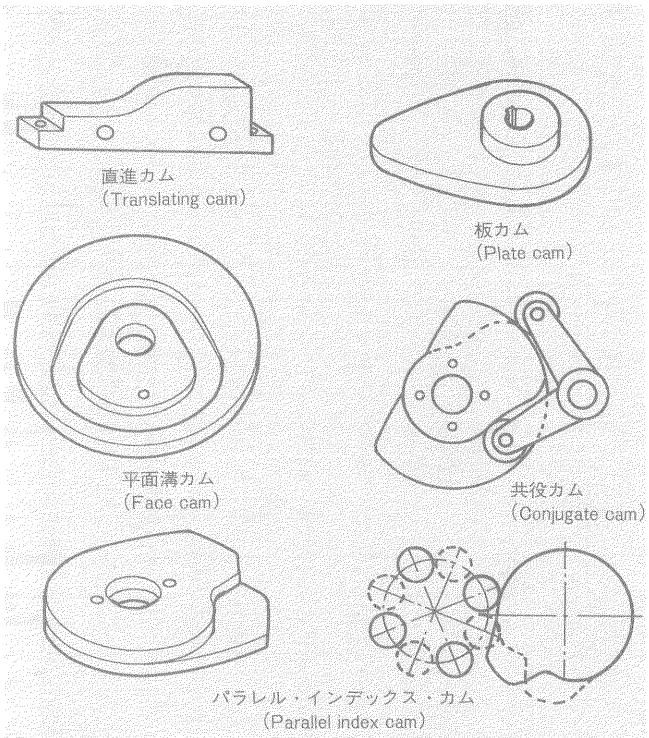


図1－1　平面カム

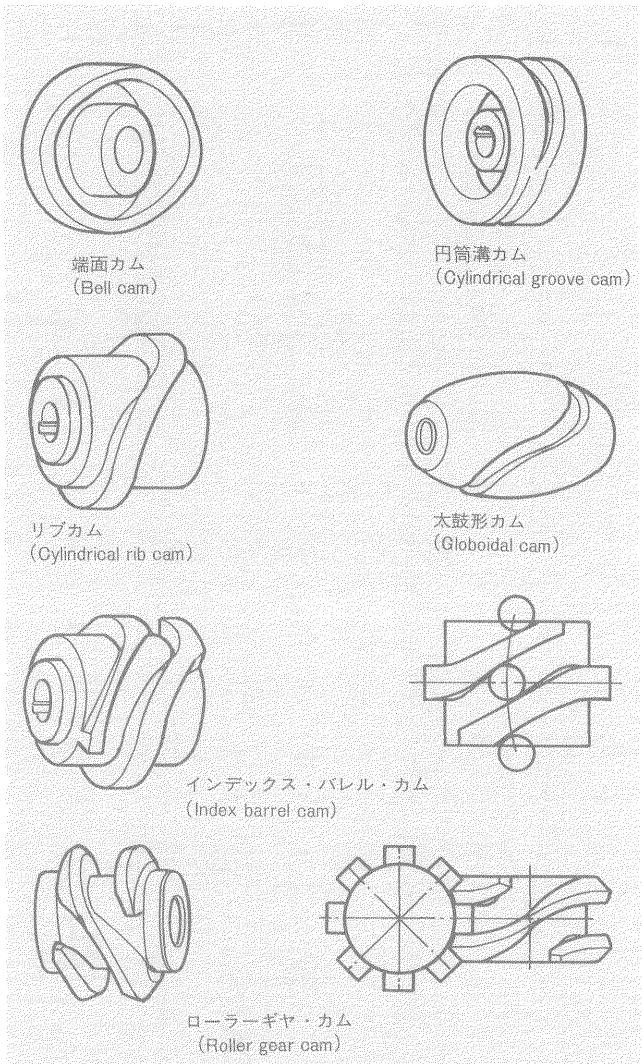


図1－2　立体カム

◎従節機構

従節機構を分類すると、まず接触子の形状が尖端（ナイフエッジ）、平端（平面）または円端（ローラー）に分けることができます。（図１－３参照）片側拘束カムでは尖端、平端、円端を用いることができますが尖端は接触力が一点に集中し、エッジの先端およびカム輪郭の磨耗がはげしくまれにしか使用されません。また平端は内燃機関用カムにしばしば用いられますが、自動機械では特殊な用途にしか用いられません。溝カム、リブカムなどの両側拘束カムでは円端を用いるのが一般的です。

次に従節の運動によって分類すると、直動と揺動に分けられます。機械の作動部分として直動往復運動はしばしば用いられますが、これを直接カム原節とする場合と揺動従節からリンクなどで伝導する場合などがあります。直動部体を直接カム従節とすれば中間の媒体の摩擦損失、たわみ、ガタなどがはぶけるのでプレス、パンチなどにはこの形式が多く用いられます。しかし圧力角が大きいときには、その側圧によって従節と案内との間の摩擦抵抗が大きくなり、さらにまた従節にたわみを起こして運動が円滑に行なわれにくくなる傾向があります。この点では、同じ圧力角の値に対しては揺動従節の方が有利です。また揺動従節リンクなどの組合せ機構では作動部分の変位量をカムのそれに対して拡大、縮小が容易にでき、作動位置、作動方向も自由にレイアウトできます。このため自動機械では揺動従節の方が多く用いられます。このような従節作動端が直動であり接触部体が揺動である最も一般的なカム機構を図１－４に示してあります。

カム装置にはこれらの機構以外のものも多くあり、機械の構造上複雑になる場合も少なくありません。（図１－５参照）

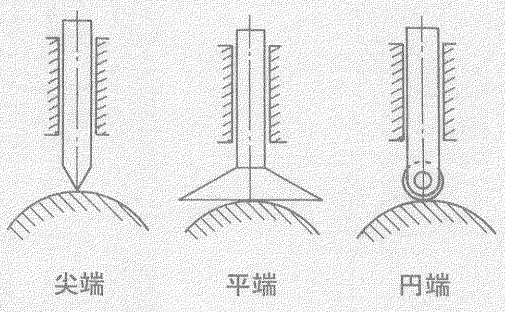


図１－３　接触子の形状

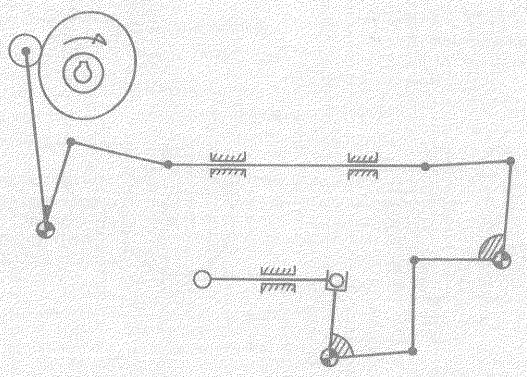


図１－５　複雑なカム機構例

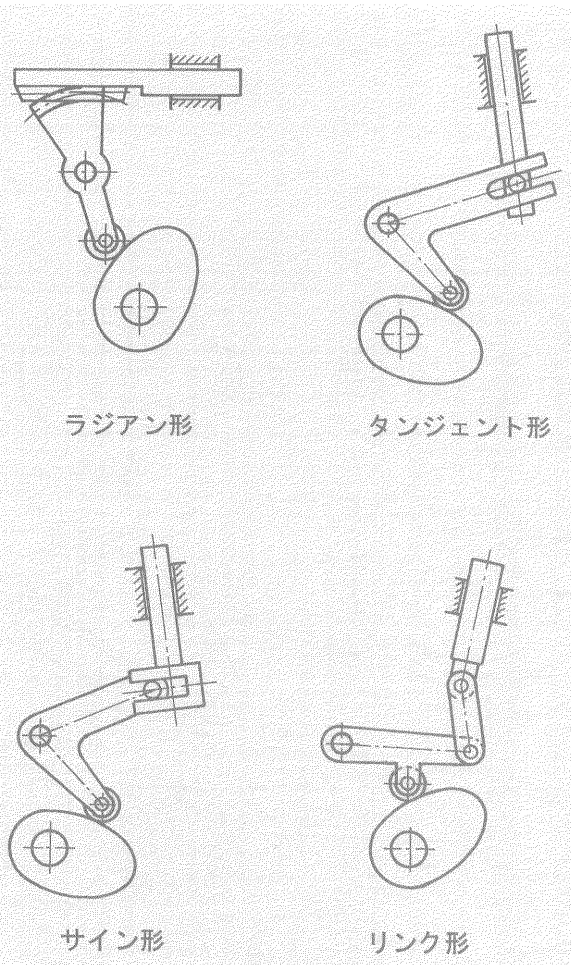


図１－４　代表的なカム機構例

当社プログラミングシステムはこのような複雑機構にも対処できるように20数種の機構要素をソフト化しており（図１－７参照）これらの機構要素は自由に組合せることができ図１－６に示すようなカム機構例も処理することが可能です。

また機構解析にはベクトルを用いて２次微分まで常に解くことによってカム輪郭の圧力角、曲率半径を導くことができます。

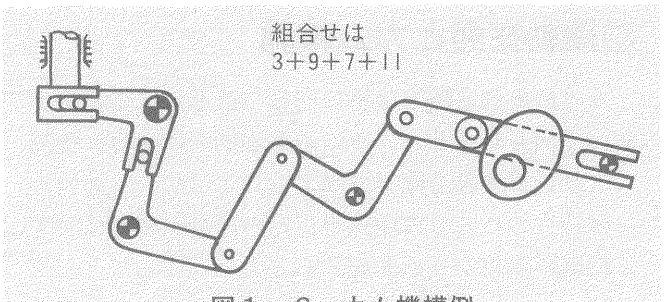


図１－６　カム機構例

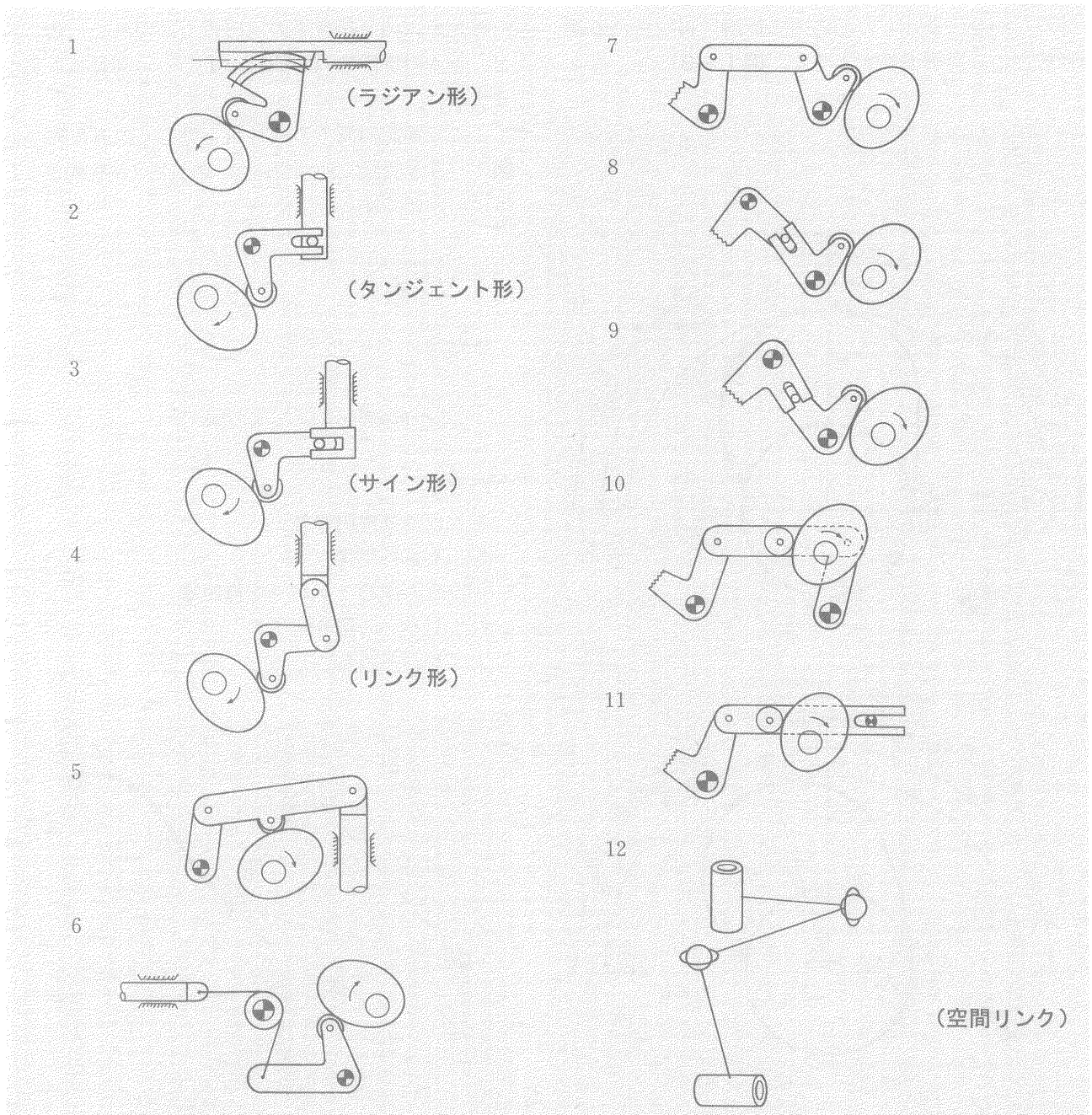


図１－７　機構要素図

◎揺動従節とカム輪郭

カムはそれ自体では単に回転（直進）するだけであって何もしません。カムの基本的な使命は、従節により良い運動を確実に与えることです。そのためには特性の良いカム曲線を従節の運動（時間に対する従節の変位がカム曲線であるということ）として与え、レバー、リンクなどから構成されるカム機構を解き、カム輪郭を決定することが必須の条件です。この意味でカム自体の形状の違いは、カム機構の設計のしかたによるものであって従節に再現される運動特性には影響を与えません。図１－８のａ、ｂ２枚の板カムは両方ともに同じ寸法の従節レバーを、同じ角度だけ揺動させるものですが、カム中心とレバー支点の位置関係が異なるため、まったく違った形状となってしまいます。またそれぞれのカムにおいても、揺動従節であるため、同じ割付角であっても昇り行程と下り行程でカム輪郭は異なります。これはレバーの円弧運動によって起こるカム接線方向の動きが昇りと下りで逆に作用するためです。特に図１－８のｂは従節レバーの最下位置と最上位置のローラー中心がカムの中心から見て一直線上にないため、カムの見掛け上の（形の上に現れた）割付角と、カムの実際の（時間軸の上での）割付角も異なります。

ここで前記の両方の割付角を等しくするためには図１－９の関係においてレバーの長さ l が次式となればよいわけです。

$$l = \sqrt{c^2 - r_o \cdot r_h}$$

または

$$l = -r_o \cdot \sin\frac{\tau_h}{2} + \sqrt{c^2 - r_o^2 \cdot \cos^2\frac{\tau_h}{2}}$$

ただし

r_o ：カム基礎円半径
r_h ：カム外半径
c ：カム中心とレバー支点距離
τ_h ：レバーの振り角
l ：レバーの長さ

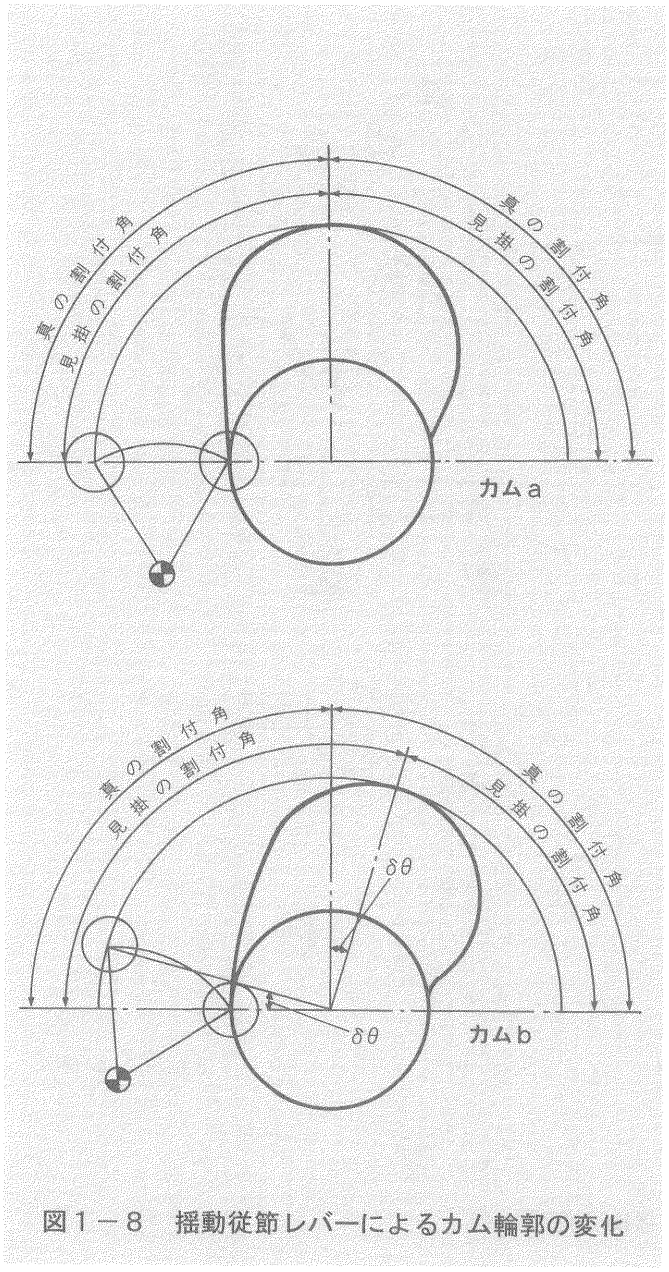


図１－８　揺動従節レバーによるカム輪郭の変化

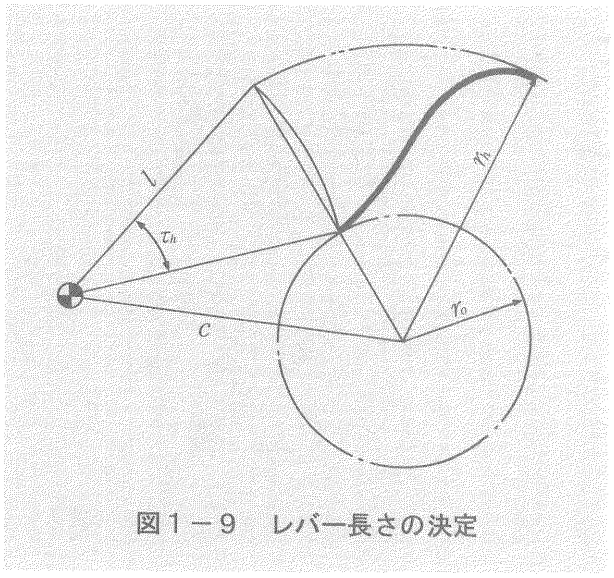


図１－９　レバー長さの決定

揺動従節によるカム輪郭の変位は立体カムにおいても同様に起きます。**図１－10**は円筒溝カムのローラー中心軌跡の展開図です。従節レバーの揺動運動は対称曲線ですがカム輪郭は対称形とはなりません。

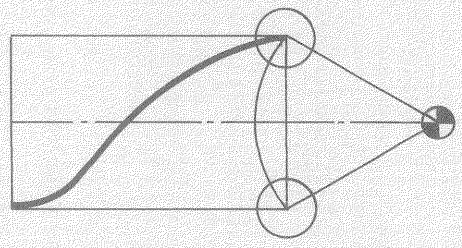


図１－10　揺動従節円筒溝カム展開図

◎機械の高速化限界

機械の回転数をあげていくと、次第に動的な力(dynamic-force)が大きくなり、振動や摩耗の原因となり、遂には破壊にいたってしまいます。回転数の限界はもちろん、系の性質によって異なりますが、一つの目安として可動部の最大速度が、ある一定値をこえないように設計する方法があります。

表１－１は自動機械の場合について、その設計限界値を示したもので、「並」と書いた欄はほぼ手作業の最大値を示したものです。したがって機械に手作業程度の静かさとなめらかさを要求したい場合の値、「上」と書いた欄は機械ならばこのぐらいは大丈夫だろうという値、「特上」と書いた欄は高速機械の限界設計をする場合にほぼ相当します。

	最大加速度 a_m	最大速度 v_m
並	1 g	1 m／s
上	3 g	2 m／s
特上	8 g	3 m／s

表１－１　自動機械の設計限界値

まず加速度から説明しますと、1 g（ジー）はもちろん重力の加速度であり通常の条件下における手作業の動きの実測最大値もこのぐらいです。3 g はスペースシャトル（一般人も乗る）の最大加速度、8 g は月ロケット（訓練された宇宙飛行士が乗る）の最大加速度として採用されている数値です。たとえば質量 3 kg の物体に 8 g の加速度がはたらくと、その物体の慣性力は 235.4 N になります。

速度の最大値はこれらに対応して、自動機械程度のストローク（だいたい 1 m 以下ぐらい）と周囲条件（ぶつかってこわれる可能性など）を想定して決めてあります。最大速度の値は乗物ではやや異っており超高層ビルに用いられる高速エレベーターでは毎分 750 m（＝12.5 m／s）が採用されており、東海道新幹線では周知のように 300 km／hr（＝83 m／s）が設計値として採用されています。

この両者の条件はストロークの小さいところでは加速度条件、大きいところでは速度条件の方がきつくなっています。その境界はだいたい 300 mm 前後ですから一般的には加速度限界だけで設計を行っても大きな誤りとはならないでしょう。

MEMO

2. カムサイズの概略決定法

カム輪郭とは従節作動端にカム曲線を与え機構を解いた結果としてできあがる形状で、これにはカム曲線の方程式と機構のベクトル方程式を解かなければなりません。以上の計算にはコンピューターが必要となり、また希望する最大圧力角、最小曲率半径のカムを得るためには数回の処理が必要となってきます。NC データーを出力する最終段階では上記の方法で厳密解を算出しなければなりませんが、設計の初期からこの様な方法を実行することは非常に煩わしいものです。そこで本資料は概略的に代表的な曲線の最大圧力角、最小曲率半径を求められるように直動従節板カムと直動従節端面カムの最大圧力角線図、最小曲率半径線図を付表に掲載し、その使用法とカムの強度計算を併せて説明することによってカムサイズの概略決定法として御使用頂けるようにまとめてあります。付表の線図は直動カムとしては真値ですから線図の読み取りによるもの以外には誤差はありません。また揺動従節においても近似値として充分御使用頂けるものと思います。

◎圧力角

圧力角とはカムが従節に与える力の方向と従節の運動方向のなす角度であります。図２－１においてカムが従節に与える力を F、圧力角を ϕ とし、従節の運動方向への分力を F_t、従節の運動と直角な方向の分力を F_n とすると、

$$F_t = F \cdot \cos\phi \qquad (1)$$
$$F_n = F \cdot \sin\phi$$

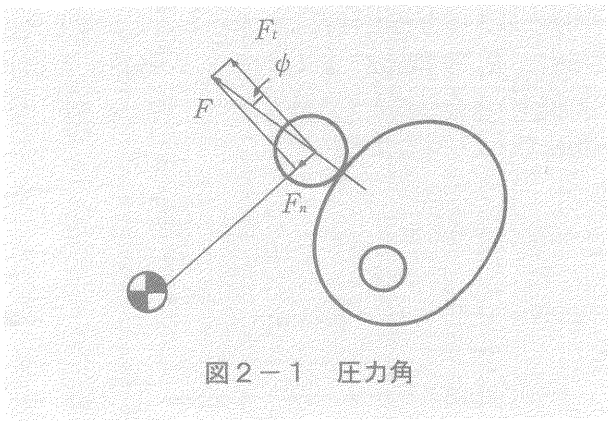


図２－１　圧力角

となります。ここで F_n は従節の支点に力を加えるだけで、従節の運動には何の効果も与えない無駄な力です。言い換えれば圧力角が小さい程 F_n が小さく F_t が大きくなりカムによる従節への動力伝達効率が高くなります。よって圧力角が高くなるに従って伝達効率が低下し、ある値以上になると動力の伝達が不可能となります。これを圧力角の限界値といいます。一般に圧力角の限界値は直動従節の場合で 30°、揺動従節の場合で 45° といわれていますが、実際には直動で 30° にすると動かないことがあり、一方揺動の 45° にはまだまだ余裕があります。間欠機構のカムでは 60° を超えるものも少数ではあるが存在します。また圧力角を検討する場合、負荷荷重の性質も吟味しなくてはなりません。

圧力角は速度の関数ですから、最大圧力角が存在する部分は運動の中央付近です。よって慣性による負荷が大部分であるような機構においては最大圧力角部分での負荷は低いので（一般にカム曲線の中央付近は加速度の値は小さい）比較的最大圧力角が高くても問題はありません。

これに対して摩擦負荷やバネ負荷が大きいものは最大圧力角部分でも負荷は減少しませんから圧力角を低く抑えるように注意が必要です。

◎曲率半径

カム輪郭は一般にローラー中心軌跡によって与えられ、カム曲線が加速度まで連続であればローラー中心軌跡も曲率まで連続な滑らかな曲線となりますが、カム自体はこの軌跡を中心としたローラーの包絡線によって作られる輪郭ですから必ずしも滑らかな曲線とはなりません。仮にローラー中心軌跡の曲率半径がローラー半径より小さな部分があったとすると、**図２－２**のように輪郭は切下げを生じてしまい確実な運動の再現は望めません。特に確動カムにおいては、従節を拘束する力がまったくない部分ができあがり、いわゆるガタガタの状態となってしまいます。したがってローラー中心の曲率半径は少なくともローラー半径以上でなければならず、ヘルツの式よりローラー半径の２倍（カム輪郭曲率半径とローラー半径が同じ）以上が理想です。また同一条件で大きな曲率半径を作る曲線は一般に最大加速度が小さい曲線です。この意味で等加速度曲線が最も優れた特性を持ちますが加速度が不連続なため高速には使用できません。連続曲線としては変形台形曲線が最も優れています。外カムの場合は非対称曲線によって切下げを防ぐこともできます。

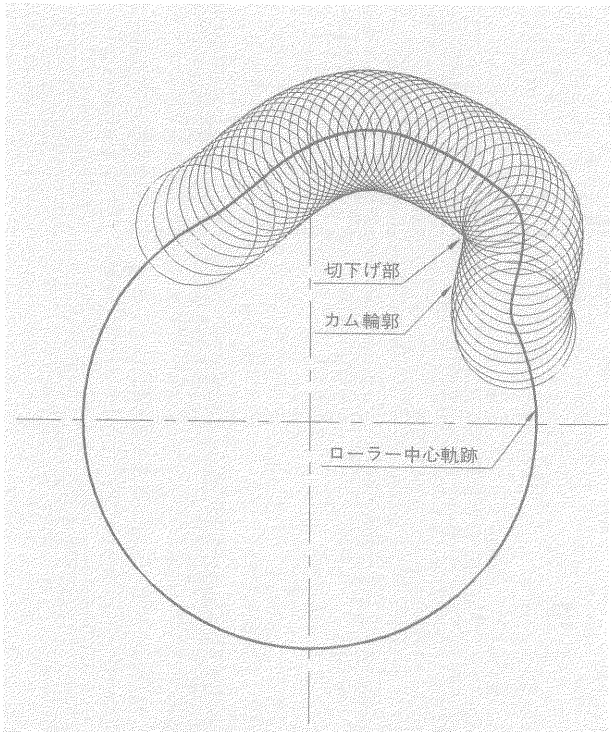


図２－２　切下げ

◎線図の使用法

１）板カムの最大圧力角の求め方

付表①～⑥は基礎円半径（ローラー中心）R_b を100mmとした最大圧力角線図です。

横軸に割付角 θ_h（deg）、縦軸にストローク S（mm）をとり最大圧力角 ϕ_{max}（deg）を５°とびに５°～70°までプロットしてあります。基礎円半径が100mm以外の場合はデーターをスケーリングしてこの線図を使用します。　　**（図２－３参照）**

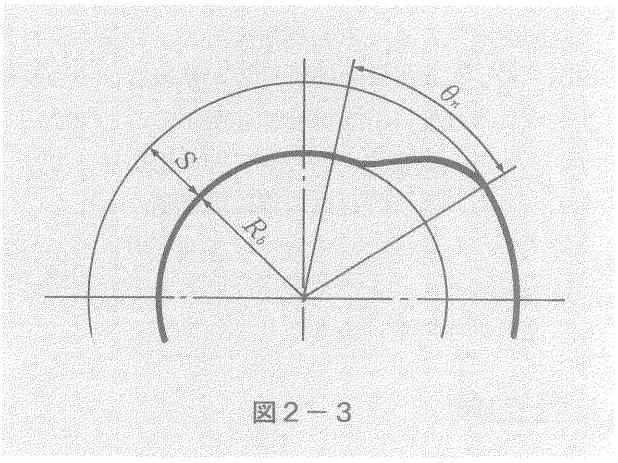


図２－３

圧力角は割付角が一定ならば次の関係式が成り立ちます。

$$\phi = F(S, R_b) = F(\alpha \times S, \alpha \times R_b) \quad \text{———} (2)$$

即ち、割付角が一定ならば任意の圧力角を与えるストロークと基礎円半径を共に α 倍しても圧力角の値は変りません。この関係によりどのような基礎円半径の最大圧力角も付表より求めることができます。例えば、$R_b = 75$mm、$\theta_h = 30°$、$S = 25$mm、変形正弦曲線の場合を考えてみましょう。式(2)より以下の関係式が成り立ちます。

$$\alpha \times R_b = 100\text{mm} \qquad \alpha = \frac{100}{R_b} = \frac{100}{75}$$

$$\alpha \times S = \frac{100}{75} \times 25 = 33.3\text{mm}$$

よって付表④より $\theta_h = 30°$、$\alpha \times S = 33.3$mm の交点を見つけ ϕ_{max} を求めると約44°となります。このようにして**付表①～⑥**をカム曲線によって区別し最大圧力角を求めます。また最大圧力角とストローク

より基礎円半径を求めることも同様にできますから、限界最大圧力角よりカムサイズを決定することが可能となります。

2）板カム最小曲率半径の求め方

圧力角の場合と同様に**付表⑦～⑫**は基礎円半径100mmの最小曲率半径線図です。横軸に割付角、縦軸にストロークをとり最小曲率半径 ρ_{min} を5mmとびに5mm～95mmまでプロットしてあります。さて曲率半径は割付角が一定であれば次の関係式が成り立ちます。

$$\rho = F(S, R_b) = \frac{1}{\alpha} \cdot F(\alpha \times S, \alpha \times R_b) \quad \text{———(3)}$$

即ち、割付角が一定ならば任意の曲率半径を与えるストロークと基礎円半径を共に α 倍すると曲率半径も α 倍されます。例えば $R_b = 60$mm、$\theta_h = 55°$、$S = 15$mm、変形等速度曲線の最小曲率半径を求めます。圧力角の場合と同様スケーリング後のストローク $\alpha \times S$ は

$$\alpha \times S = \frac{100}{60} \times 15 = 25\text{mm}$$

となります。よって**表⑪**より基礎円半径100mmの最小曲率半径 $\alpha \times \rho_{min}$ は約45mmと読み取れますから $R_b = 60$mmの最小曲率半径 ρ_{min} は

$$\rho_{min} = \frac{60}{100} \times 45 = 27\text{mm}$$

となります。

3）端面カム圧力角の求め方

端面カムは展開することによって直進カムとなります。直動従節直進カムの圧力角は次式によって求められます。**（図2－4参照）**

$$\phi = tan^{-1} \frac{y_h}{x_h} \cdot V \quad \text{———(4)}$$

ただし、y_h ：従節のストローク（$= S$）

x_h ：カムのストローク

V ：無次元速度

端面カムの基準円半径を R_p、割付角を θ_h とするとカムのストローク x_h は次式となります。

$$x_h = \frac{2\pi \cdot R_p \cdot \theta_h}{360} \quad \text{———(5)}$$

よって最大圧力角 ϕ_{max} は

$$\phi_{max} = tan^{-1} \frac{180 \cdot S}{\pi \cdot R_p \cdot \theta_h} \cdot V_m \quad \text{———(6)}$$

となります。**付表⑬～⑱**は(6)式の R_p を100mmとしてプロットしたものです。使用法は板カムの最大圧力角線図の場合と同様です。(6)式は簡単な数式ですから付表を使用されなくてもその真値が求められます。

4）端面カム最小曲率半径の求め方

付表⑲～㉔は基準円半径：R_p を100mmとした最小曲率半径線図です。

（図2－4参照）横軸に割付角 θ_h、縦軸にストローク S をとり、最小曲率半径 ρ_{min} を5mmとびに5mm～100mmまでプロットしてあります。板カムの場合と同様に割付角が一定であれば曲率半径 ρ は

$$\rho = F(S, R_p) = \frac{1}{\alpha} \cdot F(\alpha \times S, \alpha \times R_p)$$

となりますから基準円が100mm以外の場合の算出方法も板カムと同様です。

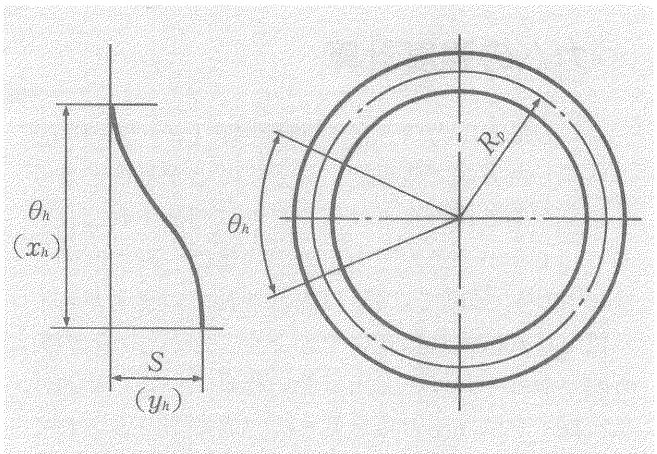


図2－4

◎曲線の特性比較

曲線の特性を最大圧力角と最小曲率半径より評価してみると以下のようになります（不等号の大きい方を特性が良いとする）

a）最大圧力角

変形等速度＞単弦＞

変形正弦＞変形台形＝サイクロイド

b）最小曲率半径

変形台形＞単弦＞変形正弦＞

サイクロイド＞変形等速度

この評価は一般に使用されやすい割付角、ストロークの範囲内を見た結果であって線図の総てのデーターに対してではありません。基礎円半径100mmの板カムの最小曲率半径を例にとりますと、ストロークが55mm以上では単弦の方が変形台形より同一条件で大きな曲率半径を取ることができます。また割付角が85°以上でストロークが約10mm以上であれば変形正弦も変形台形より特性が良くなります。

最大圧力角、最小曲率半径の両方から特性順位を見ますとカム輪郭を作る上で単弦が最も扱いやすく、サイクロイドが比較的扱いにくいことが判ります。しかし単弦は加速度が不連続なため停留曲線としては高速には使用できません。やはり変形正弦曲線が総てにおいて無難でしょう。

◎カムの強度計算

カムの最大圧力角と最小曲率半径（ローラー中心）は前述した方法で概略的に求めることが可能となりましたがその値の良否は何を基準に判断すれば良いのでしょうか？最大圧力角の限界値は一般に直動では30°以内、揺動では45°以内とされていますからこの値を目安にすれば良いでしょう。しかしカムの負荷能力からすれば圧力角は低い程良く、また高速になる程、やはり圧力角を低くすべきであるとされていますから余裕を持った値を設定するようにしましょう。最小曲率半径の限界値は圧力角のように決まった値はありません。従節の負荷荷重に耐えられるローラー径とカム輪郭面の最小曲率半径が維持できれば良いのです。これはヘルツの式より算出されますが、この時そのローラーのピンの曲げ強度、寿命強度も考慮しなくてはなりません。以下にその強度計算方法を記します。

1）面圧強度（ヘルツの式）

$$f_a = \pi \cdot b \cdot \rho_e \cdot \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \cdot \sigma_c^2 \qquad (7)$$

f_a ：許容法線方向圧縮荷重（N）

b ：接触面の長さ（カム厚）（mm）

ρ_e ：等価曲率半径（mm）

ν_1, ν_2 ：両材料のポアソン比（鉄鋼では0.3）

E_1, E_2：両材料の縦弾性係数（N／mm²）

焼入鋼E＝205940N／mm²

鋳鉄（FC30）E＝127490N／mm²

σ_c ：許容面圧応力（N／mm²）

$$\text{ただし、} \rho_e = \frac{D/2 \times \rho_p}{D/2 + \rho_p} \qquad (8)$$

D ：ローラー径（mm）

ρ_p ：カム輪郭の曲率半径（mm）

許容面圧応力σ_cは歯車材料では次の値が推奨されています。

調質材　$\sigma_c = 2.45 \cdot H_B$

表面の硬化材　$\sigma_c = 24.5 \cdot H_RC$

H_B　：ブリネル硬さ

H_RC ：ロックウェル硬さCスケール

一般にσ_cの値として、鋳鉄では490N／mm²前後、鋼では784～1471N／mm²ぐらいに選ぶのが無難とされています。

表２－１に市販（NTN）のカムフォロア径D、長さB、有効長さbの寸法を示します。

カムフォロア径 D	16	19	22	26	30	32	35	40	47	52	62	72	80	85	90
長さ B	11	11	12	12	14	14	18	20	24	24	29	29	35	35	35
有効長さ b	10	10	11	11	12	12	16	17	21	21	26	25	31	31	31

表２－１　カムフォロア径、長さ、有効長さ寸法表（mm）

2）ピン曲げ強度

$$f_a = \frac{\pi \cdot d^3}{32 \cdot l} \cdot \sigma_a \text{（片持）} \quad (9)$$

$$f_a = \frac{\pi \cdot d^3}{8 \cdot l} \cdot \sigma_a \text{（両持）} \quad (10)$$

f_a ：ピン曲げ許容荷重（N）
d ：ローラーピン径（mm）
l ：ローラー幅（mm）
σ_a ：ピン材料の許容曲げ応力（N／mm²）

ピン材料としては一般にSCM21が用いられます。SCM415（引張り強さ834N／mm²）を用い、安全率を5に選ぶと、

σ_a ＝166.7N／mm²

となります。この値によって、市販（NTN）のニードル形カムフォロア（片持ち）におけるピンの許容曲げ荷重f_aを計算したものを**表2－2**に示します。

ローラー径 D(mm)	ピン径 d(mm)	ローラー幅 B(mm)	ピン曲げ許容荷重 f_a（N）
16	6	11	321
19	8	11	762
22	10	12	1364
26	10	12	1364
30	12	14	2020
32	12	14	2020
35	16	18	3724
40	18	20	4772
47	20	24	5455
52	20	24	5455
62	24	29	7801
72	24	29	7801
80	30	35	12625
85	30	35	12625
90	30	35	12625

表2－2　ピン曲げ許容荷重（片持ち）

3）ローラー寿命強度

$$f_a = k_H \cdot k_v \cdot C \quad (11)$$

$$k_H = (500 / L_H)^{0.3} \quad (12)$$

$$k_v = (33.3 / n_r)^{0.3} \quad (13)$$

f_a ：許容軸受荷重（N）
k_H ：寿命時間係数
k_v ：速度係数
C ：基本動定格荷重（N）
L_H ：期待寿命時間（時間）
n_r ：使用ローラー回転数（rpm）

期待寿命時間L_Hは自動機械においては8000時間程度に設定しますからk_H＝0.435となります。市販カムフォロア(NTN)の基本動定格荷重Cを**表2－3**に示します。

ローラー径 D(mm)	16	19	22	26	30	32	35	40	47	52	62	72	80	85	90
NTN品番	KR16 KRV16	KR19 KRV19	KR22 KRV22	KR26 KRV26	KR30 KRV30	KR32 KRV32	KR35 KRV35	KR40 KRV40	KR47 KRV47	KR52 KRV52	KR62 KRV62	KR72 KRV72	KR80 KRV80	KR85	KR90 KRV90
基本動定格荷重C（N）	3850 6250	4500 7200	5050 7900	5050 7900	7500 11700	7500 11700	11800 17200	13600 18900	20300 28300	20300 28300	29100 39000	29100 39000	44000 57000	44000	44000 57000

表2－3

◎例題

割付角60°、ストローク15mm、カム曲線：変形正弦の板カムを設計せよ。但しカム軸回転数120rpm、最大負荷荷重980Nとし最大圧力角は30°とする。

1）圧力角

付表④より割付角60°、最大圧力角30°の交点を読み取るとストロークは約41mmとなる。この表は基礎円半径100mmであるからストローク15mmの基礎円半径R_bは

$$R_b=\frac{15}{41}\times 100=37\text{mm}$$

となる。

2）曲率半径

付表⑩より割付角60°、ストローク41mmの最小曲率半径を読み取ると約56mmとなる。よって基礎円半径37mmの最小曲率半径ρ_{min}は

$$\rho_{min}=\frac{37}{100}\times 56=21\text{mm}$$

となる。ローラーに市販のカムフォロアφ22を使用するならば、カム輪郭の基礎円径がφ52、トップ円径がφ82となりほぼバランスの良いカムとローラーになる。

3）負荷法線荷重

負荷法線荷重fonは以下の値となる。

$$fon=\frac{f_o}{\cos\phi_{max}}=\frac{980}{\cos 30}=1131.6\text{N}$$

4）カム強度計算

ローラー中心最小曲率半径が21mmであるから暫定的にφ22のカムフォロア（総コロ形）を使用するものとする。

a）面圧強度

表2－1よりローラー有効長さb＝11mmであるからカム有効巾も11mmとし、材質は焼入鋼を使用しσ_c＝931N／mm²とすると許容法線方向圧縮荷重f_aは(7)式より

$$f_a=\pi\cdot b\cdot\rho_e\cdot\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1}+\frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)\cdot\sigma_c^2$$

$$=\pi\times 11\times 5.2\times\left(\frac{1-0.3^2}{205940}+\frac{1-0.3^2}{205940}\right)\times 931^2$$

$$=1376.5\text{N}$$

となる。

b）ピン曲げ強度

表2－2よりφ22のカムフォロアのピン曲げ許容荷重は

$$f_a=1364\text{N}$$

となる。

c）ローラー寿命強度

期待寿命時間L_Hを8000時間とし、カム有効径d_pは単純に下式と考え

$$d_p=\frac{\text{カム輪郭基礎円径}+\text{カム輪郭トップ円径}}{2}$$

使用ローラー回転数n_rを計算すると

$$n_r=\frac{\frac{52+82}{2}}{22}\times 120=365\text{rpm}$$

よって式(11)より許容軸受荷重f_aは

$$f_a=k_H\cdot k_v\cdot C$$
$$=(500/8000)^{0.3}\times(33.3/365)^{0.3}\times 6080$$
$$=1285\text{N}$$

となる。以上の面圧強度、ピン曲げ強度、ローラー寿命強度計算による許容法線荷重が共に負荷法線荷重より大きくなったため強度的にも満足できるカムであることが証明された。

3. インデックス

◎間欠機構

各種産業機械に不可欠な間欠運動を与える機構には従来より欠歯歯車、爪車、ゼネバなどがあります。**(図3－1)** しかし、このような間欠機構はバックラッシュを除去することはできませんし、加速度も不連続なため、運動特性も停止精度も充分ではありません。そこで近年は高速化の要求とコンピューターと数値制御工作機械の普及に伴い加速度まで連続な運動曲線を重視したカム式インデックス機構に移り変りつつあります。これらのインデックス機構は予圧を与えることによってバックラッシュを除去し運動曲線は使用目的に合せて選択することが可能ですから現存する間欠機構の中で最良のものとされておりパラレルカム、ローラーギヤカム、バレルカムの三方式があります。**(図3－2)**

上記三方式の選択基準は一般に割出数（出力軸が1回転する間に停止する回数）と入出力軸の位置関係です。割出数に於ては少ないものはパラレルカム、中程度のものにはローラーギヤカム、多いものにはバレルカムがそれぞれ適しています。また入出力軸の位置関係はパラレルカムがゼネバと同様の平行であるのに対し、ローラーギヤカム、バレルカムは直角となっています。

このため前者をparallel・indexと呼び、後者をright・angle・indexと呼びます。パラレルカムの語源はここにあります。また**表3－1**にこれらカム式インデックス機構の比較を示します。

	パラレル	ローラーギヤ	バレル
カム形式	平面カム	立体カム	立体カム
割出数の制限	$\frac{1}{2}$～12	$\frac{1}{2}$～24	4～60
割付角の制限	比較的範囲が狭い	広範囲、大きい程容易	広範囲、大きい程容易
入出力軸関係	平行	直角	直角
予圧	かけやすい	かけやすい	かけにくい
設計上の制限	多い	少ない	やや多い

表3－1　カム式インデックス機構の比較

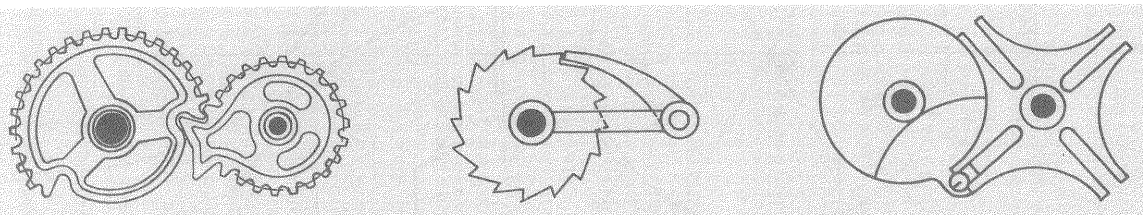


図3－1　従来の間欠機構

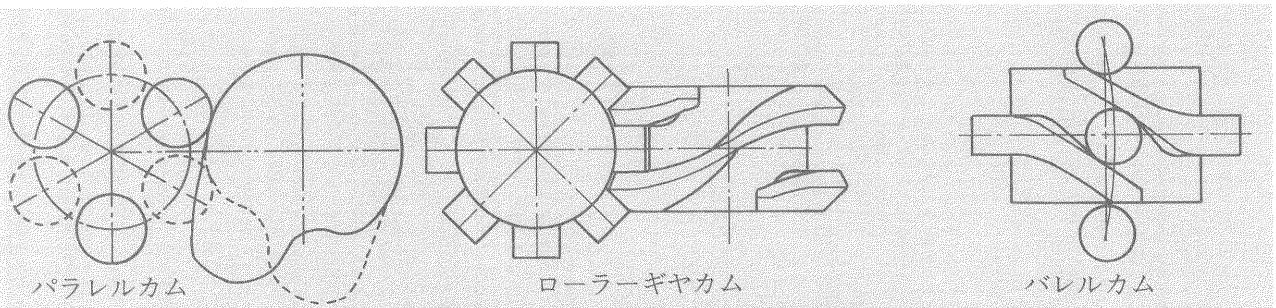


図3－2　カム式インデックス機構

◎ローラーギヤカム機構の記号と用語

ローラーギヤカム機構に使用される専用の記号と用語を以下に示します。

C ：軸間距離（入力軸と出力軸間の距離）

n ：割出数（従節〔タレット〕が１回転する間に停止する回数）

θ_h ：割付角（従節に運動を与えるカム軸の角度）

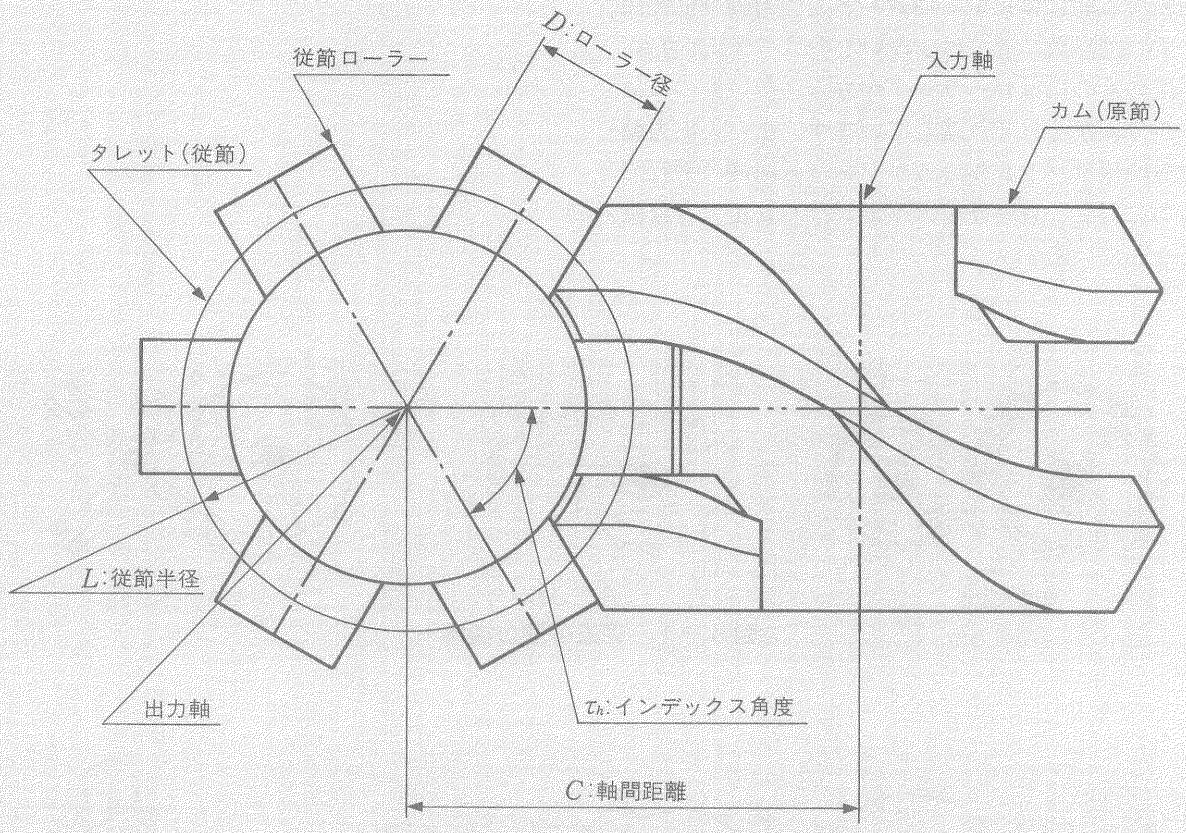
τ_h ：インデックス角度（従節の１インデックス角度 $2\pi/n$）

N_r ：ローラー個数（従節ローラー総個数）

G_m ：ローラー倍数（１インデックスで送られるローラーの個数 N_r/n）

L ：従節半径

D ：ローラー径



($n=6$　$G_m=1$　$N_r=6$　$\theta_h=120°$　ローラーギヤカム)

図３－３　ローラーギヤカムの機構図

◎ローラーギヤカム機構と特長

ローラーギヤカム機構はつづみ形のカムとローラーを放射状に植込んだ従節（タレット）の２軸が直角に配置された間欠機構です。
（図３－３、写真１参照）

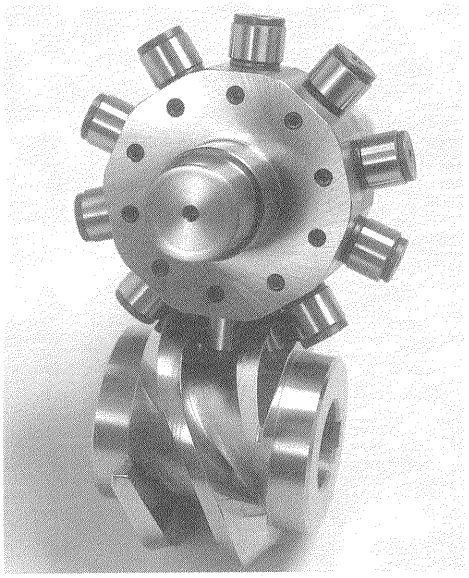
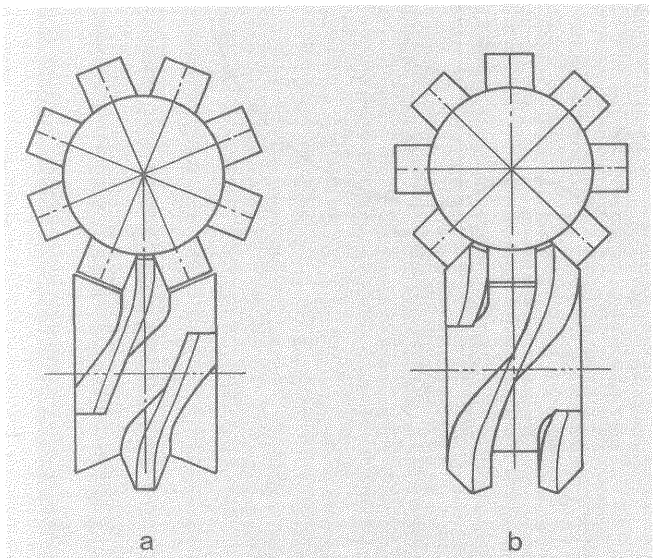


写真１　ローラーギヤカム機構

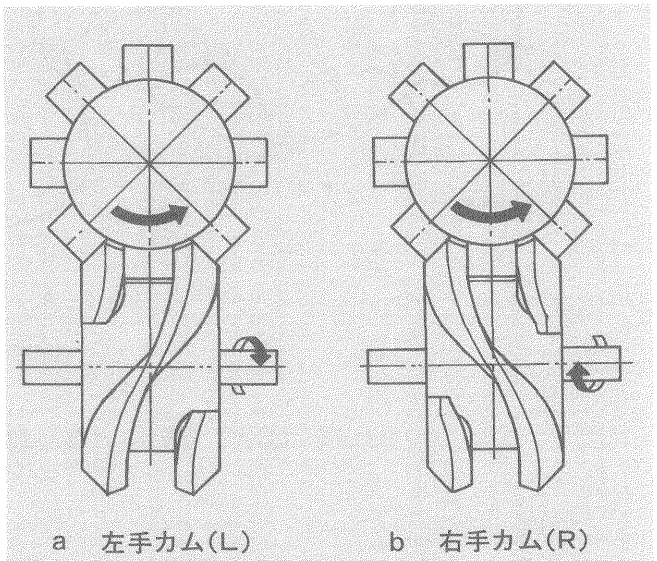
ローラーギヤの名称はタレットの形状に由来し、ギヤに例えればウォームとウォームホイールになります。ローラーギヤカムのリブ面は放射状のローラーとカムとタレットの位置関係よりテーパー状となりますから、カムとタレットの軸間距離を適宜に調整することによって容易に予圧がかけられます。このため精密加工されたローラーギヤカム機構はカム全周に渡ってバックラッシュを〝０〟とすることが可能です。間欠機構に於てその運動が高速になればなるほど慣性トルクの影響が大きくなり軸トルクが負になることは避けられませんから、バックラッシュがなく加速度まで連続なカム曲線を使用しているローラーギヤカム機構は高速に向いている最も良い間欠機構と言えます。ローラーギヤカム機構の形状は停留時のローラー配置より２種類に分かれます。一方はタレットとカムを結ぶ中心線に対し、ローラーを振り分けに配置するもの（図３－４ａ参照）もう一方はローラーが中心線と一致するものです。（図３－４ｂ参照）前者は割付時にローラーがカムのリブからリブへ受け渡されるため瞬間的に回転方向を変えなければなりませんからカムとローラーの摩耗が大きくなります。後者はこの不具合を改良するために考案されたもので、割付時にローラーの受け渡しをせず、一般的に割付より長い停留時にゆっくりローラーを受け渡すことによって摩耗、運動特性共に前者より良いとされています。

ローラーギヤカムはリードのねじれ方向によって入力軸の回転方向が同じでも出力軸の回転方向が変わります。図３－５ａのカムのように左ねじと同じリードを持つものを左手カムと呼び、図３－５ｂのように右ねじと同じものを右手カムと呼びます。ORシリーズを御発注の際は左手カムをＬ、右手カムをＲとしてインデックスコードに記入して下さい。



ａ　　ｂ

図３－４



ａ　左手カム(L)　　ｂ　右手カム(R)

図３－５

◎パラレルカム機構の記号と用語

パラレルカム機構に使用される専用の記号と用語を以下に示します。

C ：軸間距離（入力軸と出力軸間の距離）

n ：割出数（従節〔タレット〕が１回転する間に停止する回数）

θ_h ：割付角（従節に運動を与えるカム軸の角度）

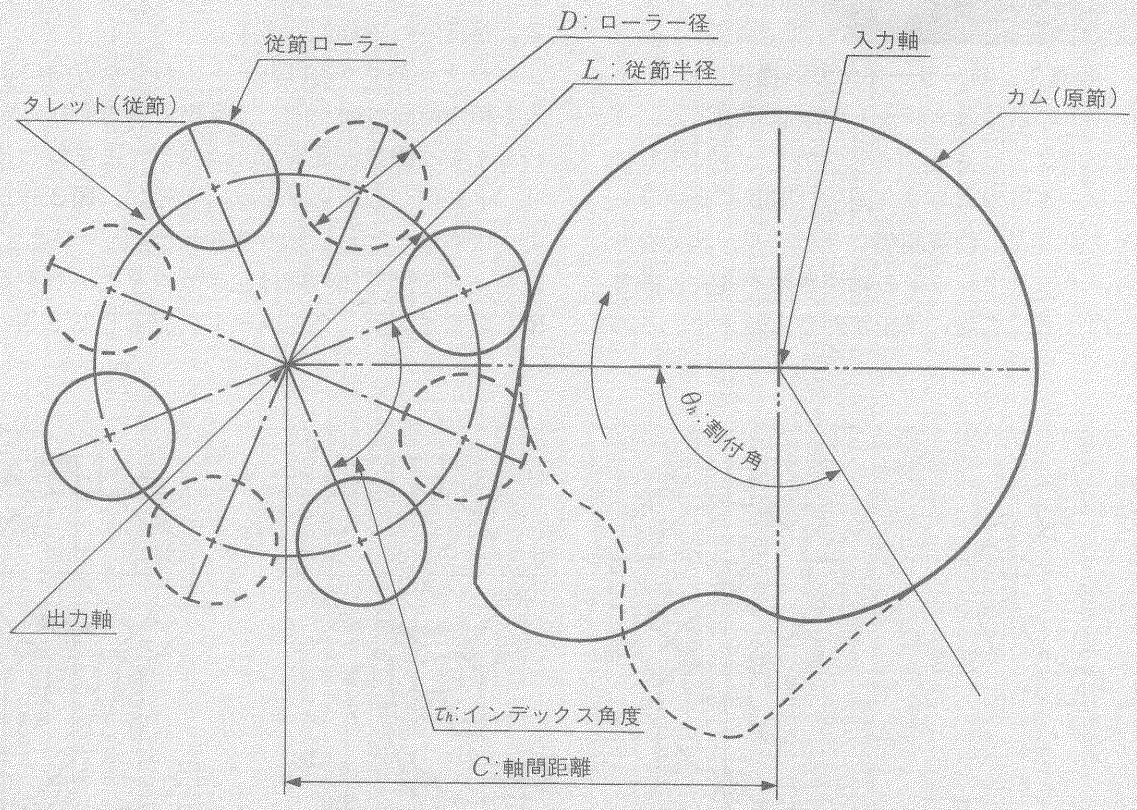
τ_h ：インデックス角度（従節の１インデックス角度 $2\pi/n$ ）

N_r ：ローラー個数（従節ローラー総個数）

G_m ：ローラー倍数（１インデックスで送られるローラーの個数 N_r/n）

L ：従節半径

D ：ローラー径



（$n=4$　$G_m=2$　$N_r=8$　$\theta_h=120^\circ$　１回転形パラレルカム）

図３－６　パラレルカムの機構図

◎パラレルカム機構と特長

パラレルカムは２枚の板カムによって２列の複数個の従節ローラーを順次送ることによって間欠運動させる共役カムの一種です。**（写真２、図３－６、３－７参照）**カム輪郭は停留部の真円とカム曲線によって創成された山形の形状部とによって構成されています。２枚のカムの山は互い違いに組合わされ、一種のギヤのようになって従節ローラーとかみ合い、回転させます。この時の従節の回転運動が加速度まで完全に連続なカム曲線になっています。

また、回転運動が終了すると、従節は２枚のカムの真円部を互い違いのローラーによって挟み、完全にロックし、停止状態になります。このようにしてカムが取り付けられた入力軸が定速回転しますと従節は回転→停止→回転→停止、のサイクルを無限に繰り返します。

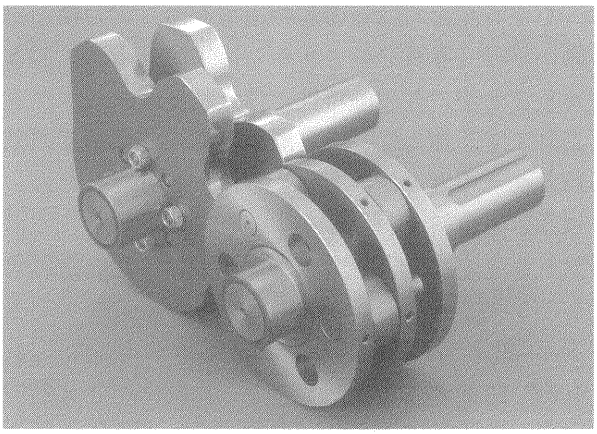


写真２　パラレルカム機構

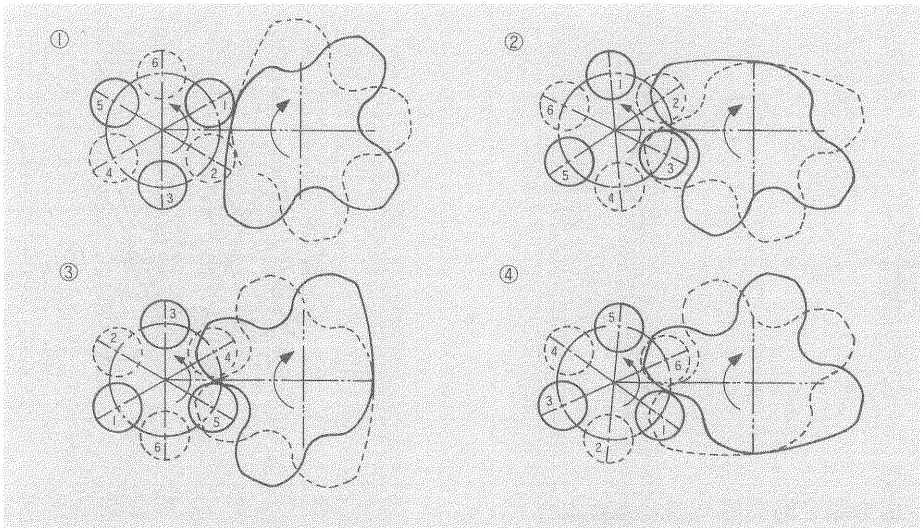


図３－７ａ　パラレルカムの回転

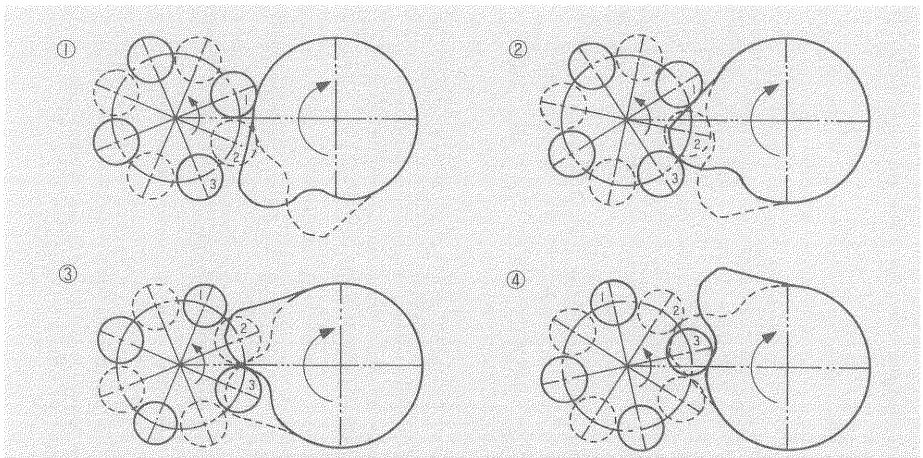


図３－７ｂ　パラレルカムの回転

パラレルカムはその名の由来どおり入力軸と出力軸が平行（**写真２**）ですから従来のゼネバに置き換えることができ運動特性、停止精度共、ゼネバより良好です。加えて、ある制限範囲内では任意の割付角と任意のカム曲線を与えることが可能なため、機械設計の自由度が増します。特に割出数３、４はパラレルカム設計に於て最適領域で、小さな割付角でもバランスの良いカム機構を作りだすことができます。（**図３－７ｂ参照**）また、割出数１、２に於ても割付角が大きくなりますが、比較的バランスの良いカムを設計することが可能です。（**図３－７ａ参照**）

図３－８、３－９は特殊な例で、前者は入力軸一回転に対して出力軸が２回転して停留し、後者は入力軸半回転に対して出力軸が135°回転し停留する不等分割形のものです。

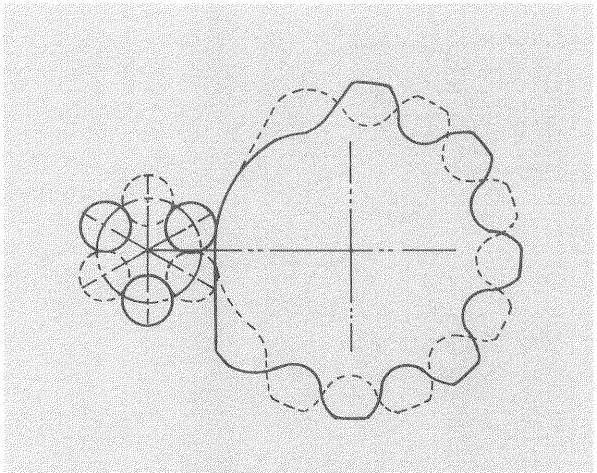


図３－８　出力軸２回転形パラレルカム

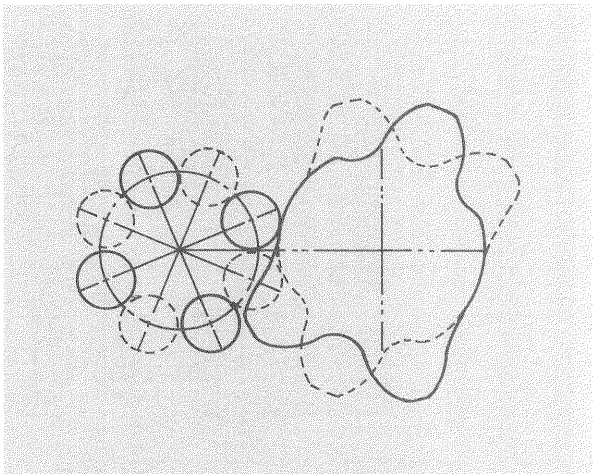


図３－９　不等分割形パラレルカム

◎インデックスカムを用いた応用例

パラレルカム、ローラーギヤカムの標準間欠ユニット以外に当社は特殊ユニット、またオーダーメイドのカム単体販売もしています。以下にその例を述べます。図３－10は工作機械を応用した例で旋盤の刃物台の割り出し装置です。ローラーギヤカムによって刃物台を高速に回転位置決めさせ板カムによってカービックカップリングの噛み合いを同時に行わせます。図３－11はやはり工作機械のマシニングセンターに用いた例で自動工具交換装置（ATC）です。ローラーギヤカムによってスイングアームの旋回を行い平面溝カムによってアームの直進運動をさせます。カム１回転の動作によって新旧工具の交換を完全に行います。

図３－12はロータリー型ベースマシンの例です。このベースマシンの割り出し機構には高精度のローラーギヤカムユニットが組み込まれています。

図３－13ａと図３－13ｂは特殊な円筒溝カムとパラレルカム機構の例です。両者ともに従節のストローク端でカムによってスムーズな発進と停止をさせ、中間の運動はカム以外の機構によって等速で運動させます。長ストロークの機構に使用されます。

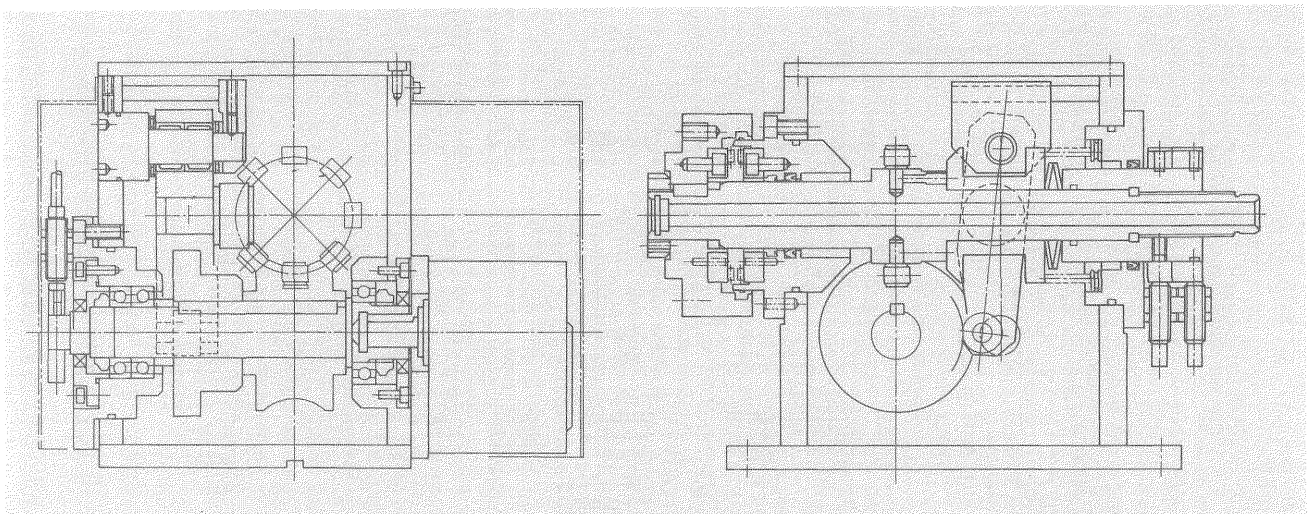


図３－10　刃物台の割り出し装置

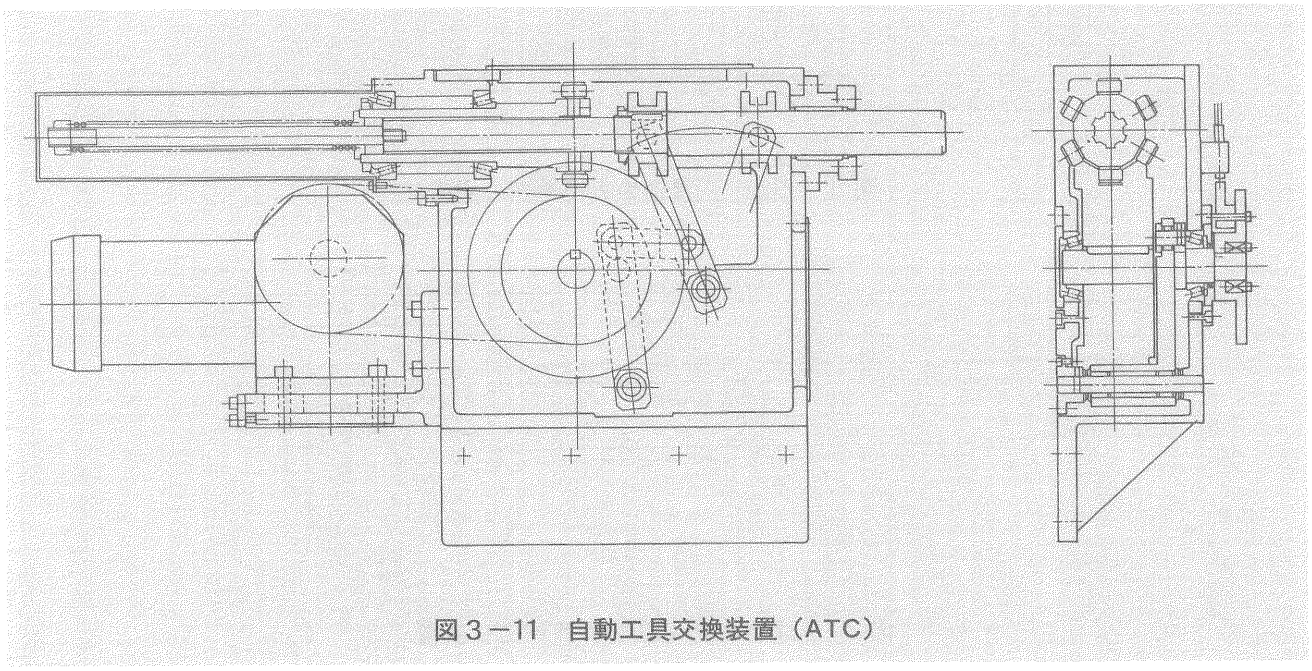


図３－11　自動工具交換装置（ATC）

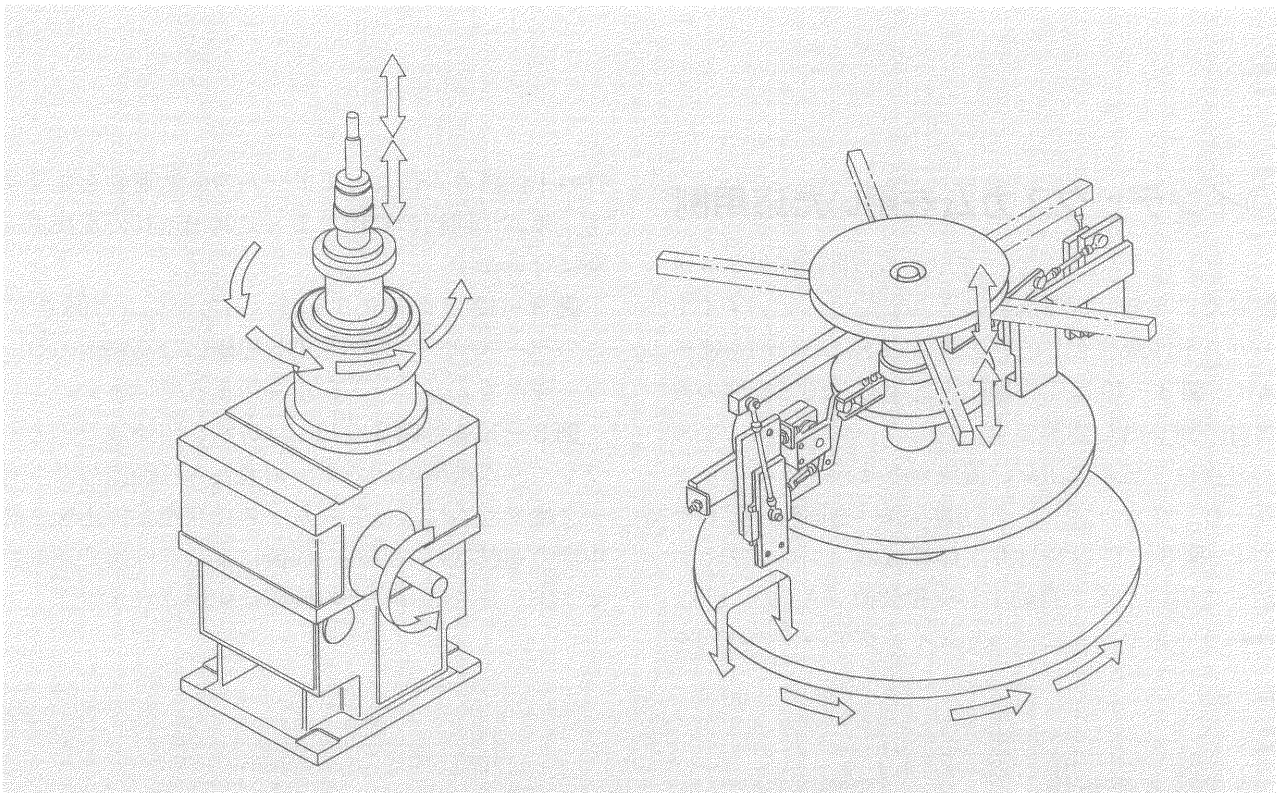


図３－12　ロータリー型ベースマシン

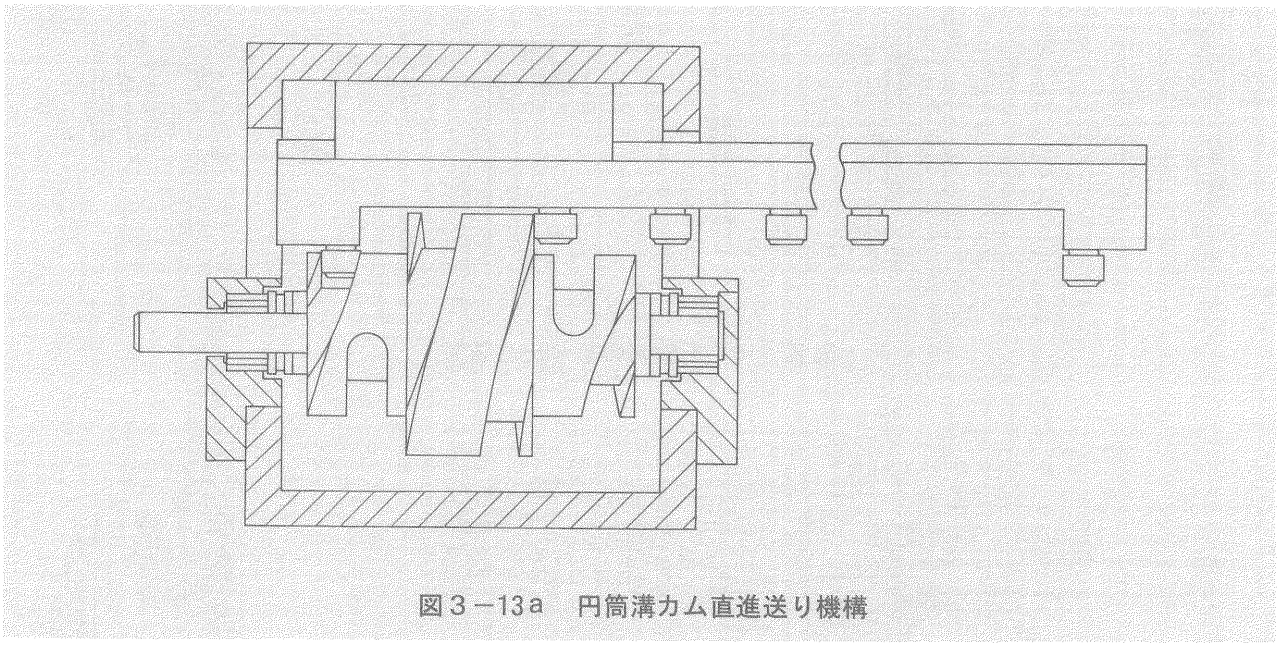


図３－13ａ　円筒溝カム直進送り機構

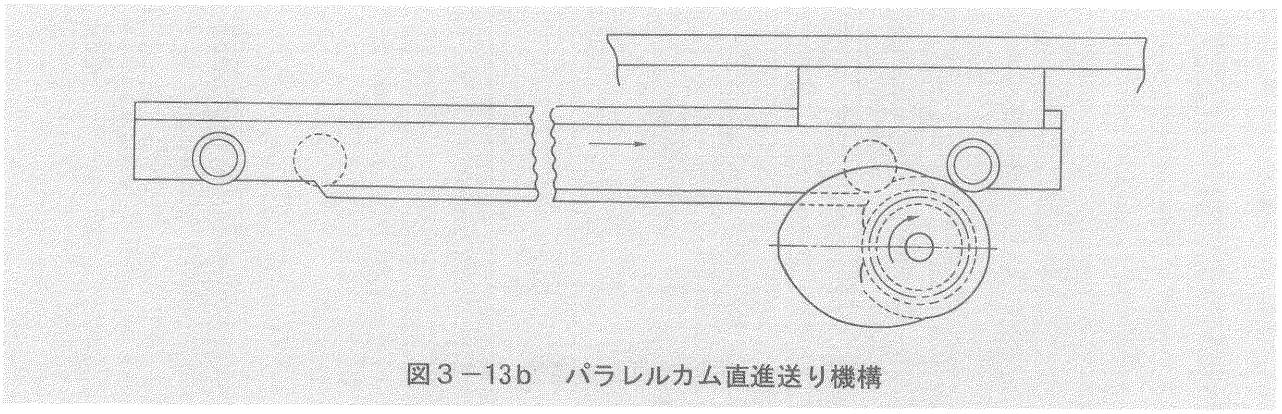


図３－13ｂ　パラレルカム直進送り機構

◎トルク計算式の導き方

1）計算に必要な記号と用語

τ_h ：インデックス角度 （rad）
t_h ：インデックス時間 （sec）
θ_h ：割付角 （deg）
V ：無次元速度
V_m ：無次元最大速度
A ：無次元加速度
A_m ：無次元最大加速度
$(A\times V)$ ：無次元慣性入力トルク
$(A\times V)_m$：無次元最大慣性入力トルク
n ：割出数
n_e ：間接駆動の割出数
I ：慣性モーメント （kgm^2）
I_e ：相当慣性モーメント （kgm^2）
T_o ：総負荷トルク （Nm）
T_i ：慣性トルク （Nm）
T_f ：摩擦トルク （Nm）
T_w ：作業トルク （Nm）
T_{ie} ：相当慣性トルク （Nm）
T_{fe} ：相当摩擦トルク （Nm）
T_{we} ：相当作業トルク （Nm）
T_t ：タレット慣性トルク （Nm）
T_c ：入力軸トルク （Nm）
T_x ：入力軸摩擦トルク （Nm）
g ：重力加速度 （m/sec^2）
a ：角加速度 （rad/sec^2）
W ：質量 （kg）
R_c ：駆動ホイルの半径 （m）
R_f ：平均摩擦半径 （m）
R_w ：作業力半径 （m）
F_w ：作業力 （N）
P_c ：コンベアのピッチ （m）
μ ：摩擦係数
η ：動力効率
N ：入力軸回転数 （rpm）
P ：所要動力 （KW）
PS ：所要動力 （PS）
C_i ：タレット慣性トルク係数
S_f ：サービス・ファクタ
S_l ：寿命余裕係数

2）慣性トルク

カム曲線によって回転運動している物体の角加速度aは(14)式となります。

$$a=\frac{\tau_h}{t_h^2}\cdot A \qquad (14)$$

(14)式は基本式ですからより直接的で扱いやすい形にアレンジしましょう。インデックス機構の場合は、割出数n、割付角θ_h、入力軸回転数Nをそのまま使用すると便利ですから、インデックス角度τ_hとインデックス時間t_hは

$$t_h=\frac{60}{N}\cdot\frac{\theta_h}{360} \qquad (15)-1$$

$$\tau_h=\frac{2\pi}{n} \qquad (15)-2$$

となります。(15)－1、(15)－2式を(14)式に代入し整理すると(16)式を得ます。

$$a=\frac{72\pi}{n}\cdot\left(\frac{N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m \quad (rad/sec^2) \qquad (16)$$

負荷トルク計算では安全を見てその最大値を使用しますから、慣性モーメントをIとすると慣性トルクT_iは(17)式となります。

$$T_i=I\cdot a_{max}=I\cdot\frac{72\pi}{n}\cdot\left(\frac{N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m(Nm) \qquad (17)$$

3）摩擦トルク

摩擦トルクT_fは各部の質量、平均摩擦半径、摩擦係数の積となります。

$$T_f=\mu\cdot g\cdot W\cdot R_f\ (Nm) \qquad (18)$$

4）作業トルク

作業トルクT_wはインデックス時に作業として外部から与えられるトルクです。

$$T_w=F_w\cdot R_w\ (Nm) \qquad (19)$$

5）総負荷トルク

以上の慣性トルクT_i、摩擦トルクT_f、作業トルクT_wの和とサービスファクタS_fの積が総負荷トルクT_oとなります。

$$T_o=(T_i+T_f+T_w)\cdot S_f \ (\mathrm{Nm}) \quad (20)$$

6）間接駆動の負荷トルク

出力軸を減速、増速して使用する場合は相当慣性モーメントI_e、相当摩擦トルクT_{fe}、相当作業トルクT_{we}を求めます。

$$I_e=I\cdot\left(\frac{n}{n_e}\right)^2 \ (\mathrm{kgm^2}) \quad (21)$$

$$T_{fe}=T_f\cdot\left(\frac{n}{n_e}\right) \ (\mathrm{Nm}) \quad (22)$$

$$T_{we}=T_w\cdot\left(\frac{n}{n_e}\right) \ (\mathrm{Nm}) \quad (23)$$

但し、コンベアを使用する場合には特に簡便な式を考えましょう。コンベアの駆動ホイルの割出数をn_e、コンベアのピッチをP_cとすると駆動ホイルの半径R_cは、

$$R_c=\frac{n_e\cdot P_c}{2\pi} \ (\mathrm{m}) \quad (24)$$

となります。よってコンベアの全質量をWとすると、慣性モーメントIは、

$$I=W\cdot\left(\frac{n_e\cdot P_c}{2\pi}\right) \ (\mathrm{kgm^2}) \quad (25)$$

となり(17)式に代入することによって慣性トルクT_{ie}は(26)式となります。

$$T_{ie}=\left(\frac{n}{n_e}\right)\cdot\frac{18\cdot W\cdot n_e}{\pi}\cdot\left(\frac{P_c\cdot N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m$$
$$=\frac{18\cdot W\cdot n}{\pi}\cdot\left(\frac{P_c\cdot N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m \ (\mathrm{Nm}) \quad (26)$$

また摩擦トルク、作業トルクは、それぞれの力とR_cの積となりますから、(27)、(28)式となります。

$$T_{fe}=\left(\frac{n}{n_e}\right)\cdot\mu\cdot g\cdot W\cdot R_c=\mu\cdot g\cdot W\cdot\frac{n\cdot P_c}{2\pi} \ (\mathrm{Nm}) \quad (27)$$

$$T_{we}=\left(\frac{n}{n_e}\right)\cdot F_w\cdot R_c=F_w\cdot\frac{n\cdot P_c}{2\pi} \ (\mathrm{Nm}) \quad (28)$$

コンベアの場合は変速の如何にかかわらずコンベアピッチとインデックス割出数によってトルクが計算されます。

注）間接駆動の慣性トルク

$T_{ie}=\left(\frac{n}{n_e}\right)\cdot T_i$としても求められます。

7）入力トルク

インデックス機構に限らずカム軸のトルク基本式は(29)式で得られます。

$$q_c=\frac{W\cdot y_h^2}{\theta_h\cdot t_h^2}\cdot(A\times V)+\frac{c\cdot y_h^2}{\theta_h\cdot t_h}\cdot V^2+\frac{k\cdot y_h^2}{\theta_h}\cdot(S\times V)$$
$$+\frac{(F_o+F_f+F_g)\cdot y_h}{\theta_h}\cdot V \ (\mathrm{Nm}) \quad (29)$$

右辺の第1項は負荷の慣性によるトルク、第2項は粘性によるトルク、第3項はバネ負荷によるトルク、第4項は摩擦およびバネの初期張力によるトルクです。さてインデックス機構に於てはバネは使用しませんし、粘性摩擦は無視できるものとしますと右辺第1項の慣性によるトルク、第4項の摩擦によるトルクだけを考慮すれば良いことになりますから(30)式となります。

$$T_c=\frac{I\cdot\tau_h^2}{\theta_h\cdot t_h^2}\cdot(A\times V)_m+\frac{(T_f+T_w)\cdot\tau_h}{\theta_h}\cdot V_m$$
$$(\mathrm{Nm}) \quad (30)$$

$(A\times V)$とVの最大値は同時ではありませんが安全を見て入力トルクT_cはそれぞれの最大値の和とします。(30)式は入力トルクの基本式ですからやはり扱いやすい式にアレンジしましょう。前述した慣性トルクT_iは(14)式より(31)式とも書けます。

$$T_i=I\cdot\frac{\tau_h}{t_h^2}\cdot A_m \quad (31)$$

これを(30)式に代入し整理すると(32)式が得られます。

$$T_c=\frac{360}{n\cdot\theta_h}\cdot\left(\frac{(A+V)_m}{A_m}\cdot T_i+V_m\cdot(T_f+T_w)\right)$$
$$(\mathrm{Nm}) \quad (32)$$

(32)式は慣性による項をT_iのみとして扱っていますが実際にはタレットの慣性トルクT_tも考慮しなければなりません。タレットの慣性トルクT_tは計算を簡便にするためタレット慣性トルク係数C_i（許容トルク表の項に記載してあります）と入力軸回転数Nの2乗の積として得られるようにしてあります。

$$T_t = \frac{C_i}{100} \cdot \left(\frac{N}{50}\right)^2 \text{（Nm）} \qquad (33)$$

又、入力軸摩擦トルクT_x（無負荷時の入力トルク）を加える必要がありますから入力トルクT_cは(34)式となります。

$$T_c = \frac{360}{n \cdot \theta_h} \cdot \left(\frac{(A \times V)_m}{A_m} \cdot \left(T_i + \frac{C_i}{100} \cdot \left(\frac{N}{50}\right)^2\right) + V_m \cdot (T_f + T_w)\right) + T_x \text{（Nm）} \qquad (34)$$

注）(29)、(30)式の割付角θ_hはラジアン単位です。

◎機種選定計算法

計算を実際使用し、インデックスドライブの機種を選定する場合の手順を以下に説明します。

1）負荷の全慣性モーメントを計算する。

出力軸に付加された全慣性モーメントを計算します。具体例は別表の慣性モーメント例集を参照して下さい。また間接駆動の場合は相当慣性モーメントI_eを(21)式に従って求めて下さい。

$$I_e=\left(\frac{n}{n_e}\right)^2\cdot I\ (\mathrm{kgm^2})$$

2）慣性トルクを計算する。

慣性トルクT_iを(17)式によって計算して下さい。

$$T_i=I\cdot\frac{72\pi}{n}\cdot\left(\frac{N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m\ (\mathrm{Nm})$$

3）摩擦トルク、作業トルクを計算する。

摩擦トルクT_f、作業トルクT_wを(18)、(19)式によって計算して下さい。

$$T_f=\mu\cdot g\cdot W\cdot R_f\ (\mathrm{Nm})$$
$$T_w=F_w\cdot R_w\ (\mathrm{Nm})$$

関接駆動の場合は(22)、(23)式によりそれぞれ相当トルクを算出して下さい。

$$T_{fe}=T_f\cdot\left(\frac{n}{n_e}\right)\ (\mathrm{Nm})$$
$$T_{we}=T_w\cdot\left(\frac{n}{n_e}\right)\ (\mathrm{Nm})$$

4）総負荷トルクとサービスファクタ

以上のT_i、T_f、T_wの和が総負荷トルクとなりますが御使用条件によって適宜にサービスファクタS_fを決定し乗じます。S_fは一般に**表3－2**の値を使用して下さい。

$$T_o=(T_i+T_f+T_w)\cdot S_f\ (\mathrm{Nm})$$

5）コンベア使用の場合

コンベアを使用される場合は簡単な(26)式を御利用下さい。

$$T_{ie}=\frac{18\cdot W\cdot n}{\pi}\cdot\left(\frac{P_c\cdot N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m\ (\mathrm{Nm})$$

但し駆動ホイル、ギヤ等については上記1）～3）によって計算して下さい。また摩擦トルク、作業トルクはそれぞれ(27)、(28)式で算出して下さい。

$$T_{fe}=\mu\cdot g\cdot W\cdot\frac{n\cdot P_c}{2\pi}\ (\mathrm{Nm})$$
$$T_{we}=F_w\cdot\frac{n\cdot P_c}{2\pi}\ (\mathrm{Nm})$$

6）入力軸トルクを計算する。

負荷トルク計算によって得られたT_i、T_f、T_wより入力軸トルクT_cを(34)式で計算して下さい。

$$T_c=\frac{360}{n\cdot\theta_h}\cdot\left(\frac{(A\times V)_m}{A_m}\cdot\left(T_i+\frac{C_i}{100}\cdot\left(\frac{N}{50}\right)^2\right)+V_m\cdot(T_f+T_w)\right)+T_x\ (\mathrm{Nm})$$

V_m、$(A\times V)_m$、A_mの値はカム曲線の項に、C_iの値は許容トルク表にそれぞれ記載されています。

7）所要動力を計算する。

所要動力は入力トルクT_cと入力軸回転数Nの積となります。

$$P=\frac{T_c\cdot N}{9550\cdot\eta}\ (\mathrm{KW})$$

駆動形式		サービスファクタ(S_f)
直接駆動	ターンテーブル	1.5
	コンベア	2.0
関接駆動	ターンテーブル	2.0
	コンベア	2.5

表3－2　サービスファクタ

入力軸回転数（N）	動力効率（η）
30rpm	0.6
60rpm	0.7
180rpm	0.8

表3－3　動力効率

前頁のηは動力効率です。ηの値は動力伝達方法によって異なりますが0.6～0.8を推奨値とします。**(表3－3参照)** 但し100W以下のモーターの場合は多少余裕を与えて下さい。

8）インデックス寿命に対する余裕係数

インデックスドライブの寿命は従節ローラーの寿命で計算されていますから一般のころ軸受の寿命計算と同じです。ころ軸受の寿命と基本定格荷重の関係は次式となります。

$$L=\left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}}$$

L：基本定格寿命（10^6rev）
C：基本定格荷重（N）
P：等価荷重（N）

一群の同じ呼び番号の軸受を同じ条件で運転したとき、その90％の軸受がころがり疲れによる材料の損傷を起こすことなく回転できる総回転数または総回転時間を定格寿命と言い、内輪回転の条件で100万回転の定格寿命が得られるような荷重を基本定格荷重と呼びます。

ここで100万回転は毎分33.3回転ならば500時間に当りますからローラー回転数と期待寿命時間より等価荷重は次式で表されます。

$$P=C\cdot\left(\frac{1}{L}\right)^{0.3}=C\cdot(33.3/n_r)^{0.3}\cdot(500/L_H)^{0.3}$$

n_r：ローラー回転数（rpm）
L_H：期待寿命時間（Hr）

ここでインデックスドライブの寿命を10,000時間とし、寿命に対する余裕をS_lとすると

L_H	S_l	L_H	S_l
10000	1.000	25000	1.316
12000	1.056	30000	1.390
14000	1.106	35000	1.456
16000	1.151	40000	1.516
18000	1.192	45000	1.570
20000	1.231	50000	1.621

表3－4　期待寿命と余裕係数

$$P=C\cdot(33.3/n_r)^{0.3}\cdot(500/10000)^{0.3}$$
$$=C\cdot(33.3/n_r)^{0.3}\cdot(500/L_H)^{0.3}\cdot S_l$$
$$S_l=\left(\frac{L_H}{10000}\right)^{0.3}$$

となります。これより10,000時間以上の寿命を期待する場合はL_HよりS_lを計算し総負荷トルクT_oにその値を乗じ、許容トルクの値と比較して下さい。**表3－4**はその早見表です。

◎機種選定例

1）ターンテーブル使用の場合

図3－14に示すϕ400×20 t の鋼のターンテーブルのPCD360上に1個4 kgのワークが4個乗せられています。作業は停止時に行なわれ0.25秒の停止時間を必要とします。またインデックス時間は0.25秒としカム曲線は変形正弦曲線を使用します。平均摩擦半径R_f=180、摩擦係数μ＝0.15とし、総負荷トルク、所要動力を求めましょう。

割出数$n=4$

$$\text{割付角}\ \theta_h=\frac{0.25}{0.25+0.25}\times360=180^\circ$$

$$\text{入力軸回転数}N=\frac{60}{0.25+0.25}=120\ \text{rpm}$$

ターンテーブルの質量W_1=19.6kg、ワークの質量W_2=16kgとし、慣性モーメントをそれぞれ計算すると、
ターンテーブルの慣性モーメント

$$I_1=\frac{19.6}{2}\times(0.2)^2=0.392\ \text{kgm}^2$$

ワークの慣性モーメント

$$I_2=16\times(0.18)^2=0.518\ \text{kgm}^2$$

となります。
よって慣性トルクT_iは下式となります。

$$T_i=(I_1+I_2)\cdot\frac{72\pi}{n}\cdot\left(\frac{N}{\theta_h}\right)^2\cdot A_m$$
$$=(0.392+0.518)\times\frac{72\pi}{4}\times\left(\frac{120}{180}\right)^2\times5.53$$
$$=126.48\text{Nm}$$

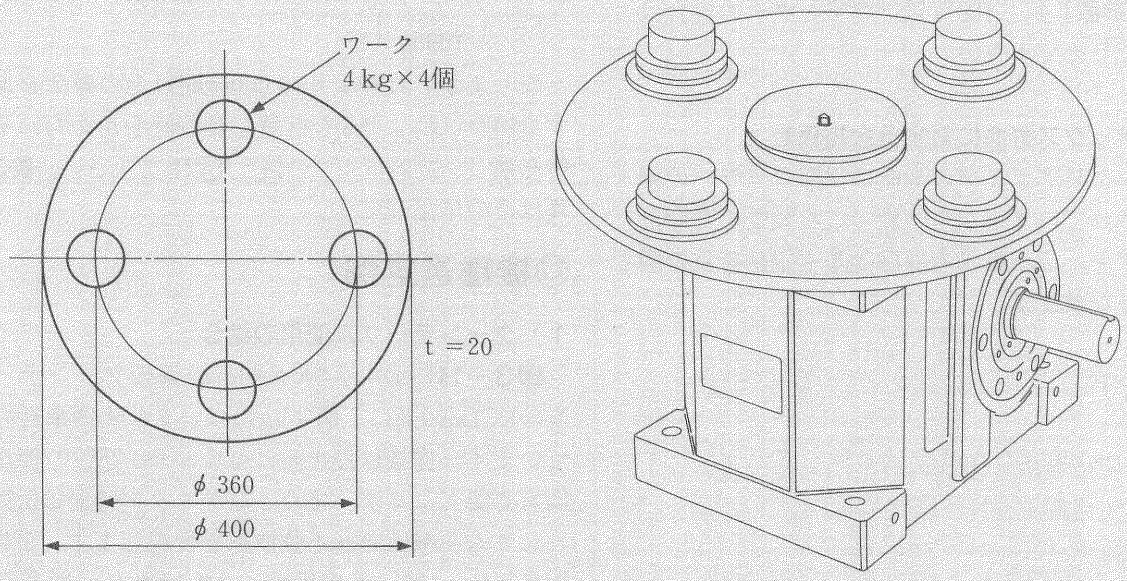


図3－14　ターンテーブルの例

次に摩擦トルクT_fは平均摩擦半径R_f＝0.18、摩擦係数μ＝0.15と総質量の積ですから下式となります。

$$T_f = \mu \cdot g \cdot (W_1 + W_2) \cdot R_f$$
$$= 0.15 \times 9.8 \times (19.6 + 16) \times 0.18 = 9.51\ \mathrm{Nm}$$

作業トルクはインデックス時に作業しませんから0です。

よって総負荷トルクT_oはサービスファクタS_f＝1.5とすると

$$T_o = (T_i + T_f) \cdot S_f = (126.48 + 9.51) \times 1.5$$
$$= 204.0\ \mathrm{Nm}$$

となります。よってインデックスドライブをローラーギヤインデックス（シャフトタイプ）とするならば総合カタログP21の許容トルク表より軸間距離160を選定します。

入力トルクT_cと所要動力Pを求めましょう。上記の選定よりタレット慣性トルク係数C_i＝71.412となりT_i、T_fもそれぞれ決定されていますから、

$$T_c = \frac{360}{n \cdot \theta_h} \cdot \left(\frac{(A \times V)_m}{A_m} \cdot \left(T_i + \frac{C_i}{100} \cdot \left(\frac{N}{50} \right)^2 \right) + V_m \cdot T_f \right) + T_x$$
$$= \frac{360}{4 \times 180} \times \left(0.99 \times \left(126.48 + \frac{71.412}{100} \times \left(\frac{120}{50} \right)^2 \right) + 1.76 \times 9.51 \right) + 19.61 = 92.62\ \mathrm{Nm}$$

となります。これより所要動力Pの最大値は（但しN＝120rpmよりη＝0.7とする）

$$P = \frac{T_c \cdot N}{9550 \cdot \eta} = \frac{92.62 \times 120}{9550 \times 0.7} = 1.66\ \mathrm{KW}$$

です。

2）コンベアを使用する場合

図3－15のようなコンベア上を30個のワークが150mmピッチで送られ停止時に作業をし、停止時間と割出時間の比は1：1です。毎分製造個数は100個とし割出数3、変形正弦曲線のインデックス装置を使用します。また、コンベアの総質量は60kg、ワーク質量は1kg／個、摩擦係数は0.2とします。総負荷トルクと所要動力を計算しましょう。

コンベアの場合の慣性トルクT_iは下式となります。

$$T_i = \frac{18 \cdot W \cdot n}{\pi} \cdot \left(\frac{P_c \cdot N}{\theta_h}\right)^2 \cdot A_m$$

$$= \frac{18 \times (30+60) \times 3}{\pi} \times \left(\frac{0.15 \times 100}{180}\right)^2 \times 5.53$$

$$= 59.41 \text{ Nm}$$

また摩擦トルクT_fは、

$$T_f = \mu \cdot g \cdot W \cdot \frac{n \cdot P_c}{2\pi}$$

$$= 0.2 \times 9.8 \times \left(30 + \frac{60}{2}\right) \times \frac{3 \times 15}{2 \times \pi} = 8.42 \text{ Nm}$$

となります。よって総負荷トルクT_oはサービスファクタS_f=2.5とすると

$$T_o = (T_i + T_f) \cdot S_f = (59.41 + 8.42) \times 2.5$$

$$= 169.58 \text{ Nm}$$

となりますのでインデックスドライブをパラレルインデックス（シャフトタイプ）とするならば、総合カタログ許容トルク表（P102参照）より軸間距離125を選定します。

入力トルクT_cはタレット慣性トルク係数C_i=42.845ですから

$$T_c = \frac{360}{3 \times 180} \times \left(0.99 \times 59.41 + \frac{42.845}{100} \times \left(\frac{100}{50}\right)^2\right)$$

$$+ 1.76 \times 8.42 + 6.86 = 57.08 \text{ Nm}$$

となりη=0.7としますと所要動力Pは

$$P = \frac{T_c \cdot N}{9550 \cdot \eta} = \frac{57.08 \times 100}{9550 \times 0.7} = 0.85 \text{ KW}$$

となります。

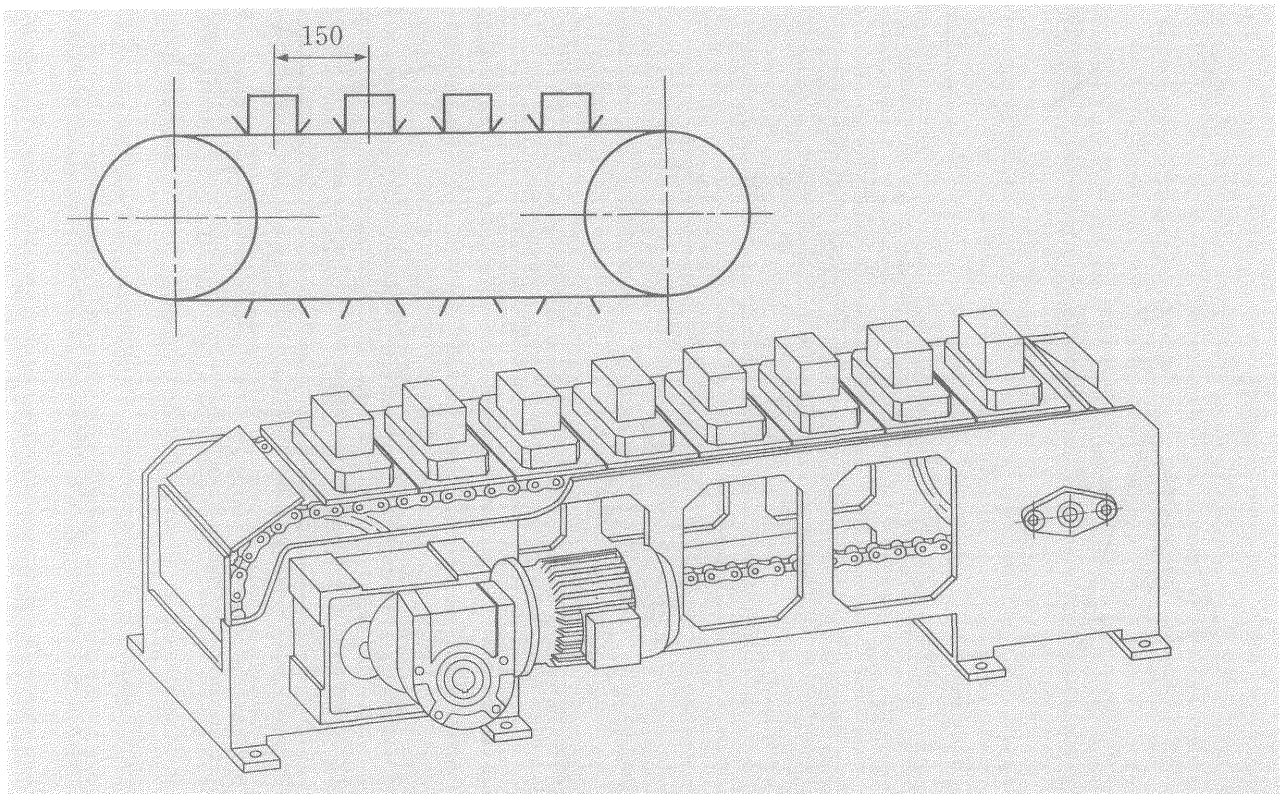
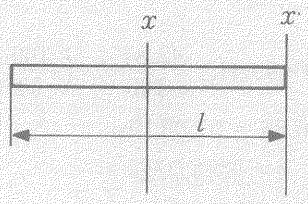


図3－15　コンベアの例

◎慣性モーメント例集

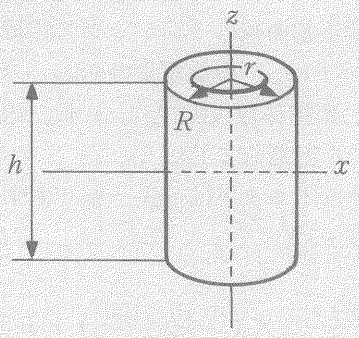
棒



$$I_x = \frac{W \cdot l^2}{12}$$

$$I_x = \frac{W \cdot l^2}{3}$$

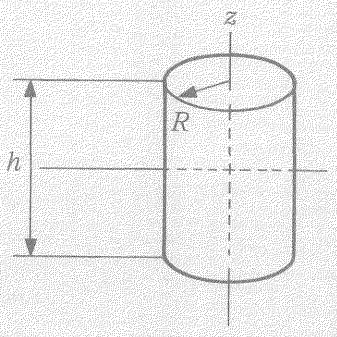
中空円筒



$$I_x = \frac{W \cdot (R^2 + r^2 + h^2/3)}{4}$$

$$I_z = \frac{W \cdot (R^2 + r^2)}{2}$$

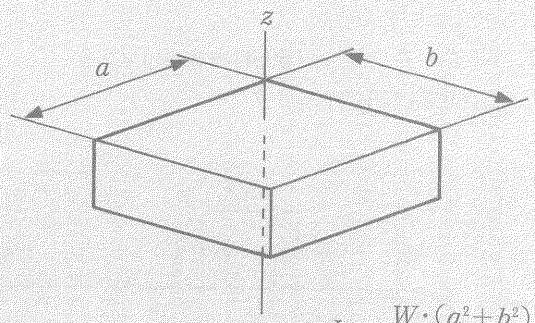
円筒



$$I_x = \frac{W \cdot (3 \cdot R^2 + h^2)}{12}$$

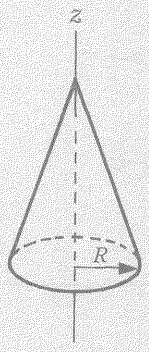
$$I_z = \frac{W \cdot R^2}{2}$$

立方体



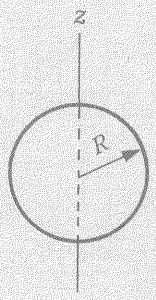
$$I_z = \frac{W \cdot (a^2 + b^2)}{12}$$

円錐



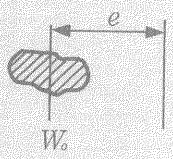
$$I_z = \frac{3 \cdot W \cdot R^2}{10}$$

球



$$I_z = \frac{2 \cdot W \cdot R^2}{5}$$

一般式



$$I = W_0 \cdot e^2$$

図３－16　慣性モーメント計算例

4. ピック&プレース

◎ピック&プレースユニットの機構と特長

ピック&プレースユニット（以下P&Pと略す）を機能的に大別すると2種類になります。一つは直進型、もう一つは旋回型です。直進型とは**図4－1**に示すようにP&Pのヘッド部分が平面内で門型の運動をするもので（門型でなくても良い）、旋回型は**図4－2**に示すように門型の運動ではあるが空間内で行うものです。**写真3、4**に当社の製品を紹介します。

1）直進型P&Pの機構

図4－3に直進型P&Pの代表的な機構図を紹介します。直進型のP&Pは一般的に前後軸をX軸、上下軸をZ軸と呼んでいますが図を考察しますとZ軸をボックスに固定した例が多いことが解ります。**図4－3**のa）、b）はX軸固定とZ軸固定を分類したものです。

部品を摘み移送し置く仕事に於いては、摘みと置く（上下Z）ストロークに対し移送（前後X）のストロークが長い場合が圧倒的に多いものです。この為P&Pの機構はZ軸よりX軸の摺動部が長く設計されるためX軸固定の機構はZ軸のサイン型受け部が極端な偏荷重を受けやすくなり、嫌われるものと思われます。事実a）の機構ではこれを避けるため四つ棒リンク機構を採用して安定化を計り、g）の機構はサイン型を避けリンク型を採用しています。

しかし、a）は余計な機構が増えg）は機構解析に特殊なソフトが必要となるにも拘らずX軸固定を採用する理由は、摺動部の長い、つまり質量の大きいX軸を上下運動させないことによって系全体の運動特性を向上させることと、所要動力を削減させることを狙ったが為です。

カム機構の代表的な、ラジアン、タンジェント、サイン、リンク機構の採用度の点から考察すると、サイン形が圧倒的に多数です。この理由はサイン型機構を構成する部分がシビアーな精度を要求されても比較的容易に加工出来ることと、組み付けと組み付け後の精度検査が簡単であることによると考えられます。

使用されているカムは平面カムが多く立体カムは少数です。この理由は平面カムの方が安価な加工機で製作できるためと思われがちですが、カム加工専門メーカーであればどちらの加工も全く問題ないので、直進型では平面カムの方がP&Pユニットとして全体のまとまり具合いが良いためでしょう。

但し平面カムを使用すると駆動軸がボックスの両サイドに出てしまうため、薄形のタイプにするためには駆動系の設計に工夫が必要です。これに対して立体カムの場合は駆動軸をボックスの後方ないしは上方に位置させられるためこの点では有利となります。

次にバネ拘束か、拘束カム（溝カムが殆どで共役

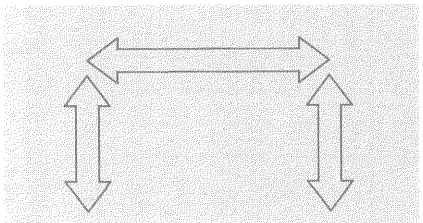


図4－1　直進型の運動

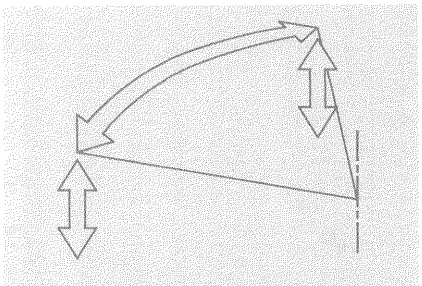


図4－2　旋回型の運動

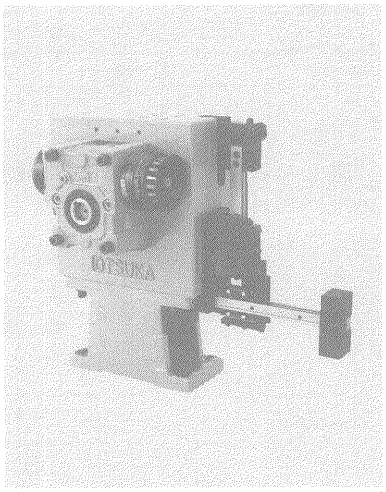


写真3　直進型P&P

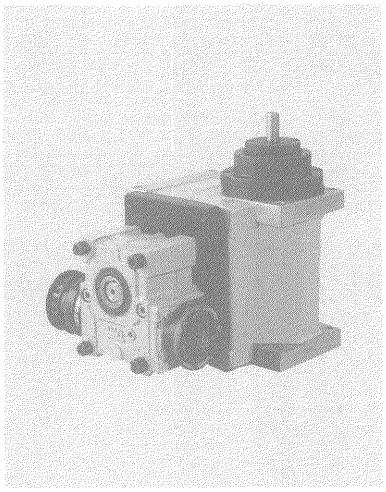


写真4　旋回型P&P

カム、リブカムはまれである）を採用するかではどちらが多いとは言えずそのメーカーの主義によるものと判断されます。バネ拘束のものは溝カムに対してカムを小さくできるため同ストロークのものではコンパクトにまとめることができ、一方向にバネでカム面に押し付けているため繰り返し精度が高く、事故の際にバネによって逃げられるため破損を避けられやすいなど安全性の面で利点があります。

逆にバネによって余計な動力を必要とするため所用動力が大きい、カム軸の回転むらが生じやすいため運動が不安定になりやすく振動が発生しやすいという欠点があります。また、バネ自体の破損も考えられます。

溝カムは左記と全く反対の事が言えるためその選定には搬送する物体の状態、位置決め精度などを充分考慮して決定すべきでしょう。但し溝カムでも使用方法によっては充分精度を高くすることができます。

２）旋回型P&Pの機構

旋回型（揺動）のP&Pの機構を**図４－４**に示します。旋回型の揺動角度は90°が多いため普通の平面カム、立体カムを採用するならば機構はラジアン型

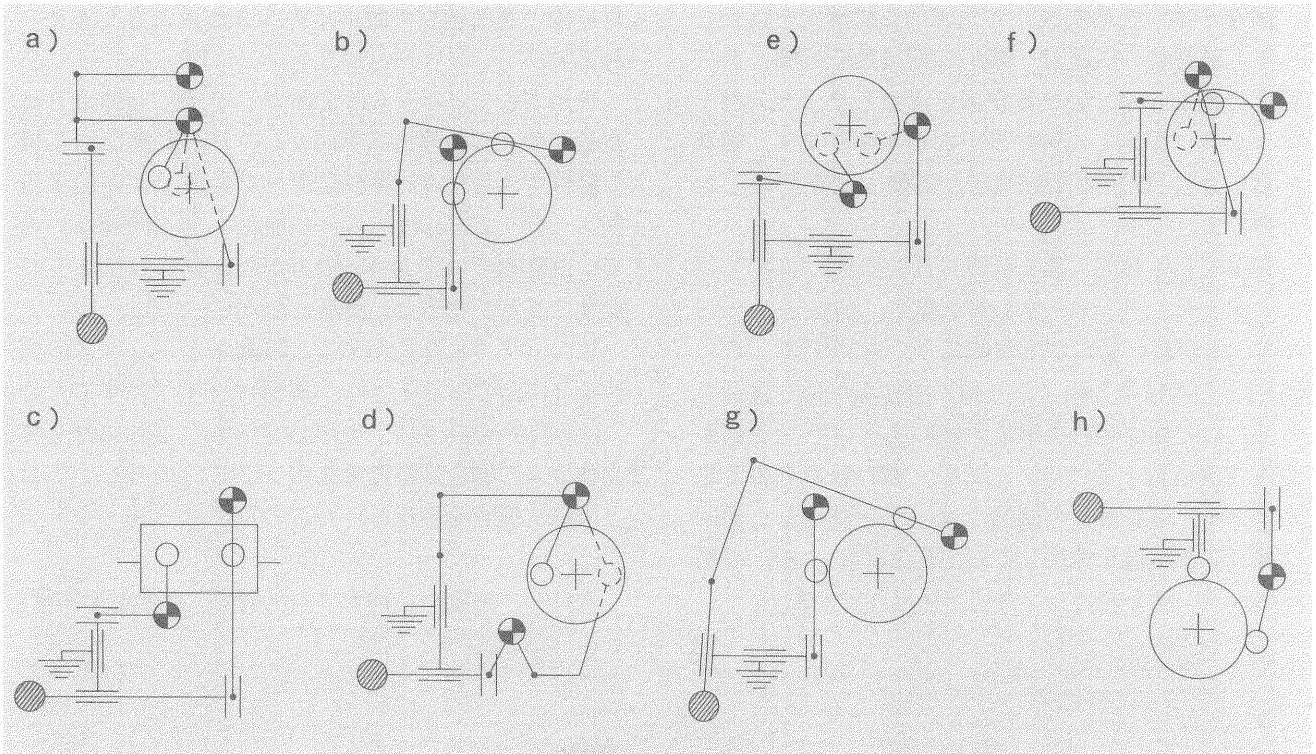


図４－３　直進型P&Pの機構例

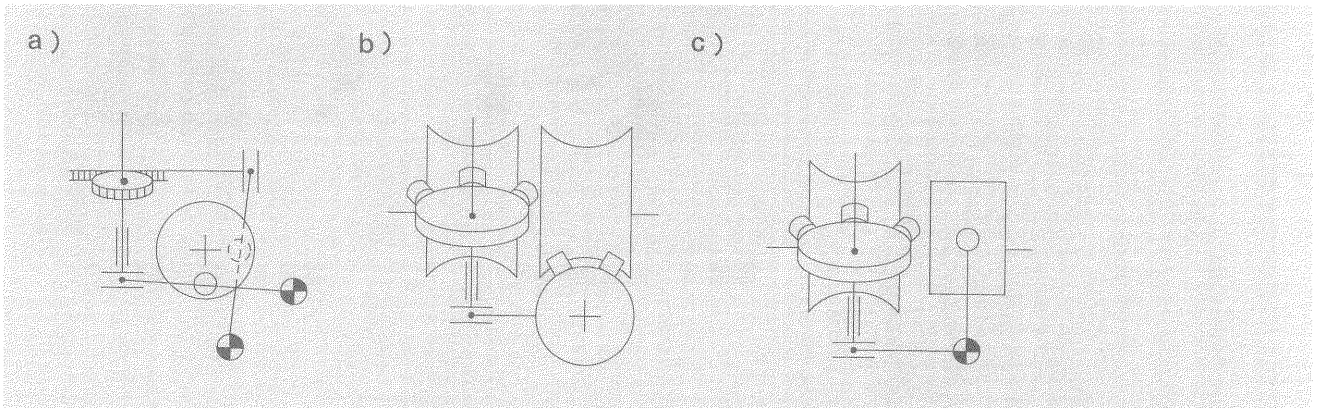


図４－４　旋回型P&Pの機構例

で倍率の比較的高い増速機構となるためバックラッシュなど不安定要素が多くなります。このような旋回型のP&Pに最も適したカムはローラーギヤカムです。

平面カムでは共役カムも含めて揺動角は45°程度が実用上限界であり、立体カムでもバレルカムであれば90°の揺動角は可能ですが、実用上の割付角を考慮するとカム径が非常に大きくなりすぎ、実質不可能と言っても過言ではありません。

ローラーギヤカム機構の位置決め精度は±30秒であり、ボールスプラインを含めたトータルの精度は±60秒を保証できるため、高精度の位置決めが可能となります。またローラーギヤカムはそのカムの機構の優位性上ほぼノンバックラッシュであるため高速性に優れ、このような複合機械でもその負荷状態が良好であれば0.3秒のサイクルタイムで運転することも可能です。

◎カム曲線と実際の運動

一般にカム機構は従節作動端にカム曲線を与えてカム輪郭を決定しますから、P&Pに於いても同様にヘッド部が指定されたカム曲線の運動となっています。よってヘッド部の変位、速度、加速度、躍動、カム軸トルク等運動に関するデーターが設計段階で計算できます。この事は搬送される物体がスタートしてから停止するまでの経路、速度、加速度の値、慣性力、粘性力等様々な情報を予め計算し最適な設計をすることが出来るということです。

MEMO

5. ATC

◎ATC概要

ATC（自動工具交換装置）とは工作機械の主軸と分離したマガジンを備え、マガジンに収容された工具を交換用アームなどでNC指令により自動的に変換する装置です。このATC装置はマシニングセンターの先駆者であるＫ＆Ｔ（カーネイアンドトレッカー）によって1958年にミルウォーキーマチック・モデルＨというNC工作機械に取り付けられました。これが現在では一般的なマシニングセンターの一号機です。

またNC工作機械自体も1952年にMIT（マサチューセッツ工科大学）によって開発されたばかりでした。ATC装置が開発されて現在まで30数年の年月が流れ、この間に各種の方式が開発されたものと思われますが、この数年、急にカム式のATCが脚光を浴び始めました。ATC本来の機能を考察すると、品物をつまみ、移動し、新たな場所に装入するという、自動組立の分野では古くから存在する“取り出し装入ユニット”（Ｐ＆Ｐユニット）のひとつです。ただしこのＰ＆Ｐユニットも、内部構造にその旋回運動の駆動として一般の平面カムまたは円筒カムを使用するものと、ローラーギヤカムまたはインデックスバレルカムを使用するタイプとに分類できます。

旋回運動の自由度から判断するならば後者のタイプが優れており、特に60°以上の旋回角度を他のカムに比較して少ない割付角でカム輪郭を構成出来るローラーギヤカムが一番です。このためスイングアーム方式のATC機構ではローラーギヤカムを使用する例が圧倒的に多くなっています。

従来機構の駆動には油空圧シリンダを使用するケースが殆どでした。油空圧シリンダを使用した機構はシンプルであることとスペースを取らないという利点はありますが、各動作が全体的に関連していないためそのシーケンスをコントロールするものが必要となり、またひとつの動作の終了を確認して次の動作を指令するため全体の時間が長くなるという欠点がありました。それに加えて運動の加減速をコントロールすることが難しく、高速になると振動や衝撃などが加速度的に増大し、信頼性や寿命に大きな問題がありました。以上のような欠点を克服するには、全体の運動が関連づけられている機構であること、また個々の運動特性が優れていることが必要であり、これにはカムを使用した複合機構が最良です。

◎ピック＆プレースユニットのATCへの応用

ATC動作も基本的にはＰ＆Ｐユニットと同様ですが、自動組み立てでのＰ＆Ｐユニットの動作は旋回往復１回、直進往復２回が一般的です。また旋回角も90°以内が圧倒的に多く180°旋回となると割付角が長くなりカム一方向の回転では旋回往復運動が不可能なユニットが殆どです。

ATCの場合は、待機位置からの主軸あるいはマガジンまでの旋回運動の往復と直進往復運動の１回、180°旋回が１回であり直進往復運動が１回少なくなりますが、180°旋回が増えるため割付角は厳しくなり、一般のＰ＆Ｐと同一のカム径と従節でカム機構を構成すると当然のことながらカム輪郭は出来上がらなくなります。

そこでこの問題を回避するためには２方法が考えられます。第一はカム自体の旋回角を少なくし増速機構を付加することによって所定の動作を得る方法で、第二は従節に対しカム径を大きくすることによって割付角の緩和を計り直接所定の動作を得る方法です。前者はバックラッシュが出やすいという欠点が有り、後者はカムのコストが高くなるという欠点が有ります。

しかしATC機構全体から判断すると後者の方が部品点数が少なく簡潔な機構となるため、トータルコスト面で大差なく運動特性も良好であるこの方法が推奨されます。

◎従来のATCと カム式ATCの比較

冒頭にも述べましたように従来の油圧ないし空圧シリンダ（ロータリー型も含む）を用いたATC機構は運動特性の点でカムに全く及びません。カムはその輪郭の総てが重要なデーターであり、そしてその輪郭と従節機構によって優れた運動特性を再現します。

その運動特性も数多くのカム曲線が開発されており、その中から目的に合わせて自由に選択できます。また、当然その時間に対する変位が厳密に決定されているため、予め現在の動作と次の動作の関連が判り、現在の動作が完全に終了したかどうかをチェックせずに次の動作のスタート指令を出すことが可能です。言い換えれば連続する動作間で作業の目的に合わせて任意にオーバーラップが取れるということです。

図5－1はスイングアームが工具を主軸から抜取り180°旋回する時点のオーバーラップ量を決定するための、プルスタッドと主軸端面の干渉状態を作画したものです。この場合は22.5°のオーバーラップ量でありATC全サイクルの12.5％強の時間がこれにより短縮できます。

以上から、従来のATCに比較してカム式ATCは運動特性が優れているため、個々の動作もスムーズで速いうえ、オーバーラップが取れるために複合された動作ではさらに速くなります。

また、カム軸１回転で総てのサイクルが完了するのでコントローラーが不要であり、電気的な部品が非常に節約され、メカ構造であるためメンテナンスの問題が大幅に解消されます。加えて、駆動源は電気モーターのみで良いので、油圧や空圧源も必要ではありません。

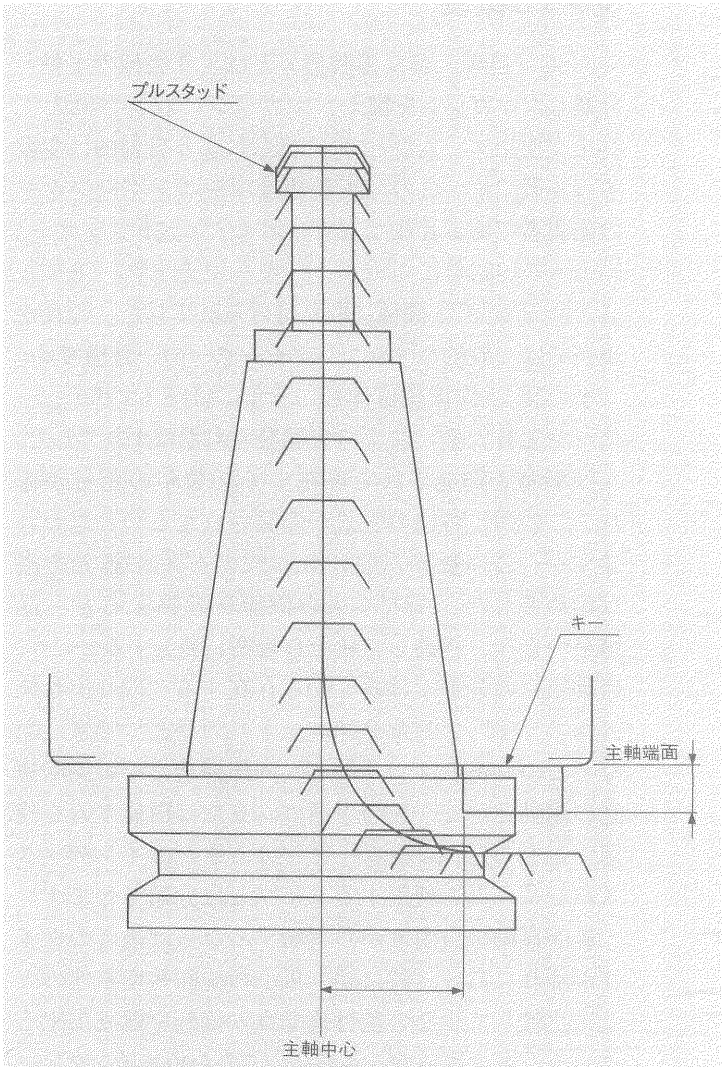


図5－1　ATCのオーバーラップ

ATC

◎ATCの機構と特長

a．刃物台の割出装置

図5－2に於いて刃物台クランプ板カム、刃物台旋回カム（ローラーギヤカム）は駆動モーターによって回転させられます。今、クランプ状態で停止していた刃物台クランプ板カムが回転し始めるとカムフォロア1との接触部が次第に小径となるためコイルバネによって刃物台が左方向に押し寄せられます。このためカービックカップリングの歯が離れ、刃物台は回転自由となります。このときローラーギヤカムのテーパーリブをカムフォロア3が挟持します。さらに入力軸が回転するとローラーギヤカムによって刃物台が所定の間欠揺動運動をし、刃物台の間欠揺動運動が終わると同時に刃物台クランプ板カムによってカムフォロア1、レバー、カムフォロア2、シフターを介して刃物台を右方向に移動し、カービックカップリングの歯が噛み合い刃物台はクランプ状態となります。また刃物台クランプ板カムによる移動量とカービックカップリングの噛み合いに必要なストロークとの差は皿バネによって吸収され、設定されたクランプ力がカービックカップリングに加えられます。

b．スイングアーム式ATC

図5－3に於いて今モーターが回転すると、スプロケット、チェーンを介して平面溝カム、ローラーギヤカムも同様に等速回転します。これにより、上記ローラーギヤカムに従節ローラーを介して係合するタレットが、ローラーギヤカムのリブの形状によって決定される所定の旋回運動をし、その運動をスプラインナットを介してスプラインシャフトに伝えます。

同時に、上記平面溝カムに従節ローラーを介して係合するレバーが、平面溝カムの溝の幾何学的な形状によって、レバー支点のまわりに周期的な揺動運動をします。この揺動運動によってアーム軸はシフトカムフォロア及びシフターを介して周期的な直進運動をします。この時、アーム軸はスプラインナットを介してスプラインシャフトに結合しているため、スプラインシャフトによる回転中であっても直進運動は行い得ます。これらの結果、アーム軸、アームは直進及び回転の複合運動をし工具交換動作を行うことができます。

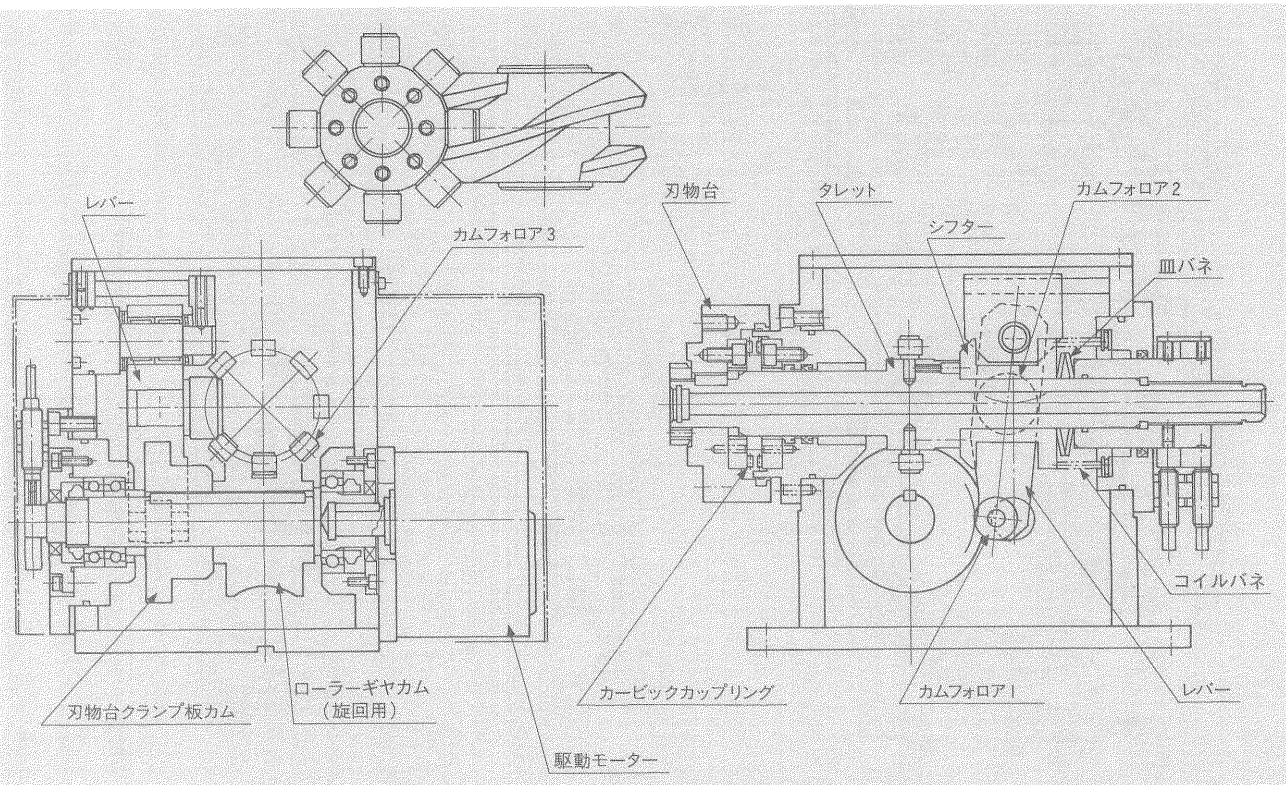


図5－2　刃物台の割出装置

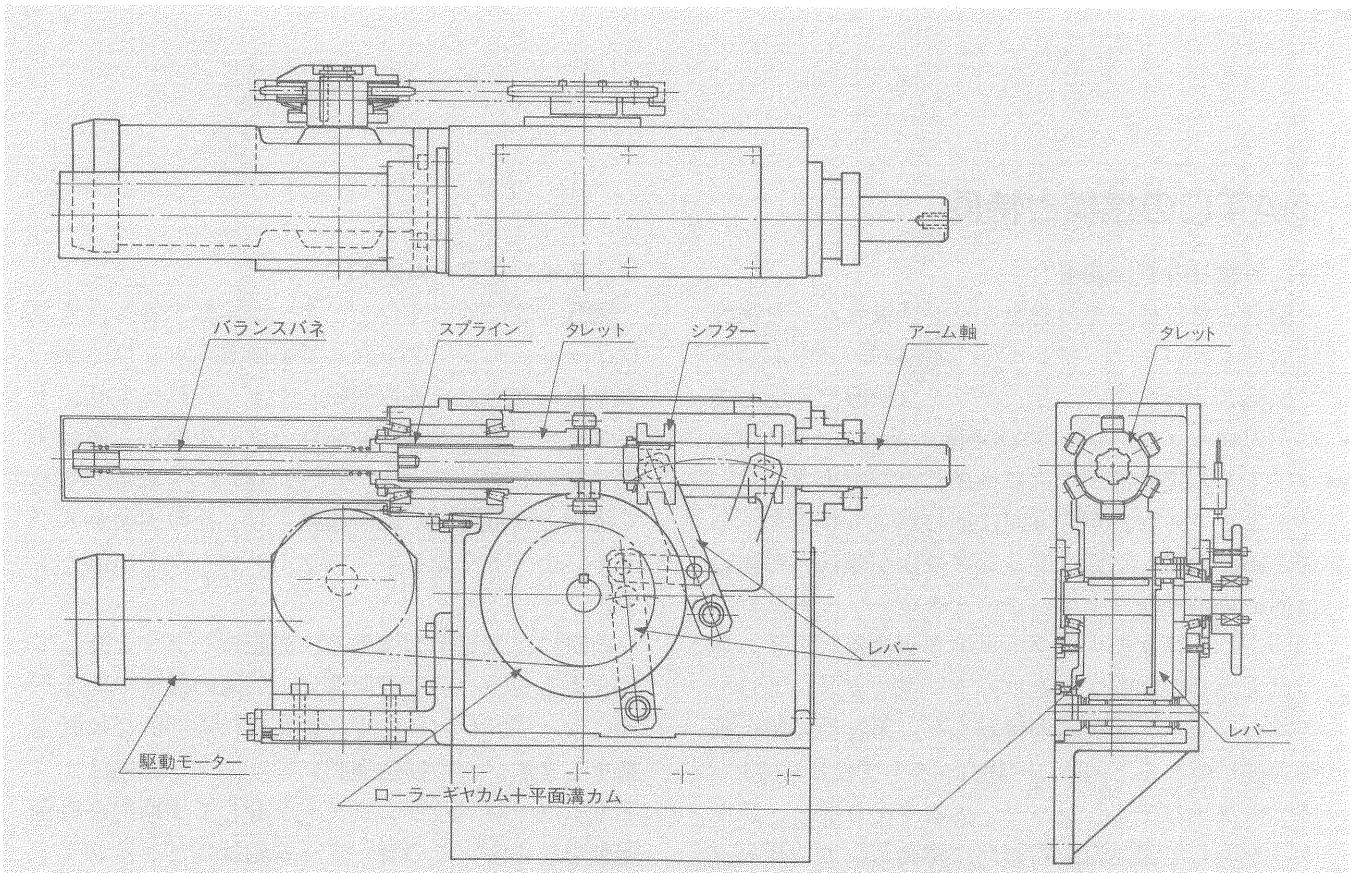


図５－３　スイングアーム式ATC装置

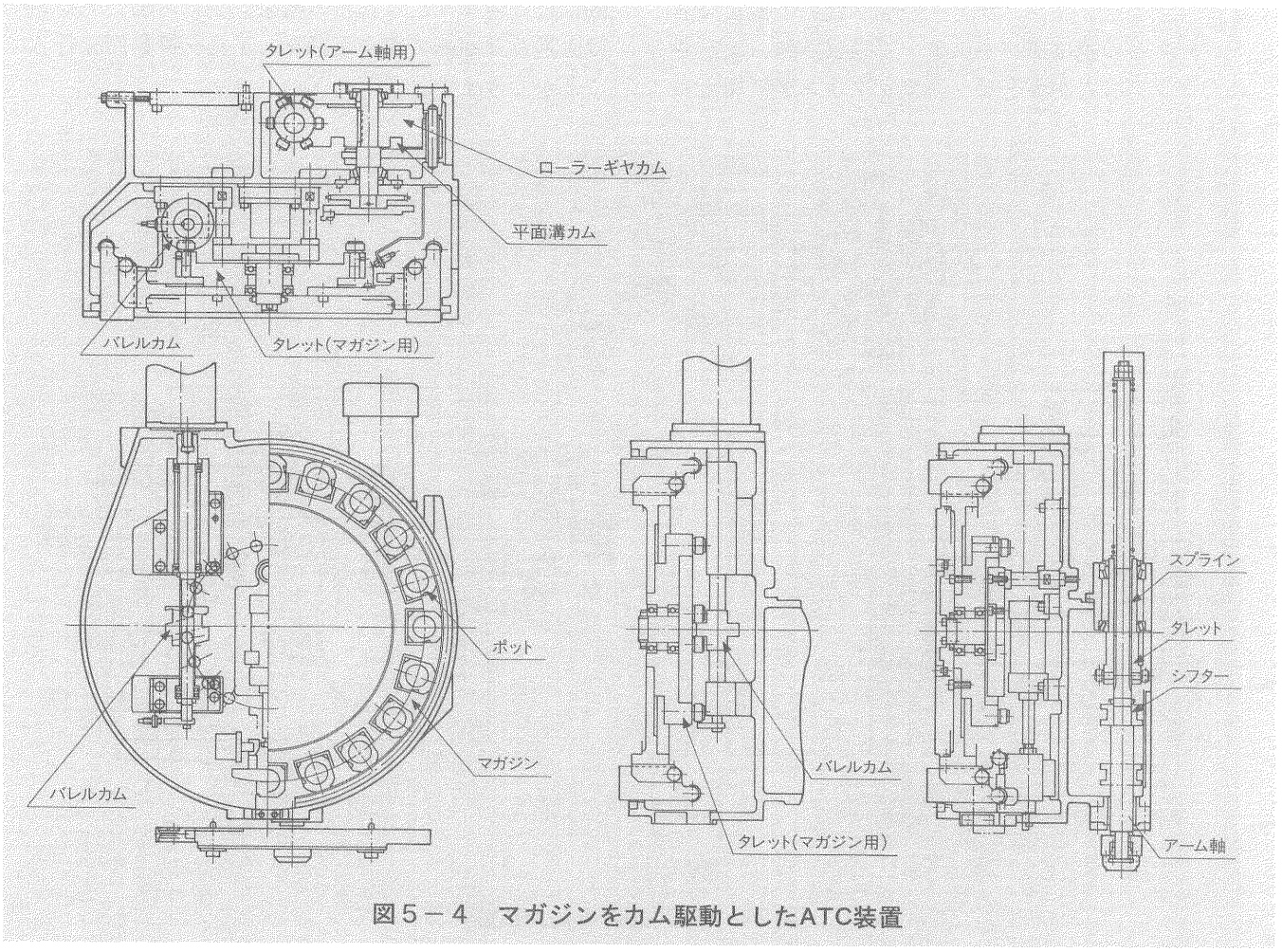


図５－４　マガジンをカム駆動としたATC装置

ATC

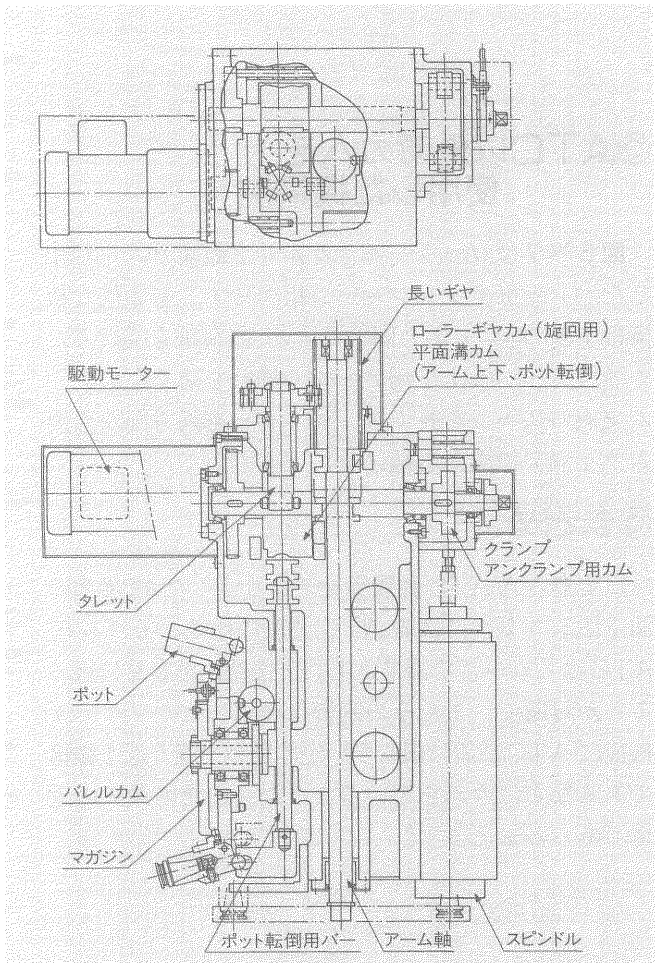


図５－５　全ATC動作をカム化したATC装置

ｃ．マガジンをカム駆動としたATC装置

図５－４はスイングアーム形式の ATC です。アームの駆動機構は a とほぼ同様ですがマガジンの位置決めにインデックスバレルカムを用いています。カム駆動であるため制御は一回転停止のみで済み、入力軸の正確な停止精度、起動停止時の加減速も考慮する必要はありません。

ｄ．全ATC動作をカム化した機構

カム式 ATC の一般的スタイルはアームの旋回と上下ないしは前後運動をカム化する例が殆どであり、クランプ、アンクランプ、ポットの転倒、マガジンの位置決め動作は従来の機構を踏襲する例が多いものです。図５－５に示す機構は全 ATC 動作をカム駆動としたもので、駆動モーターの回転によってカム軸が１回転することによってアームの旋回、直進運動、ツールのクランプ、アンクランプ、ポットの転倒動作を総て行います。マガジンの位置決めは別モーターでインデックスバレルカムによって行います。そのタイミング線図が図５－６です。

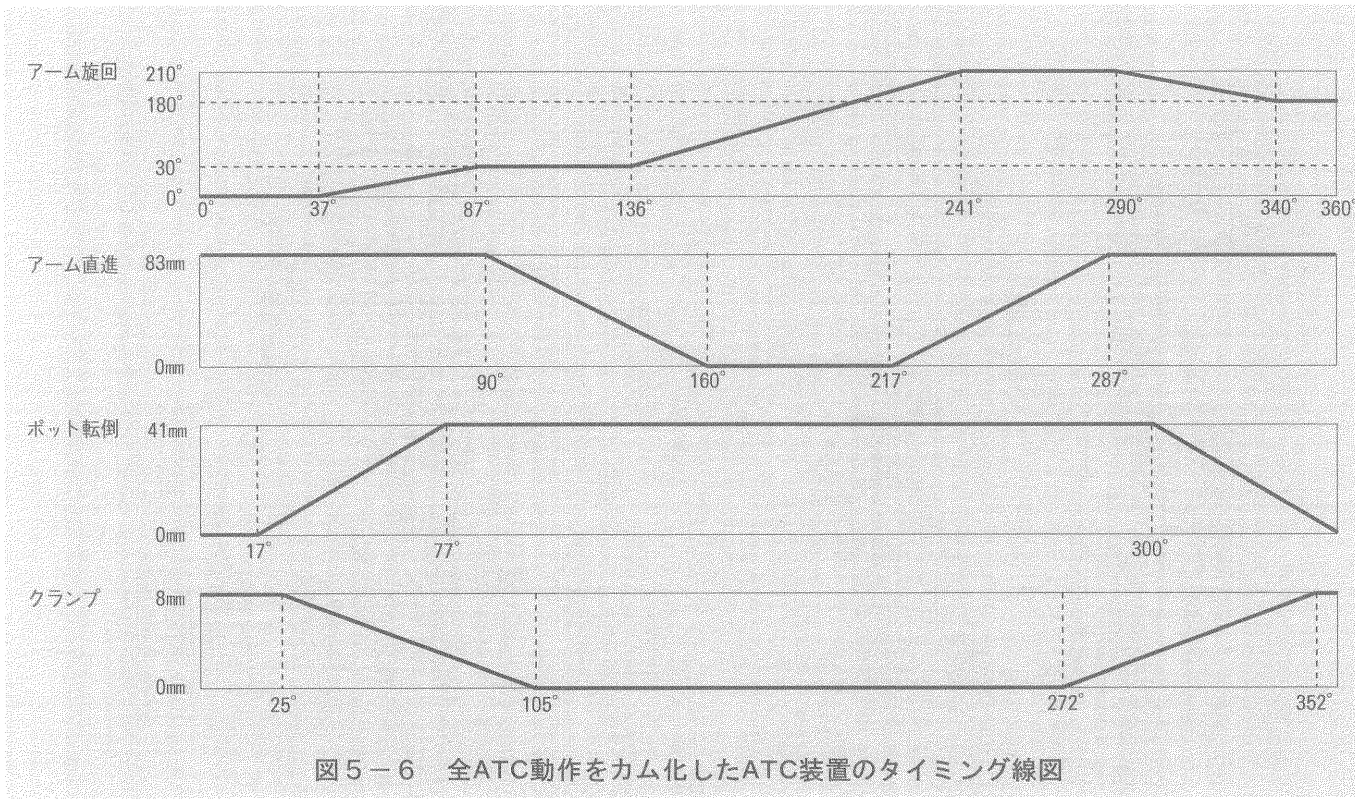


図５－６　全ATC動作をカム化したATC装置のタイミング線図

◎ATCの仕様決定条件

カム式ATCの仕様決定には基本的に以下のデーターが必要となります。

①ATCサイクルタイム（ツールtoツール）
②工具クランプ、アンクランプ時間
③工具最大重量　工具中心径
④アーム重量　アーム形状
⑤その他アーム軸等運動部分の重量
⑥工具抜取り移動量
⑦工具待機位置と主軸位置のなす角度
⑧工具回り止めキーの主軸端面からの高さと主軸中心からの内端面位置
⑨プルスタッドの形状

上記①から⑦までは慣性による負荷荷重を計算するために必要な項目であり、⑧、⑨はオーバーラップ量を決定するために必要な項目です。⑧の寸法の詳細は**図5－1**参照。

◎ATC以外でカムを使用した機構例

図5－7はローラーギヤカムと平面溝カムを利用したパレットチェンジャーの組図です。基本的な機構はP&Pユニットと同じですが、高荷重を受けるための対策として、上下用アームの捻れを防ぐためアーム支点のスパンを長くし、シフターを両方向からカムフォロアで支える様にしています。

◎まとめ

以上カム式ATC装置等を紹介しましたが、従来の油空圧シリンダによるATC装置に比較してカム式ATCはスムーズで素早い工具交換動作を容易に得ることが可能で、またその制御は非常にシンプルです。最後にATC装置に限らず一定の運動を繰り返す機構であるならばカムを用いることが高速化の最大の近道であると言えます。

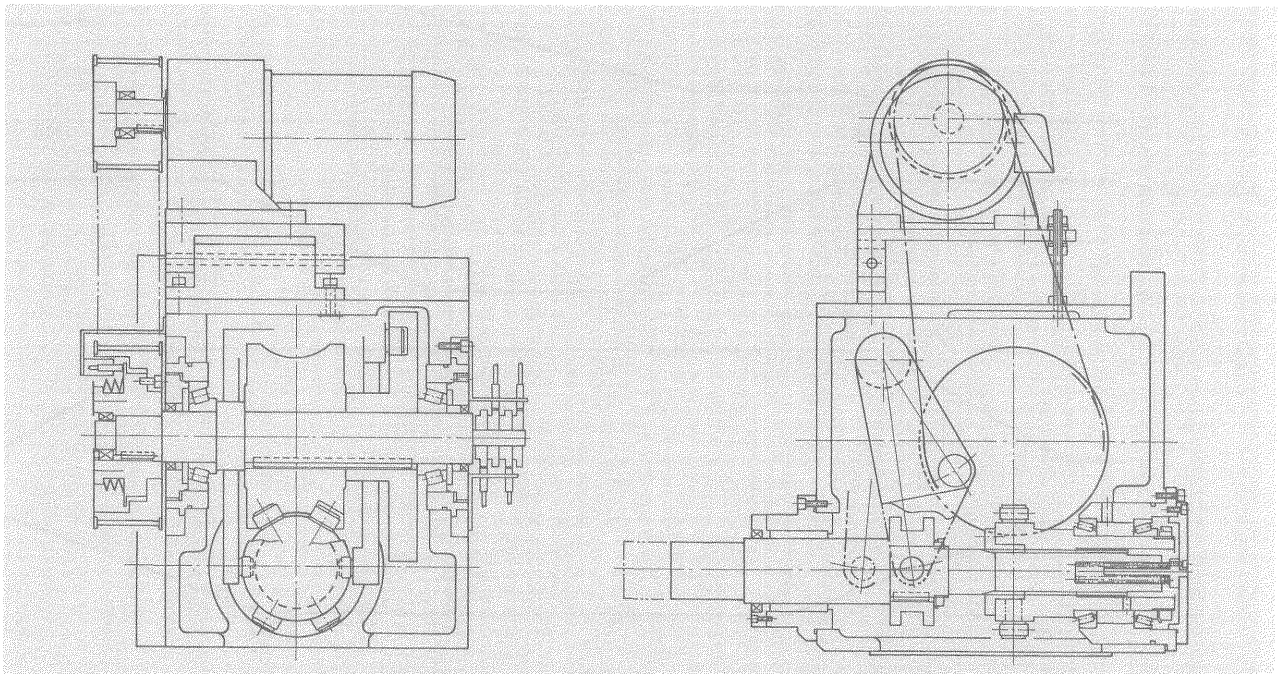


図5－7　ローラーギヤカムと平面溝カムを利用したパレットチェンジャー

6. カム曲線

◎カム曲線概要

カム機構の運動曲線として数々のカム曲線が現在までに考案されてきました。カム曲線は一般に単弦、サイクロイド、多次曲線などの基礎曲線と、変形台形、変形正弦、変形等速度曲線などの正弦系の合成曲線が知られています。前者は式の数学的な性質が簡明なため従来から使用されて来ましたが、カム曲線としての特性は必ずしも良くなく、近年はコンピューターと数値制御工作機械の普及に伴い特性の良い後者が主流となってきました。現在カム曲線として文献に掲載されているものを**表6－1**に示します。

区分	名称	備考	加速度曲線の形状	V_m	A_m	J_m	$(A\times V)_m$	$(V\times V)_m$	$(S\times V)_m$
不連続曲線	等速度 Straight Line			1.00	∞	∞	∞	1.00	1.00
	等加速度 Parabolic			2.00	±4.00	∞	±8.00	4.00	1.09
	単弦 Harmonic			1.57	±4.93	＋∞ −15.5	±3.88	2.47	1.02
両停留対称曲線	等躍動 Cubic			2.00	±8.00	±32.0	±8.71	4.00	1.29
	サイクロイド Cycloidal			2.00	±6.28	±39.5	±8.16	4.00	1.26
	変形台形 Modified Trapezoid	$T_a=\frac{1}{8}$		2.00	±4.89	±61.4	±8.09	4.00	1.20
	変形正弦 Modified Sine	$T_a=\frac{1}{8}$		1.76	±5.53	＋69.5 −23.2	±5.46	3.10	1.13
	変形等速度 Mod. Const. Velocity	$T_a=\frac{1}{16}$ $T_b=\frac{1}{4}$		1.28	±8.01	＋201.4 − 67.1	±5.73	1.63	1.07
両停留非対称曲線	非対称サイクロイド Unsymm Cycloidal	$T_b=0.4$		2.00	＋7.85 −5.24	±67.1	＋10.20 − 6.80	4.00	1.17
	非対称変形台形 Ferguson Ⅳ	$m=\frac{2}{3}$		2.00	＋6.11 −4.07	±96.0	＋10.11 − 6.74	4.00	1.09
	トラペクロイド Makino Trapecloid	$m=1$		2.18	±6.17	±77.5	±10.84	4.76	1.28
片停留曲線	複弦 Double Harmonic			2.04	＋5.55 −9.87	＋20.6 −42.4	＋7.75 −9.89	4.16	1.39
	片停留サイクロイド One-Dwell Cycloidal	$m=1$		1.76	±5.53	±34.7	＋6.32 −4.86	3.10	1.10
		$m=\frac{2}{3}$		1.72	＋6.75 −4.50	±53.0	＋7.53 −3.86	2.95	1.01
	片停留変形台形 One-Dwell Mod.Trapezoid	$m=1$		1.92	±4.44	±55.8	±7.11	3.67	1.14
		Ferguson		1.92	＋4.68 −4.22	±58.9	＋7.43 −6.81	3.67	1.12
		$m=\frac{2}{3}$		1.94	＋5.53 −3.68	±69.4	＋8.63 −6.48	3.77	1.04
	片停留変形正弦 One-D.Mod.Sine	$T_a=\frac{1}{8}$		1.66	±5.21	＋65.5 −21.8	＋4.86 −4.33	2.76	1.06
	片停留トラペクロイド One-D. Trapecloid	$T_a=\frac{1}{8}$		1.74	±4.91	±61.7	＋6.86 −4.26	3.02	1.05
無停留曲線	単弦 Harmonic			1.57	±4.93	±15.5	±3.88	2.47	1.02
	無停留変形台形 No-D.Mod. Trapezoid	$T_a=\frac{1}{4}$		1.72	±4.20	±26.4	±5.07	2.95	1.08
	無停留変形等速度 No-D. Mod.Const. Vel	$T_a=\frac{1}{4}$		1.22	±7.68	±48.2	±4.69	1.49	1.01

表6－1　カム曲線の特性比較表

表6－1中のV_m、A_m、J_mは無次元最大速度、無次元最大加速度、無次元最大躍動ですから実際の値は実最大速度v_m、実最大加速度a_m、実最大躍動j_mとすれば以下の式で算出されます。

$$v_m = \frac{\tau_h}{t_h} V_m \qquad a_m = \frac{\tau_h}{{t_h}^2} A_m \qquad j_m = \frac{\tau_h}{{t_h}^3} J_m$$

ここでτ_hは出力軸のインデックス角度（2π／割出数：rad）、t_hは1インデックスに必要な時間（sec）となります。また$(A\times V)_m$、$(V\times V)_m$、$(S\times V)_m$の値は入力軸トルクに関係する項です。

さてこれら曲線の固有値であるV_m、A_m、J_mはいずれも小さい方が曲線として特性が良いのですが実際はどれかを小さくすれば他が大きくなる関係にあり、どの値を重視するかは、そのインデックスドライブの使用条件より定める必要があるでしょう。また、V_m、A_mについては次のように言われています。

(1) **最大速度V_mを小さくしなければならない場合**
　重負荷に対して安全を考慮する場合
　負荷が衝撃的な力の場合
　遠心力が問題となる場合
　摩擦負荷による入力軸トルクが問題となる場合

(2) **最大加速度A_mを小さくしなければならない場合**
　慣性負荷能力をあげる場合
　高速性を問題にする場合
　振動を抑制する場合

現在インデックスドライブに使用されている曲線のほとんどは変形台形、変形正弦、変形等速度の3曲線です。そしてこの中でも変形正弦曲線が総ての条件に対して無難なため最も多く使用されインデックスドライブの標準曲線として推奨されています。

変形台形曲線は最大加速度の点では最も低く優れていますが、軽負荷以外はやや問題があり使用条件の選択に注意が必要です。変形等速度曲線はA_mもJ_mも大きいので、Vの値を小さく抑える必要があるか等速部が必要である場合以外は使用しない方が無難です。但しパラレルカムに於てはカムの設計制約条件により変形等速度曲線以外は使用できない場合もあります。

非対称曲線は加速域に比較して減速域を長く取り、減速域（特に終端に近い部分）でのV、A、Jを低く抑えた曲線です。物体が起動－停止を行う場合にその振動は一般に加速時より減速時に多く発生し停留時の残留振動となります。このためカム曲線としては加速域に多少無理があっても減速域の比率を長くしてゆっくり停止するものが良い訳です。**図6－1**に対称曲線として変形正弦、非対称曲線としてトラペクロイド曲線を交互に使用した場合の加速度実験値を示します。

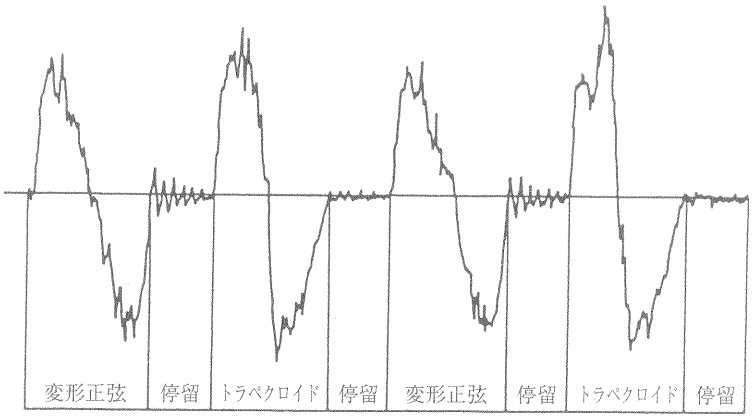


図6－1　変形正弦・トラペクロイド加速度実験比較

◎ローラーギヤカムのカム曲線

ローラーギヤカムに使用されるカム曲線は用途によって変形台形曲線、変形正弦曲線、変形等速度曲線のなかより一般的に選択されますが、この３曲線のなかでも変形正弦曲線が最もインデックス機構に適したものとして使用されます。このためORシリーズは変形正弦曲線を標準としています。

◎パラレルカムのカム曲線

パラレルカムに使用されるカム曲線は仕様によってかなりの制限があります。これはバレルカム、ローラーギヤカムに比較してパラレルカムの設計制約条件が多いからです。
OPシリーズは変形正弦曲線、変形等速度曲線、変形等速度25曲線の３曲線を標準として適宜に使い分けています。
表６－２はインデックス機構に使用されるカム曲線の特性図と特性値を示したものです。

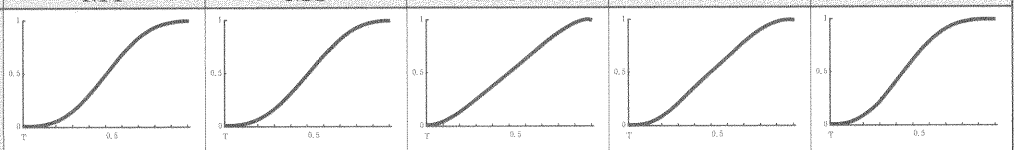
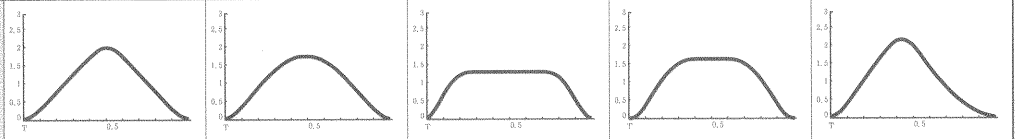
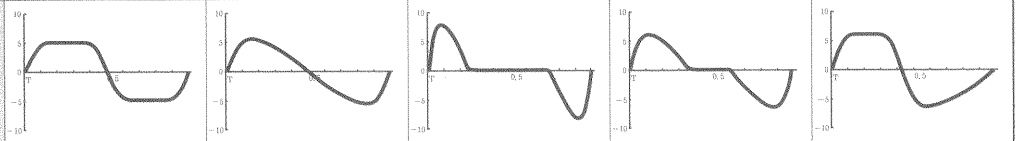
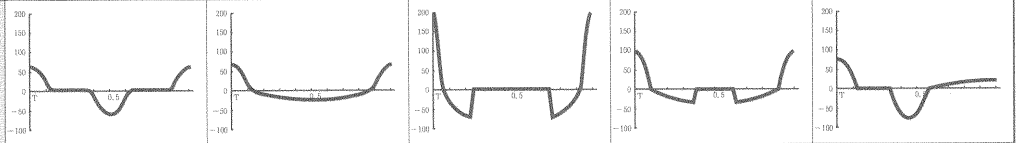
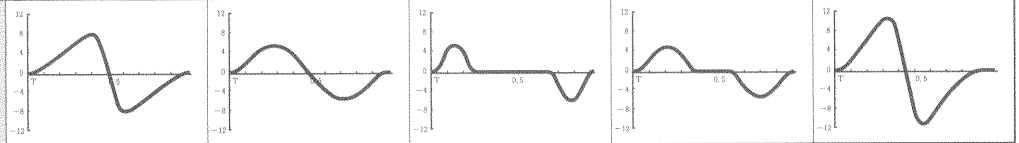
		曲線				
		変形台形 MT	変形正弦 MS	変形等速度 MCV	変形等速度25 MCV25	トラペクロイド
特性図	S(変　位)					
	V(速　度)					
	A(加速度)					
	J(躍　動)					
	Q(トルク)					
無次元特性値	Vm	2.00	1.76	1.28	1.48	2.18
	Am	4.89	5.53	8.01	6.19	6.17
	Jm	61.43	69.47 −23.16	201.38 −67.13	103.79 −34.6	77.54
	Qm	8.09	5.46	5.73	5.13	10.84
	$\frac{(A\times V)m}{Am}$	1.65	0.99	0.72	0.83	1.76
	$(S\times V)m$	1.20	1.13	1.07	1.10	1.28

表６－２　インデックスに使われるカム曲線の特性図と特性値

◎無次元加速度・無次元速度と実加速度・実速度

カム曲線は一般に無次元式となっていますから使用条件によって実変位、実速度、実加速度を算出しなければなりません。

$S=F(T)$　：無次元変位
$V=F'(T)$　：無次元速度
$A=F''(T)$　：無次元加速度
T　：無次元時間

無次元変位S、無次元時間Tと実変位s、実時間tは以下の関係になります。

$s=h\cdot S$
$T=t/t_h$
但し、h：ストローク　　t_h：割付時間

よって実際の変位、速度、加速度は無次元化されたカム曲線式より以下のようになります。

$$s=h\cdot F\left(\frac{t}{t_h}\right)=h\cdot S$$

$$v=\frac{h}{t_h}\cdot F'\left(\frac{t}{t_h}\right)=\frac{h}{t_h}\cdot V$$

$$a=\frac{h}{t_h^2}\cdot F''\left(\frac{t}{t_h}\right)=\frac{h}{t_h^2}\cdot A$$

但し、v：実速度　　a：実加速度

例えば0.5secで450mmのストロークを変形正弦曲線で運動させた場合、0.1secの時の位置、速度、加速度の値はどうなるでしょうか？

$$T=\frac{0.1}{0.5}=0.2$$

よってカム曲線のデーターシート（**P61参照**）より、S、V、Aは

$S=0.0683938993$
$V=0.8477113587$
$A=5.2573995937$

となっていますから

$$s=h\cdot S=450\times0.06839=30.7773\text{mm}$$

$$v=\frac{h}{t_h}\cdot V=\frac{450}{0.5}\times0.84771=762.940\text{mm/sec}$$

$$a=\frac{h}{t_h^2}\cdot A=\frac{450}{0.5^2}\times5.2574=9463.32\text{mm/sec}^2$$

（0.97 g）

となります。

回転運動であれば、角度τ、角速度τ'、角加速度τ''とすると

$$\tau=\tau_h\cdot S$$

$$\tau'=\frac{\tau_h}{t_h}\cdot V$$

$$\tau''=\frac{\tau_h}{t_h^2}\cdot A$$

但し、τ_h：回転角度

（例題）**図6－2**のような揺動従節カム機構において割付角80°、サイクルタイム0.5secとし曲線は変形正弦曲線を使用しました。カムの最大圧力角ϕ_{max}を25°とするとカムフォロアに加えられる荷重は何Nですか？

1）レバーの慢性モーメント

$$I=W\cdot\left(\frac{l^2}{12}+\frac{l^2}{4}\right)$$

$$=4\cdot\left(\frac{0.5^2}{12}+\frac{0.5^2}{4}\right)=0.333\text{kgm}^2$$

2）レバーの最大角加速度

$$\tau''=\frac{\tau_h}{t_h^2}\cdot A=\frac{35\times\frac{\pi}{180}}{\left(\frac{80}{360}\times0.5\right)^2}\times5.53$$

$$=273.622\text{rad/sec}^2$$

3）カムフォロアの荷重

$$f=\frac{\frac{I\tau''}{l}}{\cos\phi_{max}}=\frac{\frac{0.333\times273.62}{0.5}}{\cos25}=201.3\text{N}$$

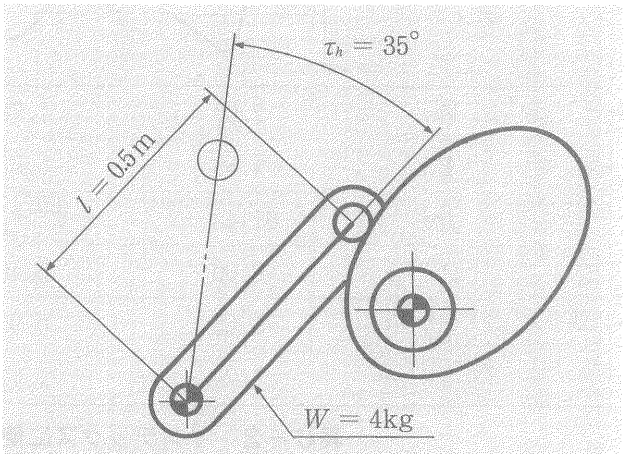


図6－2

◎正弦系のカム曲線

正弦系の合成曲線は加速度曲線の上昇、下降区間に正弦曲線を、一定区間には直線を用い、これを積分することによって変位曲線の数式を作っています。そのためこれらの数式の性質が良く似ていますから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うことができます。このように汎用化されたカム曲線がユニバーサルカム曲線です。ユニバーサルカム曲線の一般形は**図6－3**に示すように8ケのパラメータで構成されています。このパラメータT_n($n=0\sim7$)に適当な数値を代入することによって様々な曲線が得られます。

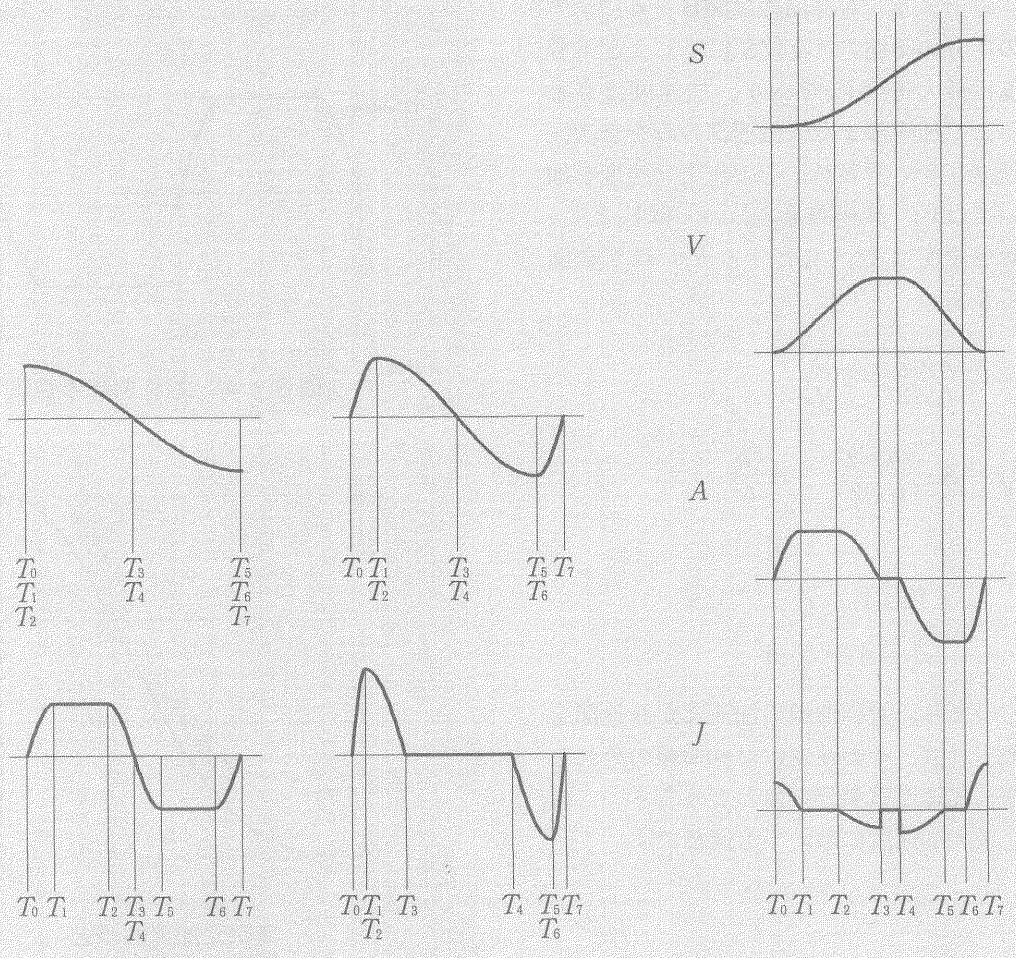


図6－3　パラメータ

◎無次元加速曲線と無次元減速曲線

対称曲線の最大速度、最大加速度の値を有効に利用するためには、その加速部分と減速部分を独立して定義する必要があります。その理由は、非対称曲線、片停留曲線などを簡易的に導く手段を得るためです。さて、対称曲線とは、

$$S=F(T)=1-F(1-T)$$
$$V=F'(T)=F'(1-T)$$
$$A=F''(T)=-F''(1-T)$$

ですから、$T=0.5$において、

$$S=0.5$$
$$A=0$$
$$V=V_m$$

となります。以上より、対称曲線は**図6－4**に示すように、その半分の時間Tで変位Sもちょうど半分となり、速度は最大速度V_mであり、加速度は0となります。そこで加速部または減速部のみを無次元曲線として独立させて定義し、その無次元速度を加速曲線においてはV_a、減速曲線においてはV_dとし、同様に無次元加速度はA_a、A_dとすると、以下の関係が成り立ちます。

$$V_a\frac{h/2}{t_h/2}=V_d\frac{h/2}{t_h/2}=V\frac{h}{t_h}$$

$$A_a\frac{h/2}{(t_h/2)^2}=A_d\frac{h/2}{(t_h/2)^2}=A\frac{h}{t_h^2}$$

ですから

$$V_a=V_d=V$$
$$A_a=A_d=\frac{1}{2}A$$

となります。つまり、対称曲線の加速部か減速部を無次元曲線とすれば、その速度は対称曲線のそれと同じ値となり、加速度は半分の値となります。これは最大速度、最大加速度においても同様です。

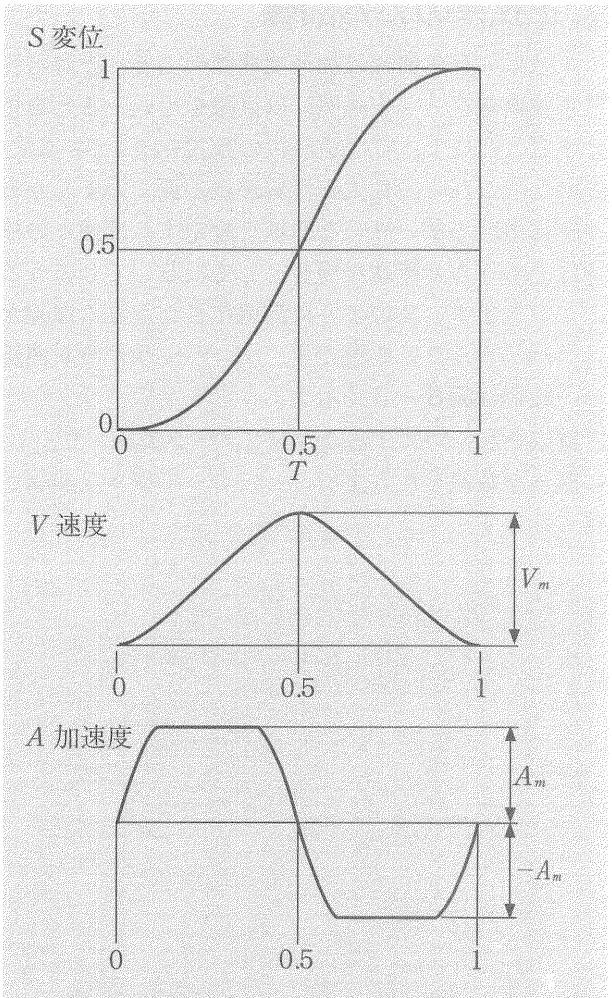


図6－4　対称曲線の性質

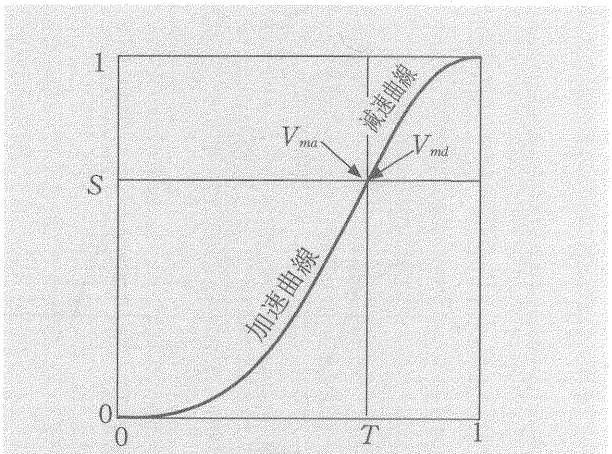


図6－5
無次元加速曲線と減速曲線の合成

◎無次元加速，減速曲線の合成

前項で定義した無次元加速、減速曲線を合成し、再度無次元曲線を作ってみましょう。**図6－5**のように加速曲線と減速曲線を任意の時間Tと変位Sで結びます。このとき合成曲線が連続である条件は、加速曲線の終速（最大速度）をV_{ma}とし減速曲線の初速をV_{md}とすると、

$$V_{ma}\frac{S}{T}=V_{md}\frac{1-S}{1-T}$$

でなければなりません。また上式を変形すると、

$$S=\frac{r_V T}{1+(r_V-1)T}$$

ただし、

$$r_V=\frac{V_{md}}{V_{ma}}\ \text{（速度比率）}$$

となり、これはV_{ma}、V_{md}の終速、初速を持つ2種類の交点の軌跡です。上式を観察すれば同じ加速度パターンの加速曲線と減速曲線の交点の軌跡は、$S=T$なる直線であることがわかります。非対称サイクロイド曲線、非対称変形台形曲線の加速度が0の位置で$S=T=0.4$である理由はこのためです。また、以上の合成曲線の無次元最大速度をV_m、正の無次元最大加速度をA_{mp}、負の無次元最大加速度をA_{mm}とすると次式で表されます。

$$V_m=V_{ma}\frac{S}{T}=V_{md}\frac{1-S}{1-T}$$

$$A_{mp}=A_{ma}\frac{S}{T^2}$$

$$A_{mm}=A_{md}\frac{1-S}{(1-T)^2}$$

ただし、A_{ma}：無次元加速曲線最大加速度

A_{md}：無次元減速曲線最大加速度

ここで興味あることは、前述したように同じパターンの加速度形状の加速曲線と減速曲線の交点は$S=T$ですから、そのときの速度（最大速度）は$V_m=V_{ma}=V_{md}$となります。さらにV_{ma}、V_{md}は加速度パターンによって決定される定数ですから、最大速度V_mはその交点の如何に拘わらず常に一定の値となります。具体的には非対称サイクロイド、非対称変形台形曲線の最大速度はどのような非対称比率であっても2であり、非対称変形正弦曲線であれば1.76です。また速度比率r_Vの値は加速度の不連続を問題としなければ、

$$0.57080\leqq r_V\leqq 1.75194$$

ですから、**図6－6**の斜線内に交点を持つ曲線はすべて存在します。

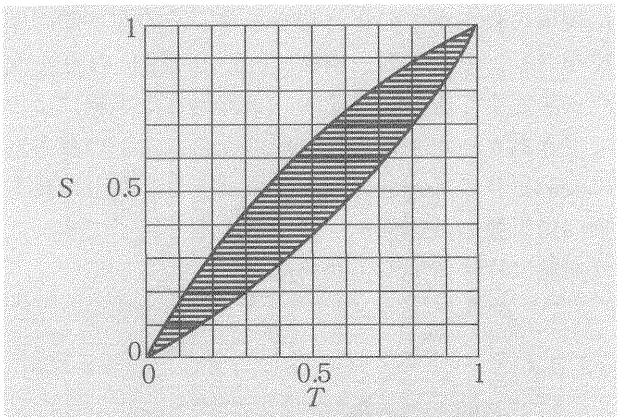


図6－6　交点の存在する範囲

（例題）合成曲線の作り方

対称曲線の加速部と減速部を連続させることによって、新たな曲線を作ってみましょう。たとえば加速部に変形正弦曲線、減速部に単弦曲線を用いることにすると、**図6－7**に示す加速度パターンが一例としてできます。しかし、その連続部の時間Tと変位Sが決定されなければ、この曲線の特性値を導くことはできません。そこで、加速部の最大速度をV_{ma}、減速部の最大速度をV_{md}とすると、

$$V_{ma}=\frac{1}{\pi}A_m=\frac{1}{\pi}\frac{\pi^2}{2-(8-2\pi)\times 0.125}=1.75960$$

$$V_{md}=\frac{1}{\pi}A_m=\frac{1}{\pi}\frac{\pi^2}{2-(8-2\pi)\times 0}=1.57080$$

となりますから速度比率r_Vは、

$$r_V=\frac{V_{md}}{V_{ma}}=0.89270$$

となり、交点の時間$T=0.5$とすると変位Sは

$$S=\frac{r_V T}{1-(r_V-1)T}=0.47165$$

となります。よって合成曲線の無次元最大速度V_m、正の無次元最大加速度A_{mp}、負の無次元最大加速度A_{mm}は、それぞれ以下となります。

$$V_m=V_{ma}\frac{S}{T}=1.65985$$

$$A_{mp}=A_{ma}\frac{S}{T^2}=\frac{\pi}{2}V_{ma}\frac{S}{T^2}=5.21457$$

$$A_{mm}=A_{md}\frac{1-S}{(1-T)^2}$$

$$=\frac{\pi}{2}V_{md}\frac{1-S}{(1-T)^2}=5.21457$$

さて、ここでこの曲線の変位をプロットしてみましょう。これは実に簡単です。**図6－8**に示すように縦横の長さが1の正方形を描き、その左下隅の座標を（0，0）とし、座標（0.5，0.472）の点を交点とする十字線を引きます。正方形と十字線によってできあがった4個の長方形のうち、左下の長方形に変形正弦の加速部のみをプロットし、右上の長方形内に単弦の減速部をプロットすると完了です。この曲線は片停留変形正弦曲線です。

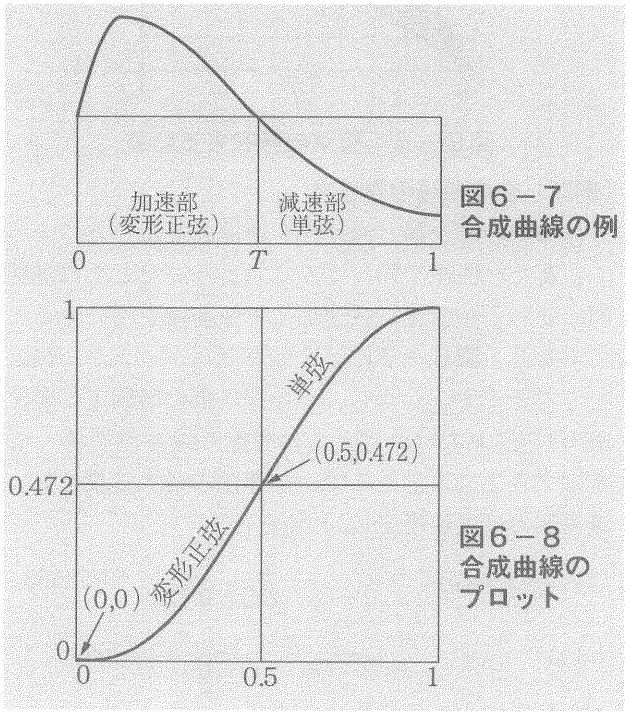


図6－7 合成曲線の例

図6－8 合成曲線のプロット

◎ユニバーサルカム曲線の応用

1）変形等速度型曲線への応用 ①

変形等速度曲線式を最大速度 V_m、最大加速度 A_m より考察し変形、整理すると次の関係式と定数が導かれます。

$$T_3 = k\cdot\left(1-\frac{1}{V_m}\right) \qquad \left(V_m = \frac{k}{k-T_3}\right)$$

$$T_3 = \frac{k-\sqrt{k^2-\dfrac{2\pi\cdot k}{A_m}}}{2} \qquad \left(A_m = \frac{\pi\cdot k}{2\cdot(k\cdot T_3-T_3{}^2)}\right)$$

（例題）ストローク100mmを1secで運動させ、実速度v=150mm／secの等速部が必要であるときの曲線式はどうなるでしょうか？（但し変形正弦型の加速度形状とする）

等速部の無次元速度を求めると

$$V=\frac{t_h}{h}\cdot v=\frac{1}{100}\times 150=1.5$$

となりますから、**図6－9 a**より k =1.158238245とすると

$$T_3=1.158238245\times\left(1-\frac{1}{1.5}\right)=0.386079415$$

となります。よってT_nは以下のようになります。

$T_0=0$

$T_1=0.096519853$

$T_2=0.096519853$

$T_3=0.386079415$

$T_4=0.613920585$

$T_5=0.903480146$

$T_6=0.903480146$

$T_7=1$

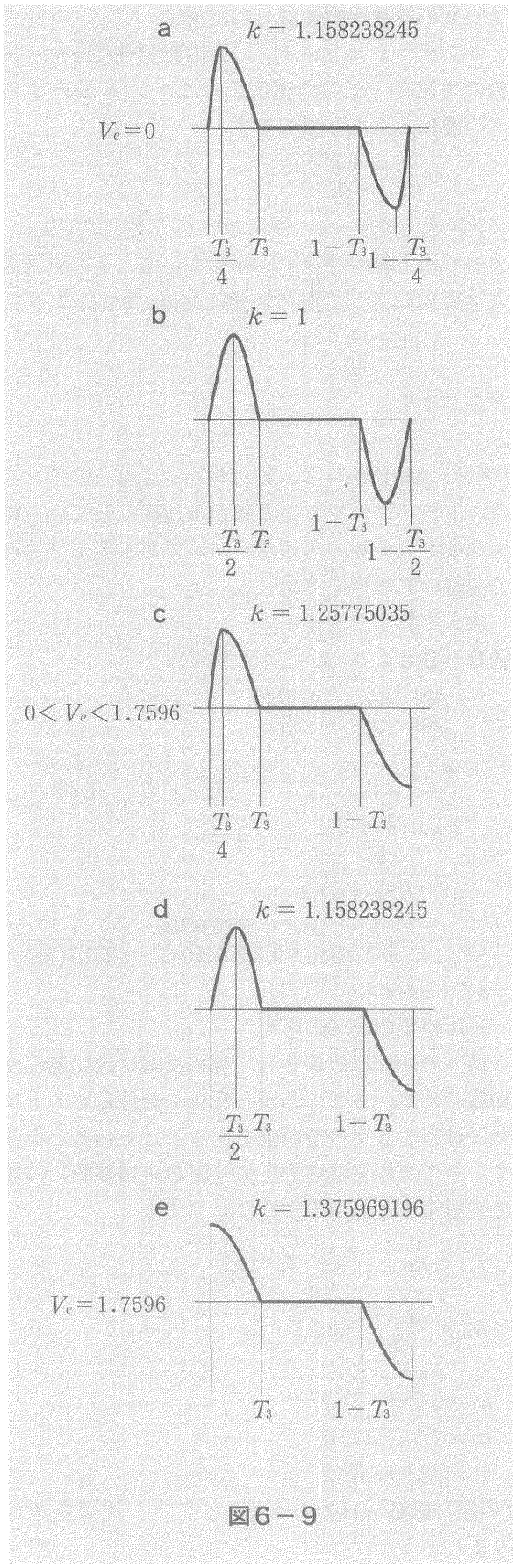


図6－9

2）変形等速度型曲線への応用②

インデックスドライブの入力軸角速度をw_i、出力軸の角速度（平均角速度ではない）をw_oとすると次の関係式が成り立ちます。

$$w_o = \frac{360V}{n \cdot \theta_h} w_i$$

V：無次元速度　n：割出数　θ_h：割付角(deg)

よって出力軸が等速で回転しているときの無次元最大速度V_mは入出力軸の角速度比w_o/w_iによって

$$V_m = \frac{n\theta_h}{360} \cdot \frac{w_o}{w_i}$$

となります。

（例題）割出数$n=3$、割付角$\theta_h=150°$のインデックスドライブに於て出力軸が等速回転している時の角速度と入力軸の角速度が同じである変形等速度型の曲線のT_bの値を算出しましょう。

次式で算出できます。

図6－9aより　$k=1.158238245$

$$V_m = \frac{n\theta_h}{360} \cdot \frac{w_o}{w_i} = \frac{3 \times 150}{360} \times 1 = 1.25$$

$$T_3 = k\left(1 - \frac{1}{V_m}\right) = 1.158238245 \times \left(1 - \frac{1}{1.25}\right)$$

$$= 0.231647649$$

$$A_m = \frac{\pi k}{2 \cdot (k \cdot T_3 - T_3{}^2)}$$

$$= \frac{\pi \times 1.158238245}{2 \times (1.158238245 \times 0.231647649 - 0.231647649^2)}$$

$$= 8.476215564$$

3）片停留曲線への応用

標準の片停留曲線として現在文献には10種程度が掲載されています。しかし任意の割付角とストロークに対応する片停留曲線を作ることも必要となります。そこで片停留変形正弦（**図6－10参照**）の数式を変形すると以下のようになります。

$$T_3 = k_1 - \sqrt{k_1{}^2 - k_2 + \frac{k_3}{A_{mm}}}$$

$$A_{mp} = \frac{1 - T_3}{T_3} \cdot A_{mm}$$

$k_1 = 5.159792366$

$k_2 = 9.319584732$

$k_3 = 22.99515362$

（例題）**図6－11**のようなタイミング線図を考えてみましょう。

$$V_1 = \frac{t_{h1}}{h} \cdot v = \frac{3}{20} \times 8 = 1.2$$

$$T_{31} = k \cdot \left(1 - \frac{1}{V}\right)$$

$$= 1.25775035 \times \left(1 - \frac{1}{1.2}\right)$$

$$= 0.209625058$$

$$A_{mm1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot k}{k \cdot T_3 - T_3{}^2}$$

$$= 8.992033716$$

$$A_{mmII} = \frac{t_{hII}{}^2}{t_{h1}{}^2} \cdot A_{mm1} = \frac{2^2}{3^2} \times 8.992033716$$

$$= 3.996459429$$

$$T_{3II} = k_1 - \sqrt{k_1{}^2 - k_2 + \frac{k_3}{A_{mmII}}} = 0.357943353$$

$$A_{mpII} = \frac{1 - T_{3II}}{T_{3II}} \cdot A_{mmII} = 7.168601718$$

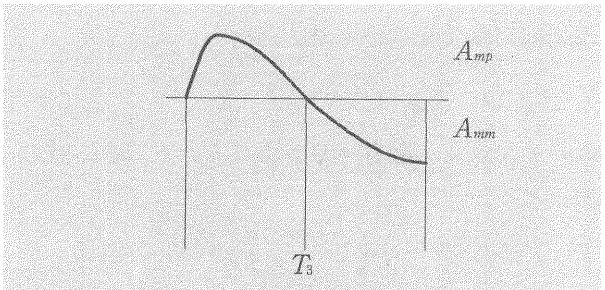


図6－10

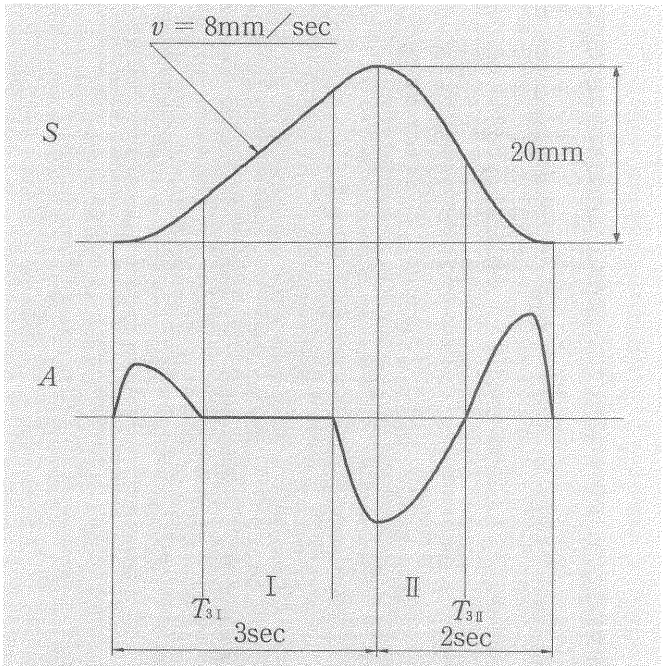


図6－11

4）始終端に速度を持つ曲線

カム曲線は一般にその始終端では速度が0となっています。しかし実際の運動では速度が0とならず任意の速度を持つ曲線が必要となる場合があります。

図6－12に示す変形正弦型の加速度線図を例にとります。正負の加速度の最大値を強制的に同じにして T_3 を中央から右へ移動すれば曲線の終端に速度が残ります。変形正弦型の曲線ですと無次元速度は0から1.759603386まで変化させることができます。また逆に終速より T_3 の値を求めることができますから任意の終速を持つ曲線の形状を決定することが可能です。

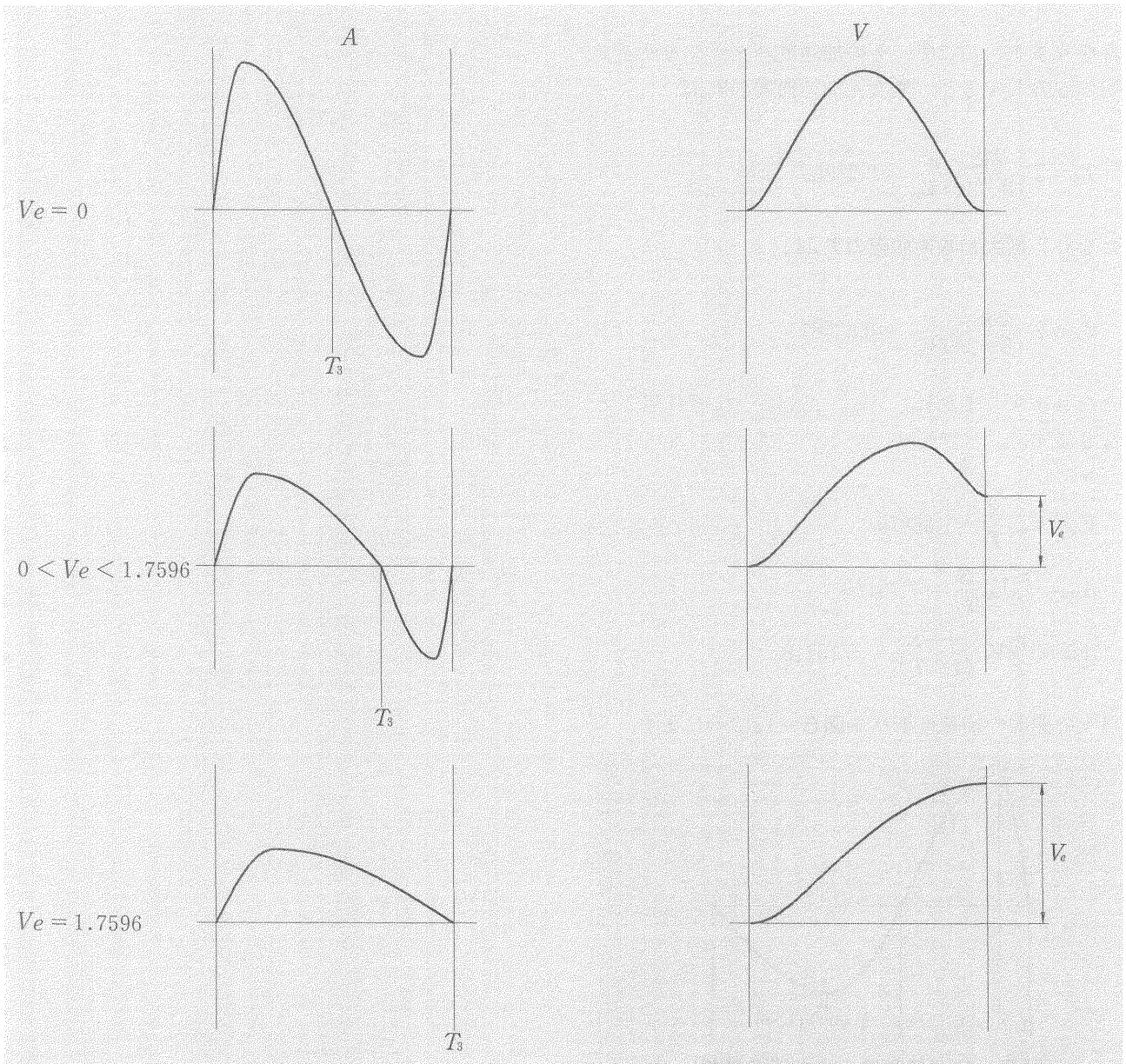


図6－12

5）任意の１点を通る曲線

無次元時間$T=0.4$ のとき、無次元変位$S=0.45$となる曲線の加速度形状と最大速度、正負の最大加速度の値を求めてみましょう。無次元加速曲線と無次元減速曲線の最大速度をV_{ma}、V_{md}とすると、その速度比率r_Vは、

$$r_V=\frac{V_{md}}{V_{ma}}=\frac{S-TS}{T-ST}=1.22727$$

となります。よって、$V_{ma}=1.75$とすればV_{md}は

$$V_{md}=V_{ma}\times r_V=2.14773$$

となります。ここで、その加速度パターンをサイン型のものとすると、無次元加速曲線のT_{1a}は

$$T_{1a}=2\frac{2V_{ma}-\pi}{(8-2\pi)V_{ma}}=0.23859$$

となり、無次元減速曲線のT_{1d}は、

$$T_{1d}=2\frac{2V_{md}-\pi}{(8-2\pi)V_{md}}=0.62587$$

となります。またV_m、A_{mp}、A_{mm}はそれぞれ以下となります。

$$V_m=V_{ma}\frac{S}{T}=1.96875$$

$$A_{mp}=\frac{\pi}{2}V_{ma}\frac{S}{T^2}=7.73126$$

$$A_{mm}=\frac{\pi}{2}V_{md}\frac{1-S}{(1-T)^2}=5.15418$$

以上の曲線の加速度形状を**図６－13**に示します。

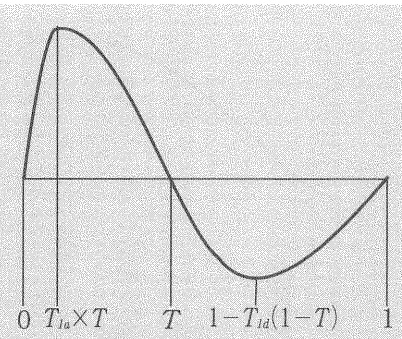


図６－13　任意の１点を通る曲線

6）切削送りユニット用カム線図

図6－14のような切削送りユニット用カム、曲線は急速位置決め部（Ⅰ）、等速部、減速緩和部（Ⅱ）の3部分に分け、x_1、y_1、x_2、y_2、v_cの値によってT_3、T_4がコンピューターの繰返し演算により算出されます。このパラメータをユニバーサルカム曲線に与えることによって所望の曲線を作ることができます。

以上の例では始終端の速度のいずれかが0となっていますがユニバーサルカム曲線は始終端速度の両者に任意の速度を与えることが可能です。これは言い換えれば任意の速度(それぞれの速度値が異なる)を持つ2直線間を緩和する曲線を自由に作ることができるということです。

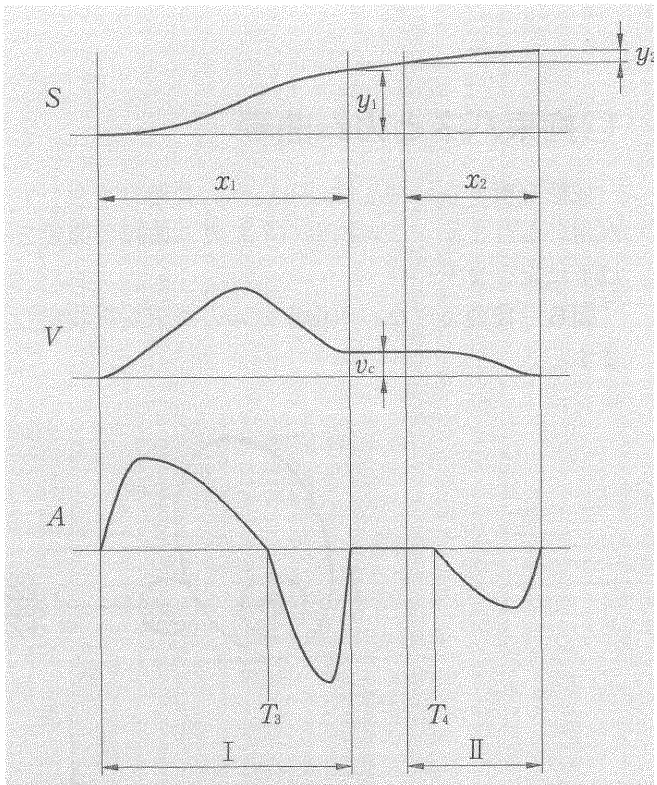


図6－14

◎カム曲線の最大速度と加速度形状

カム曲線の正負の最大加速度位置を移動することによって最大速度の値が変ります。加速度の山が中央に移動するに従って速度も加速度も大きくなります。**図6－15**のような加速度パターンのものですとV_mを1.57079から2.75194まで変化させることができます。このことはこれらの曲線の半分を加減速に使用するとき、加速度の不連続を問題にしなければ無次元速度Vを1.57079から2.75まで変化させ等速に連続させることが可能です。

$$V_m = \frac{1}{k_1 - k_2 \cdot T_1}$$

$$k_1 = 0.63661977$$
$$k_2 = 0.546479089$$

$$V_m = \frac{\pi}{2 \cdot (T_a \cdot (\pi - 4) + 1)}$$

$$A_m = \frac{\pi^2}{2 \cdot (T_a \cdot (\pi - 4) + 1)}$$

$$T_a = \frac{1}{\pi - 4} \cdot \left(\frac{\pi}{2 \cdot V_m} - 1 \right)$$

$$T_a = \frac{1}{\pi - 4} \cdot \left(\frac{\pi^2}{2 \cdot A_m} - 1 \right)$$

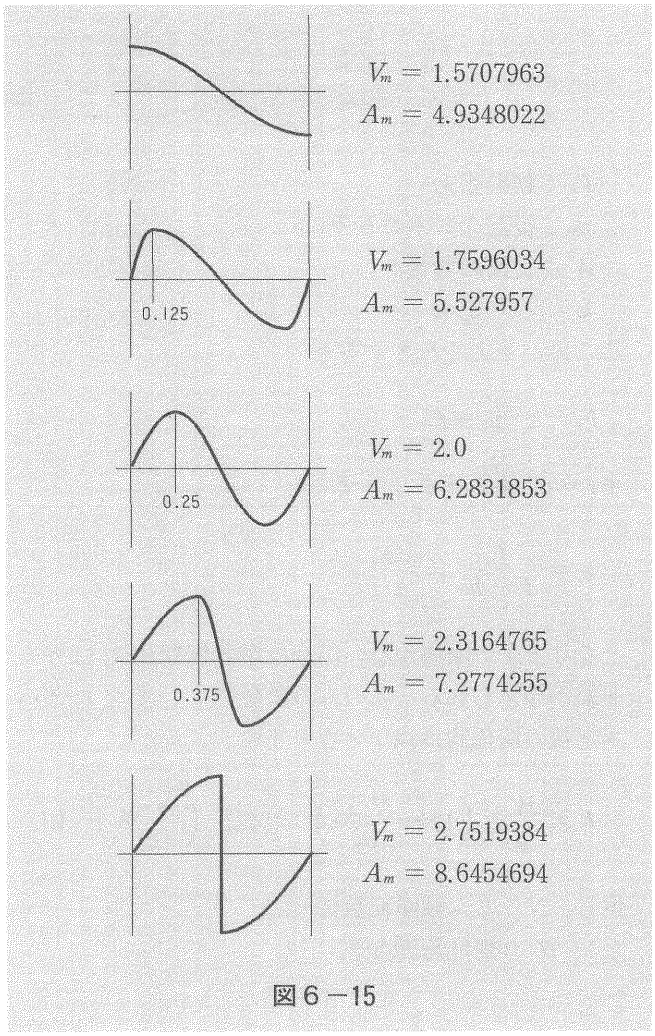


図6－15

◎拘束バネとカム曲線

従節を板カムに押し付けるには、普通コイルバネが用いられます。この拘束バネとカム曲線の関係を以下に記します。

図6－16のようなバネ拘束カムのモデルを設定します。

限界周期比 λ_g の値は主としてカム曲線の性質と、バネの強さ（k、F_o）によって決まり、低い λ_g を与えるカム曲線ほど（バネ拘束カム用として）良い曲線です。

バネ拘束板カムにおいて、サイクロイド曲線を用い $\alpha=1$ とする。$W=2$ kg、回転数180rpm、$\theta_h=90°$ とするとき、バネ定数 k をいくらにしたら良いでしょうか？

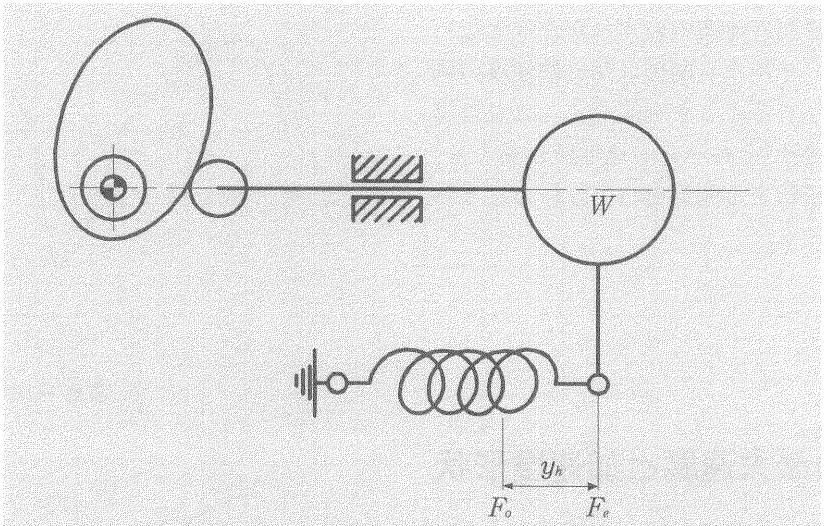


図6－16

F_o	：初期張力	(N)
y_h	：従節のストローク	(mm)
W	：従節の質量	(N)
k	：バネ定数	(N／mm)

ここでバネ力をF_eとすると

$$F_e = k \cdot y_h + F_o$$

また初期張力比を α とすると

$$\alpha = \frac{F_o}{F_e - F_o} = \frac{F_o}{k \cdot y_h}$$

となります。摩擦がない場合は限界周期比 λ_g はカム曲線が与えられると α のみの関数です。また λ_g とバネ定数の関係式は以下となります。

$$k = \frac{W}{g} \cdot \left(12\pi \cdot \frac{N \cdot \lambda_g}{\theta_h}\right)^2 = 1421 \cdot \left(\frac{N \cdot \lambda_g}{\theta_h}\right)^2 \cdot W$$

但し、N：カム軸回転数(rpm)
　　θ_h：割付角(deg)

表6－3より $\alpha=1$ のときのサイクロイド曲線の λ_g は0.29となります。よってバネ定数 k は

$$k = 1421 \cdot W \cdot \left(\frac{N \cdot \lambda_g}{\theta_h}\right)^2$$

$$= 1421 \times 2 \times \left(\frac{180 \times 0.29}{90}\right)^2$$

$$= 956\text{N／mm}$$

これは摩擦のない場合の限界値なのでこれより30%ぐらい余裕をみて $k=1243$N／mmとします。

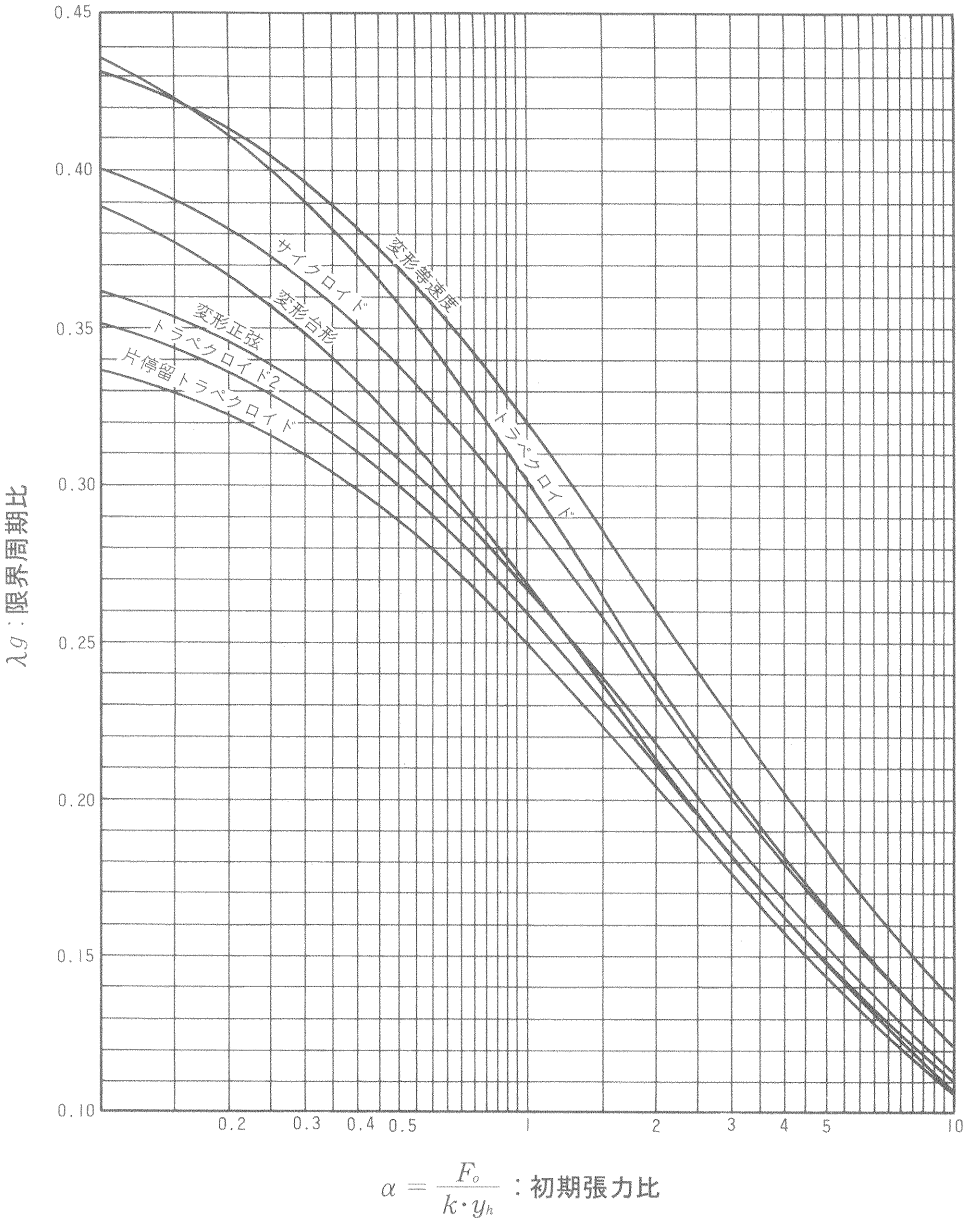


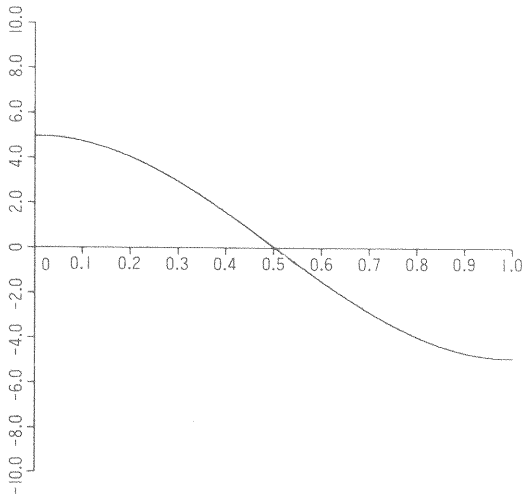
表６－３　初期張力比限界周期比線図

◎カム曲線のデーター

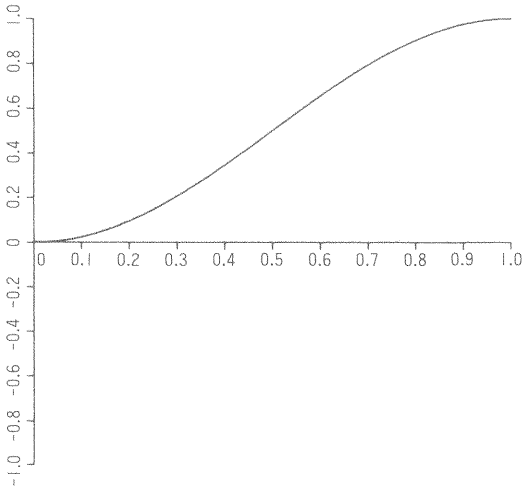
1. 単　弦

Vm	=	1.57080
Amp	=	4.93480
Amm	=	−4.93480
$Jmp1$	=	0.00000
$Jmm1$	=	−15.50314
$Jmm2$	=	−15.50314
$Jmp2$	=	0.00000
Qmp	=	3.87578
Qmm	=	−3.87578

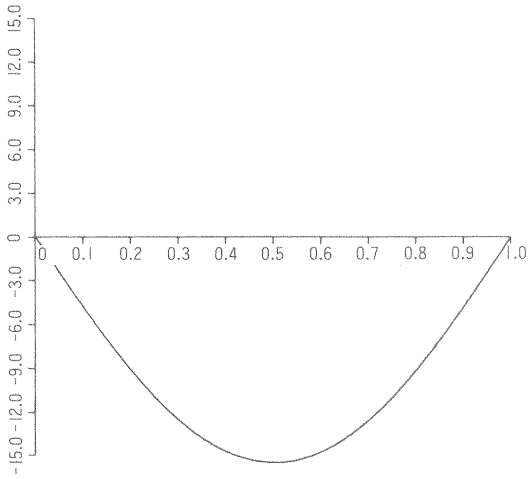
A



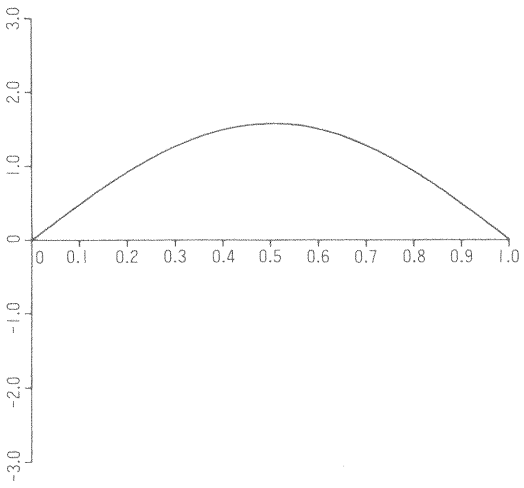
S



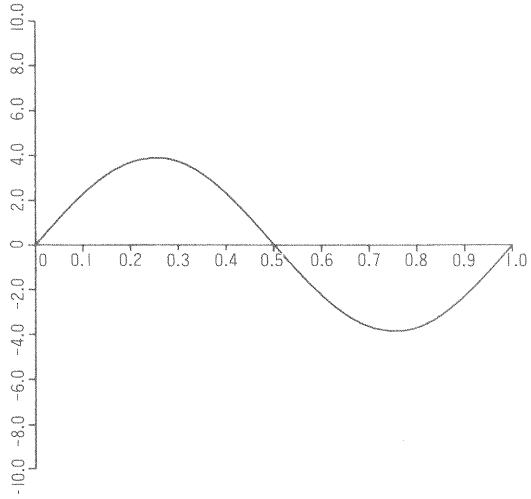
J



V



Q

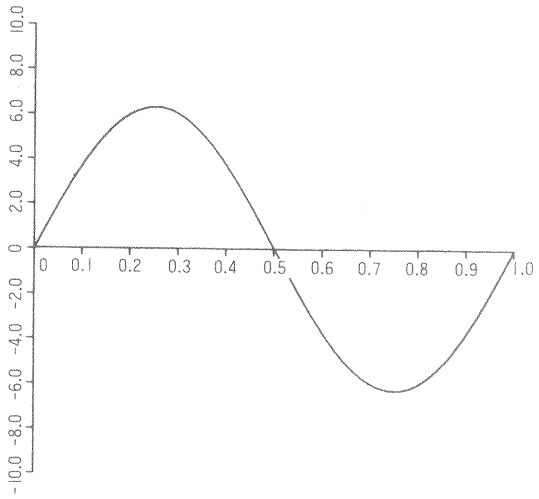


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	4.9348022005	0.0000000000	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0002467198	0.0493399050	4.9323671736	-0.4869653434	0.2433625277
2	0.0200000000	0.0009866358	0.0986311174	4.9250644957	-0.9734501107	0.4857646146
3	0.0300000000	0.0022190177	0.1478249929	4.9129013737	-1.4589742003	0.7262496106
4	0.0400000000	0.0039426493	0.1968729829	4.8958898112	-1.9430584586	0.9638684311
5	0.0500000000	0.0061558297	0.2457266831	4.8740465966	-2.4252251527	1.1976833033
6	0.0600000000	0.0088563746	0.2943378807	4.8473932865	-2.9049984424	1.4267714667
7	0.0700000000	0.0120416190	0.3426586023	4.8159561844	-3.3819048493	1.6502288149
8	0.0800000000	0.0157084194	0.3906411613	4.7797663149	-3.8554737245	1.8671734639
9	0.0900000000	0.0198531572	0.4382382046	4.7388593932	-4.3252377126	2.0767492322
10	0.1000000000	0.0244717419	0.4854027597	4.6932757895	-4.7907332133	2.2781290201
11	0.1100000000	0.0295596155	0.5320882809	4.6430604891	-5.2515008386	2.4705180736
12	0.1200000000	0.0351117571	0.5782486952	4.5882630486	-5.7070858667	2.6531571209
13	0.1300000000	0.0411226872	0.6238384478	4.5289375464	-6.1570386900	2.8253253691
14	0.1400000000	0.0475864738	0.6688125472	4.4651425296	-6.6009152595	2.9863433489
15	0.1500000000	0.0544967379	0.7131266094	4.3969409563	-7.0382775226	3.1355755958
16	0.1600000000	0.0618466600	0.7567369017	4.3244001330	-7.4686938555	3.2724331584
17	0.1700000000	0.0696289865	0.7996003860	4.2475916490	-7.8917394892	3.3963759223
18	0.1800000000	0.0778360372	0.8416747614	4.1665913047	-8.3069969289	3.5069147421
19	0.1900000000	0.0864597129	0.8829185053	4.0814790380	-8.7140563655	3.6036133715
20	0.2000000000	0.0954915028	0.9232909152	3.9923388441	-9.1125160806	3.6860901854
21	0.2100000000	0.1049224938	0.9627521485	3.8992586938	-9.5019828424	3.7540196852
22	0.2200000000	0.1147433786	1.0012632617	3.8023304460	-9.8820722944	3.8071337845
23	0.2300000000	0.1249444652	1.0387862489	3.7016497571	-10.2524093341	3.8452228659
24	0.2400000000	0.1355156863	1.0752840795	3.5973159867	-10.6126284836	3.8681366095
25	0.2500000000	0.1464466094	1.1107207345	3.4894320998	-10.9623742500	3.8757845850
26	0.2600000000	0.1577264470	1.1450612423	3.3781045647	-11.3013014765	3.8681366095
27	0.2700000000	0.1693440673	1.1782717129	3.2634432482	-11.6290756830	3.8452228659
28	0.2800000000	0.1812880051	1.2103193715	3.1455613073	-11.9453733957	3.8071337845
29	0.2900000000	0.1935464732	1.2411725910	3.0245750771	-12.2498824670	3.7540196852
30	0.3000000000	0.2061073739	1.2708009231	2.9006039565	-12.5423023833	3.6860901854
31	0.3100000000	0.2189583111	1.2991751280	2.7737702899	-12.8223445614	3.6036133715
32	0.3200000000	0.2320866025	1.3262672040	2.6441992470	-13.0897326335	3.5069147421
33	0.3300000000	0.2454792921	1.3520504143	2.5120186986	-13.3442027198	3.3963759223
34	0.3400000000	0.2591231629	1.3764993142	2.3773590911	-13.5855036891	3.2724331584
35	0.3500000000	0.2730047501	1.3995897753	2.2403533171	-13.8133974065	3.1355755958
36	0.3600000000	0.2871103542	1.4212990104	2.1011365850	-14.0276589683	2.9863433489
37	0.3700000000	0.3014260547	1.4416055949	1.9598462846	-14.2280769243	2.8253253691
38	0.3800000000	0.3159377237	1.4604894888	1.8166218527	-14.4144534861	2.6531571209
39	0.3900000000	0.3306310399	1.4779320558	1.6716046342	-14.5866047227	2.4705180736
40	0.4000000000	0.3454915028	1.4939160824	1.5249377438	-14.7443607414	2.2781290201
41	0.4100000000	0.3605044470	1.5084257941	1.3767659240	-14.8875658562	2.0767492322
42	0.4200000000	0.3756550564	1.5214468717	1.2272354024	-15.0160787409	1.8671734639
43	0.4300000000	0.3909283793	1.5329664649	1.0764937477	-15.1297725688	1.6502288149
44	0.4400000000	0.4063093427	1.5429732053	0.9246897236	-15.2285351378	1.4267714667
45	0.4500000000	0.4217827675	1.5514572174	0.7719731423	-15.3122689812	1.1976833033
46	0.4600000000	0.4373333832	1.5584101286	0.6184947168	-15.3808914638	0.9638684311
47	0.4700000000	0.4529458433	1.5638250771	0.4644059117	-15.4343348634	0.7262496106
48	0.4800000000	0.4686047402	1.5676967191	0.3098587939	-15.4725464380	0.4857646146
49	0.4900000000	0.4842946205	1.5700212336	0.1550058830	-15.4954884772	0.2433625277
50	0.5000000000	0.5000000000	1.5707963268	0.0000000000	-15.5031383401	0.0000000000
51	0.5100000000	0.5157053795	1.5700212336	-0.1550058830	-15.4954884772	-0.2433625277
52	0.5200000000	0.5313952598	1.5676967191	-0.3098587939	-15.4725464380	-0.4857646146
53	0.5300000000	0.5470541567	1.5638250771	-0.4644059117	-15.4343348634	-0.7262496106
54	0.5400000000	0.5626666168	1.5584101286	-0.6184947168	-15.3808914638	-0.9638684311
55	0.5500000000	0.5782172325	1.5514572174	-0.7719731423	-15.3122689812	-1.1976833033
56	0.5600000000	0.5936906573	1.5429732053	-0.9246897236	-15.2285351378	-1.4267714667
57	0.5700000000	0.6090716207	1.5329664649	-1.0764937477	-15.1297725688	-1.6502288149
58	0.5800000000	0.6243449436	1.5214468717	-1.2272354024	-15.0160787409	-1.8671734639
59	0.5900000000	0.6394955530	1.5084257941	-1.3767659240	-14.8875658562	-2.0767492322
60	0.6000000000	0.6545084972	1.4939160824	-1.5249377438	-14.7443607414	-2.2781290201
61	0.6100000000	0.6693689601	1.4779320558	-1.6716046342	-14.5866047227	-2.4705180736
62	0.6200000000	0.6840622763	1.4604894888	-1.8166218527	-14.4144534861	-2.6531571209
63	0.6300000000	0.6985739453	1.4416055949	-1.9598462846	-14.2280769243	-2.8253253691
64	0.6400000000	0.7128896458	1.4212990104	-2.1011365850	-14.0276589683	-2.9863433489
65	0.6500000000	0.7269952499	1.3995897753	-2.2403533171	-13.8133974065	-3.1355755958
66	0.6600000000	0.7408768371	1.3764993142	-2.3773590911	-13.5855036891	-3.2724331584
67	0.6700000000	0.7545207079	1.3520504143	-2.5120186986	-13.3442027198	-3.3963759223
68	0.6800000000	0.7679133975	1.3262672040	-2.6441992470	-13.0897326335	-3.5069147421
69	0.6900000000	0.7810416889	1.2991751280	-2.7737702899	-12.8223445614	-3.6036133715
70	0.7000000000	0.7938926261	1.2708009231	-2.9006039565	-12.5423023833	-3.6860901854
71	0.7100000000	0.8064535268	1.2411725910	-3.0245750771	-12.2498824670	-3.7540196852
72	0.7200000000	0.8187119949	1.2103193715	-3.1455613073	-11.9453733957	-3.8071337845
73	0.7300000000	0.8306559327	1.1782717129	-3.2634432482	-11.6290756830	-3.8452228659
74	0.7400000000	0.8422735530	1.1450612423	-3.3781045647	-11.3013014765	-3.8681366095
75	0.7500000000	0.8535533906	1.1107207345	-3.4894320998	-10.9623742500	-3.8757845850
76	0.7600000000	0.8644843137	1.0752840795	-3.5973159867	-10.6126284836	-3.8681366095
77	0.7700000000	0.8750555348	1.0387862489	-3.7016497571	-10.2524093341	-3.8452228659
78	0.7800000000	0.8852566214	1.0012632617	-3.8023304460	-9.8820722944	-3.8071337845
79	0.7900000000	0.8950775062	0.9627521485	-3.8992586938	-9.5019828424	-3.7540196852
80	0.8000000000	0.9045084972	0.9232909152	-3.9923388441	-9.1125160806	-3.6860901854
81	0.8100000000	0.9135402871	0.8829185053	-4.0814790380	-8.7140563655	-3.6036133715
82	0.8200000000	0.9221639628	0.8416747614	-4.1665913047	-8.3069969289	-3.5069147421
83	0.8300000000	0.9303710135	0.7996003860	-4.2475916490	-7.8917394892	-3.3963759223
84	0.8400000000	0.9381533400	0.7567369017	-4.3244001330	-7.4686938555	-3.2724331584
85	0.8500000000	0.9455032621	0.7131266094	-4.3969409563	-7.0382775226	-3.1355755958
86	0.8600000000	0.9524135262	0.6688125472	-4.4651425296	-6.6009152595	-2.9863433489
87	0.8700000000	0.9588773128	0.6238384478	-4.5289375464	-6.1570386900	-2.8253253691
88	0.8800000000	0.9648882429	0.5782486952	-4.5882630486	-5.7070858667	-2.6531571209
89	0.8900000000	0.9704403845	0.5320882809	-4.6430604891	-5.2515008386	-2.4705180736
90	0.9000000000	0.9755282581	0.4854027597	-4.6932757895	-4.7907332133	-2.2781290201
91	0.9100000000	0.9801468428	0.4382382046	-4.7388593932	-4.3252377126	-2.0767492322
92	0.9200000000	0.9842915806	0.3906411613	-4.7797663149	-3.8554737245	-1.8671734639
93	0.9300000000	0.9879583810	0.3426586023	-4.8159561844	-3.3819048493	-1.6502288149
94	0.9400000000	0.9911436254	0.2943378807	-4.8473932865	-2.9049984424	-1.4267714667
95	0.9500000000	0.9938441703	0.2457266831	-4.8740465966	-2.4252251527	-1.1976833033
96	0.9600000000	0.9960573507	0.1968729829	-4.8958898112	-1.9430584586	-0.9638684311
97	0.9700000000	0.9977809823	0.1478249929	-4.9129013737	-1.4589742003	-0.7262496106
98	0.9800000000	0.9990133642	0.0986311174	-4.9250644957	-0.9734501107	-0.4857646146
99	0.9900000000	0.9997532802	0.0493399050	-4.9323671736	-0.4869653434	-0.2433625277
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	-4.9348022005	0.0000000000	0.0000000000

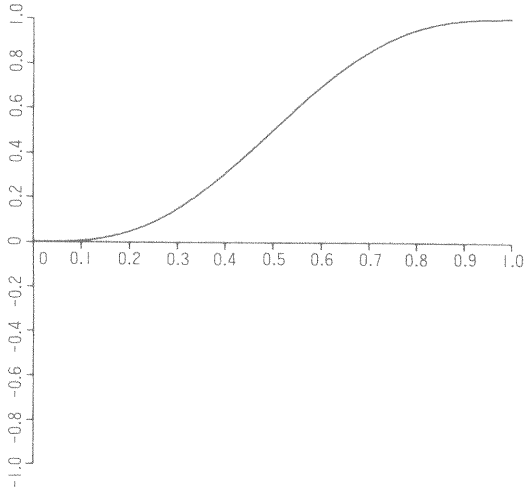
2. サイクロイド

Vm	=	2.00000
Amp	=	6.28319
Amm	=	−6.28319
$Jmp1$	=	39.47842
$Jmm1$	=	−39.47842
$Jmm2$	=	−39.47842
$Jmp2$	=	39.47842
Qmp	=	8.16206
Qmm	=	−8.16206

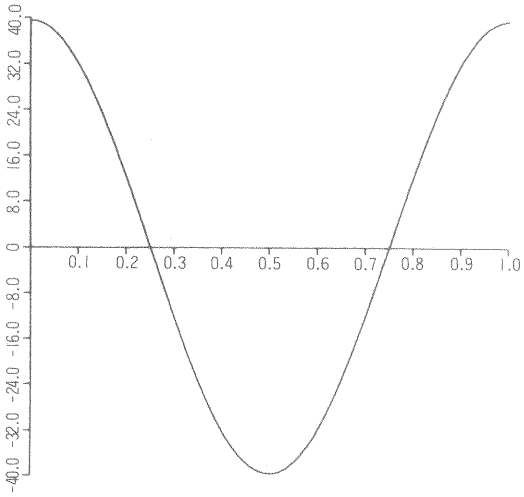
A



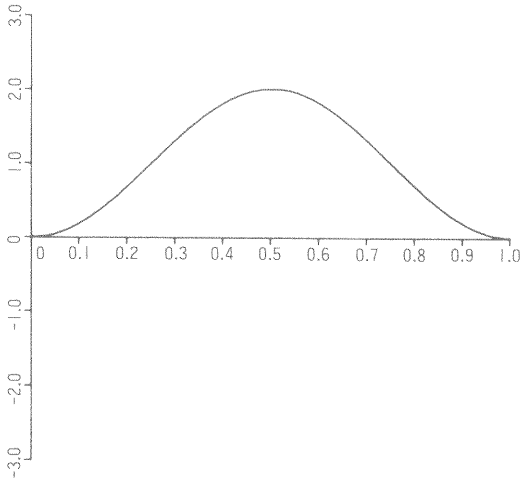
S



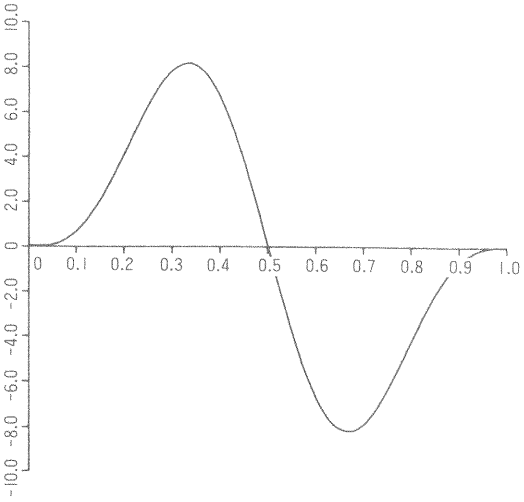
J



V



Q

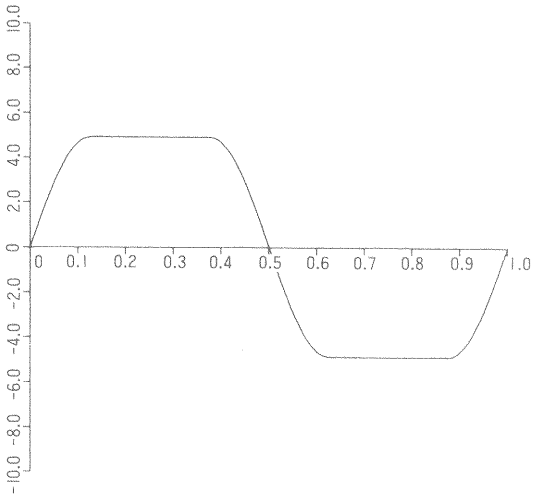


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	39.4784176044	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0000065784	0.0019732716	0.3945244697	39.4005159652	0.0007785039
2	0.0200000000	0.0000525963	0.0078852987	0.7874919316	39.1671184899	0.0062096091
3	0.0300000000	0.0001773375	0.0177127493	1.1773515226	38.7791462917	0.0208541323
4	0.0400000000	0.0004197752	0.0314168389	1.5625646451	38.2381305196	0.0490908417
5	0.0500000000	0.0008184178	0.0489434837	1.9416110387	37.5462063156	0.0950292082
6	0.0600000000	0.0014111578	0.0702235141	2.3129947806	36.7061043886	0.1624266216
7	0.0700000000	0.0022351211	0.0951729475	2.6752501889	35.7211402370	0.2546114459
8	0.0800000000	0.0033265214	0.1236933200	3.0269476068	34.5952010643	0.3744131988
9	0.0900000000	0.0047205169	0.1556720745	3.3666990454	33.3327304380	0.5241010246
10	0.1000000000	0.0064510716	0.1909830056	3.6931636610	31.9387107530	0.7053314962
11	0.1100000000	0.0085508212	0.2294867572	4.0050530468	30.4186435680	0.9191066362
12	0.1200000000	0.0110509443	0.2710313726	4.3011363180	28.7785278938	1.1657428799
13	0.1300000000	0.0139810396	0.3154528941	4.5802449692	27.0248365177	1.4448515311
14	0.1400000000	0.0173690087	0.3625760103	4.8412774860	25.1644904583	1.7553310754
15	0.1500000000	0.0212409463	0.4122147477	5.0832036923	23.2048316517	2.0953715276
16	0.1600000000	0.0256210371	0.4641732050	5.3050688160	21.1535939758	2.4624707952
17	0.1700000000	0.0305314602	0.5182463259	5.5059972566	19.0188727286	2.8534628487
18	0.1800000000	0.0359923020	0.5742207084	5.6851960416	16.8090926797	3.2645572986
19	0.1900000000	0.0420214763	0.6318754473	5.8419579551	14.5329748213	3.6913897961
20	0.2000000000	0.0486346543	0.6909830056	5.9756643295	12.1995019508	4.1290824990
21	0.2100000000	0.0558452021	0.7513101128	6.0857874868	9.8178832195	4.5723136834
22	0.2200000000	0.0636641285	0.8126186854	6.1718928212	7.3975177885	5.0153954309
23	0.2300000000	0.0721000412	0.8746667664	6.2336405143	4.9479577344	5.4523581918
24	0.2400000000	0.0811591128	0.9372094805	6.2707868762	2.4788703516	5.8770409104
25	0.2500000000	0.0908450569	1.0000000000	6.2831853072	0.0000000000	6.2831853072
26	0.2600000000	0.1011591128	1.0627905195	6.2707868762	-2.4788703516	6.6645328420
27	0.2700000000	0.1121000412	1.1253332336	6.2336405143	-4.9479577344	7.0149228369
28	0.2800000000	0.1236641285	1.1873813146	6.1718928212	-7.3975177885	7.3283902115
29	0.2900000000	0.1358452021	1.2486898872	6.0857874868	-9.8178832195	7.5992612902
30	0.3000000000	0.1486346543	1.3090169944	5.9756643295	-12.1995019508	7.8222461600
31	0.3100000000	0.1620214763	1.3681245527	5.8419579551	-14.5329748213	7.9925261141
32	0.3200000000	0.1759923020	1.4257792916	5.6851960416	-16.8090926797	8.1058347846
33	0.3300000000	0.1905314602	1.4817536741	5.5059972566	-19.0188727286	8.1585316646
34	0.3400000000	0.2056210371	1.5358267950	5.3050688160	-21.1535939758	8.1476668368
35	0.3500000000	0.2212409463	1.5877852523	5.0832036923	-23.2048316517	8.0710358571
36	0.3600000000	0.2373690087	1.6374239897	4.8412774860	-25.1644904583	7.9272238966
37	0.3700000000	0.2539810396	1.6845471059	4.5802449692	-27.0248365177	7.7156384073
38	0.3800000000	0.2710509443	1.7289686274	4.3011363180	-28.7785278938	7.4365297562
39	0.3900000000	0.2885508212	1.7705132428	4.0050530468	-30.4186435680	7.0909994574
40	0.4000000000	0.3064510716	1.8090169944	3.6931636610	-31.9387107530	6.6809958257
41	0.4100000000	0.3247205169	1.8443279255	3.3666990454	-33.3327304380	6.2092970662
42	0.4200000000	0.3433265214	1.8763066800	3.0269476068	-34.5952010643	5.6794820148
43	0.4300000000	0.3622351211	1.9048270525	2.6752501889	-35.7211402370	5.0958889319
44	0.4400000000	0.3814111578	1.9297764859	2.3129947806	-36.7061043886	4.4635629397
45	0.4500000000	0.4008184178	1.9510565163	1.9416110387	-37.5462063156	3.7881928692
46	0.4600000000	0.4204197752	1.9685831611	1.5625646451	-38.2381305196	3.0760384485
47	0.4700000000	0.4401773375	1.9822872507	1.1773515226	-38.7791462917	2.3338489130
48	0.4800000000	0.4600525963	1.9921147013	0.7874919316	-39.1671184899	1.5687742542
49	0.4900000000	0.4800065784	1.9980267284	0.3945244697	-39.4005159652	0.7882704356
50	0.5000000000	0.5000000000	2.0000000000	0.0000000000	-39.4784176044	0.0000000000
51	0.5100000000	0.5199934216	1.9980267284	-0.3945244697	-39.4005159652	-0.7882704356
52	0.5200000000	0.5399474037	1.9921147013	-0.7874919316	-39.1671184899	-1.5687742542
53	0.5300000000	0.5598226625	1.9822872507	-1.1773515226	-38.7791462917	-2.3338489130
54	0.5400000000	0.5795802248	1.9685831611	-1.5625646451	-38.2381305196	-3.0760384485
55	0.5500000000	0.5991815822	1.9510565163	-1.9416110387	-37.5462063156	-3.7881928692
56	0.5600000000	0.6185888422	1.9297764859	-2.3219947806	-36.7061043886	-4.4635629397
57	0.5700000000	0.6377648789	1.9048270525	-2.6752501889	-35.7211402370	-5.0958889319
58	0.5800000000	0.6566734786	1.8763066800	-3.0269476068	-34.5952010643	-5.6794820148
59	0.5900000000	0.6752794831	1.8443279255	-3.3666990454	-33.3327304380	-6.2092970662
60	0.6000000000	0.6935489284	1.8090169944	-3.6931636610	-31.9387107530	-6.6809958257
61	0.6100000000	0.7114491788	1.7705132428	-4.0050530468	-30.4186435680	-7.0909994574
62	0.6200000000	0.7289490557	1.7289686274	-4.3011363180	-28.7785278938	-7.4365297562
63	0.6300000000	0.7460189604	1.6845471059	-4.5802449692	-27.0248365177	-7.7156384073
64	0.6400000000	0.7626309913	1.6374239897	-4.8412774860	-25.1644904583	-7.9272238966
65	0.6500000000	0.7787590537	1.5877852523	-5.0832036923	-23.2048316517	-8.0710358571
66	0.6600000000	0.7943789629	1.5358267950	-5.3050688160	-21.1535939758	-8.1476668368
67	0.6700000000	0.8094685398	1.4817536741	-5.5059972566	-19.0188727286	-8.1585316646
68	0.6800000000	0.8240076980	1.4257792916	-5.6851960416	-16.8090926797	-8.1058347846
69	0.6900000000	0.8379785237	1.3681245527	-5.8419579551	-14.5329748213	-7.9925261141
70	0.7000000000	0.8513653457	1.3090169944	-5.9756643295	-12.1995019508	-7.8222461600
71	0.7100000000	0.8641547979	1.2486898872	-6.0857874868	-9.8178832195	-7.5992612902
72	0.7200000000	0.8763358715	1.1873813146	-6.1718928212	-7.3975177885	-7.3283902115
73	0.7300000000	0.8878999588	1.1253332336	-6.2336405143	-4.9479577344	-7.0149228369
74	0.7400000000	0.8988408872	1.0627905195	-6.2707868762	-2.4788703516	-6.6645328420
75	0.7500000000	0.9091549431	1.0000000000	-6.2831853072	0.0000000000	-6.2831853072
76	0.7600000000	0.9188408872	0.9372094805	-6.2707868762	2.4788703516	-5.8770409104
77	0.7700000000	0.9278999588	0.8746667664	-6.2336405143	4.9479577344	-5.4523581918
78	0.7800000000	0.9363358715	0.8126186854	-6.1718928212	7.3975177885	-5.0153954309
79	0.7900000000	0.9441547979	0.7513101128	-6.0857874868	9.8178832195	-4.5723136834
80	0.8000000000	0.9513653457	0.6909830056	-5.9756643295	12.1995019508	-4.1290824990
81	0.8100000000	0.9579785237	0.6318754473	-5.8419579551	14.5329748213	-3.6913897961
82	0.8200000000	0.9640076980	0.5742207084	-5.6851960416	16.8090926797	-3.2645572986
83	0.8300000000	0.9694685398	0.5182463259	-5.5059972566	19.0188727286	-2.8534628487
84	0.8400000000	0.9743789629	0.4641732050	-5.3050688160	21.1535939758	-2.4624707952
85	0.8500000000	0.9787590537	0.4122147477	-5.0832036923	23.2048316517	-2.0953715276
86	0.8600000000	0.9826309913	0.3625760103	-4.8412774860	25.1644904583	-1.7553310754
87	0.8700000000	0.9860189604	0.3154528941	-4.5802449692	27.0248365177	-1.4448515311
88	0.8800000000	0.9889490557	0.2710313726	-4.3011363180	28.7785278938	-1.1657428799
89	0.8900000000	0.9914491788	0.2294867572	-4.0050530468	30.4186435680	-0.9191066362
90	0.9000000000	0.9935489284	0.1909830056	-3.6931636610	31.9387107530	-0.7053314962
91	0.9100000000	0.9952794831	0.1556720745	-3.3666990454	33.3327304380	-0.5241010246
92	0.9200000000	0.9966734786	0.1236933200	-3.0269476068	34.5952010643	-0.3744131988
93	0.9300000000	0.9977648789	0.0951729475	-2.6752501889	35.7211402370	-0.2546114459
94	0.9400000000	0.9985888422	0.0702235141	-2.3129947806	36.7061043886	-0.1624266216
95	0.9500000000	0.9991815822	0.0489434837	-1.9416110387	37.5462063156	-0.0950292082
96	0.9600000000	0.9995802248	0.0314168389	-1.5625646451	38.2381305196	-0.0490908417
97	0.9700000000	0.9998226625	0.0177127493	-1.1773515226	38.7791462917	-0.0208541323
98	0.9800000000	0.9999474037	0.0078852987	-0.7874919316	39.1671184899	-0.0062096091
99	0.9900000000	0.9999934216	0.0019732716	-0.3945244697	39.4005159652	-0.0007785039
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	39.4784176044	0.0000000000

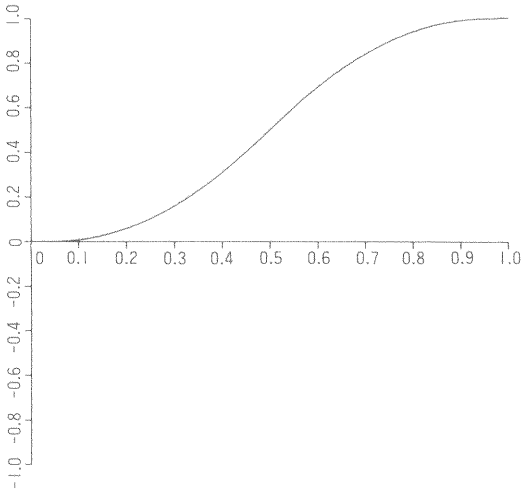
3. 変形台形

Vm	=	2.00000
Amp	=	4.88812
Amm	=	−4.88812
$Jmp1$	=	61.42597
$Jmm1$	=	−61.42597
$Jmm2$	=	−61.42597
$Jmp2$	=	61.42597
Qmp	=	8.08981
Qmm	=	−8.08981

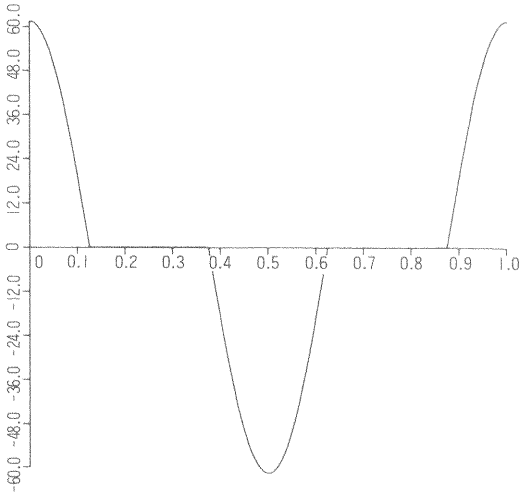
A



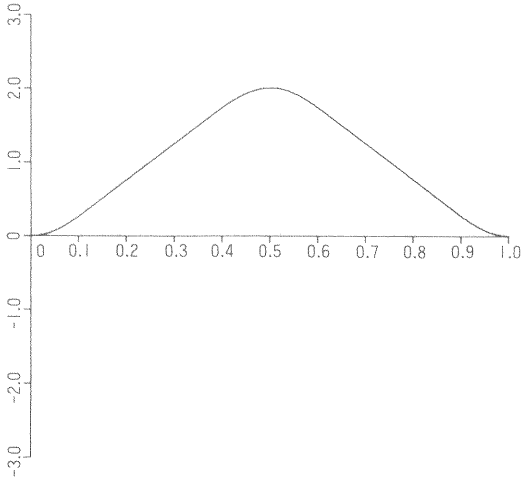
S



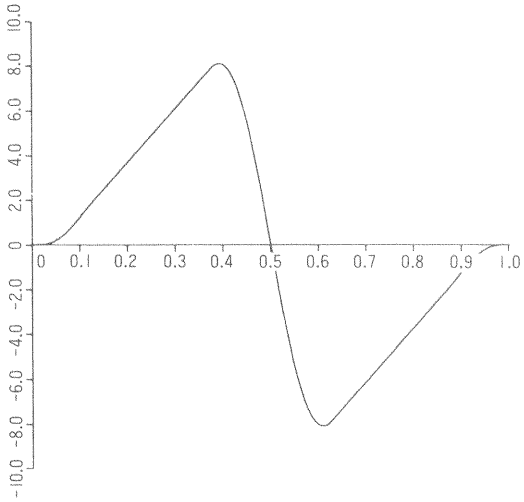
J



V



Q

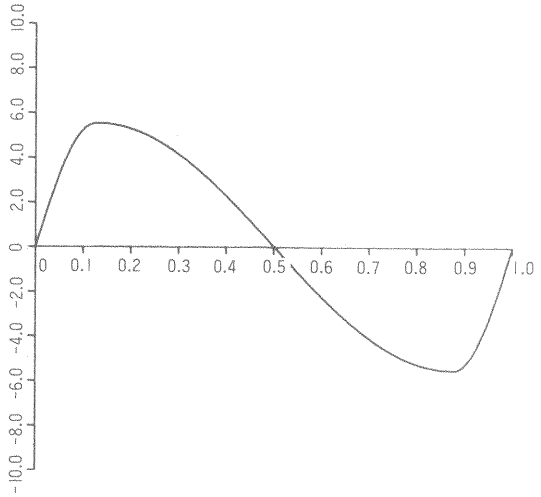


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	61.4259748124	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0000102296	0.0030672592	0.6126443573	60.9416126539	0.0018791390
2	0.0200000000	0.0000816430	0.0122206643	1.2156269470	59.4961648592	0.0148557688
3	0.0300000000	0.0002744593	0.0273158606	1.7994383737	57.1124270033	0.0491532078
4	0.0400000000	0.0006469827	0.0481147879	2.3548715822	53.8279920563	0.1133041467
5	0.0500000000	0.0012546835	0.0742894346	2.8731670592	49.6946575193	0.2134459564
6	0.0600000000	0.0021493232	0.1054270110	3.3461509753	44.7776085470	0.3527746956
7	0.0700000000	0.0033781378	0.1410364588	3.7663640916	39.1543899391	0.5311946541
8	0.0800000000	0.0049830935	0.1805561958	4.1271793963	32.9136832122	0.7451878113
9	0.0900000000	0.0070002243	0.2233629722	4.4229066164	26.1539080393	0.9879135675
10	0.1000000000	0.0094590641	0.2687816994	4.6488819571	18.9816701131	1.2495343929
11	0.1100000000	0.0123821805	0.3160960971	4.8015416522	11.5100799101	1.5177485765
12	0.1200000000	0.0157848197	0.3645599889	4.8784781672	3.8569688711	1.7784979467
13	0.1300000000	0.0196746851	0.4134251485	4.8881237628	0.0000000000	2.0208732923
14	0.1400000000	0.0240533427	0.4623063861	4.8881237628	0.0000000000	2.2598108315
15	0.1500000000	0.0289208128	0.5111876237	4.8881237628	0.0000000000	2.4987483708
16	0.1600000000	0.0342770952	0.5600688613	4.8881237628	0.0000000000	2.7376859100
17	0.1700000000	0.0401221900	0.6089500990	4.8881237628	0.0000000000	2.9766234492
18	0.1800000000	0.0464560972	0.6578313366	4.8881237628	0.0000000000	3.2155609884
19	0.1900000000	0.0532788167	0.7067125742	4.8881237628	0.0000000000	3.4544985276
20	0.2000000000	0.0605903487	0.7555938119	4.8881237628	0.0000000000	3.6934360668
21	0.2100000000	0.0683906930	0.8044750495	4.8881237628	0.0000000000	3.9323736060
22	0.2200000000	0.0766798497	0.8533562871	4.8881237628	0.0000000000	4.1713111452
23	0.2300000000	0.0854578187	0.9022375247	4.8881237628	0.0000000000	4.4102486844
24	0.2400000000	0.0947246002	0.9511187624	4.8881237628	0.0000000000	4.6491862236
25	0.2500000000	0.1044801940	1.0000000000	4.8881237628	0.0000000000	4.8881237628
26	0.2600000000	0.1147246002	1.0488812376	4.8881237628	0.0000000000	5.1270613020
27	0.2700000000	0.1254578187	1.0977624753	4.8881237628	0.0000000000	5.3659988412
28	0.2800000000	0.1366798497	1.1466437129	4.8881237628	0.0000000000	5.6049363804
29	0.2900000000	0.1483906930	1.1955249505	4.8881237628	0.0000000000	5.8438739196
30	0.3000000000	0.1605903487	1.2444061881	4.8881237628	0.0000000000	6.0828114588
31	0.3100000000	0.1732788167	1.2932874258	4.8881237628	0.0000000000	6.3217489980
32	0.3200000000	0.1864560972	1.3421686634	4.8881237628	0.0000000000	6.5606865373
33	0.3300000000	0.2001221900	1.3910499010	4.8881237628	0.0000000000	6.7996240765
34	0.3400000000	0.2142770952	1.4399311387	4.8881237628	0.0000000000	7.0385616157
35	0.3500000000	0.2289208128	1.4888123763	4.8881237628	0.0000000000	7.2774991549
36	0.3600000000	0.2440533427	1.5376936139	4.8881237628	0.0000000000	7.5164366941
37	0.3700000000	0.2596746851	1.5865748515	4.8881237628	0.0000000000	7.7553742333
38	0.3800000000	0.2757848197	1.6354400111	4.8784781672	-3.8569688711	7.9784583876
39	0.3900000000	0.2923821805	1.6839039029	4.8015416522	-11.5100799101	8.0853347279
40	0.4000000000	0.3094590641	1.7312183006	4.6488819571	-18.9816701131	8.0482295213
41	0.4100000000	0.3270002243	1.7766370278	4.4229066164	-26.1539080393	7.8578996653
42	0.4200000000	0.3449830935	1.8194438042	4.1271793963	-32.9136832122	7.5091709812
43	0.4300000000	0.3633781378	1.8589635412	3.7663640916	-39.1543899391	7.0015335291
44	0.4400000000	0.3821493232	1.8945729890	3.3461509753	-44.7776085470	6.3395272549
45	0.4500000000	0.4012546835	1.9257105654	2.8731670592	-49.6946575193	5.5328881619
46	0.4600000000	0.4206469827	1.9518852121	2.3548715822	-53.8279920563	4.5964390177
47	0.4700000000	0.4402744593	1.9726841394	1.7994383737	-57.1124270033	3.5497235395
48	0.4800000000	0.4600816430	1.9877793357	1.2156269470	-59.4961648592	2.4163981252
49	0.4900000000	0.4800102296	1.9969327408	0.6126443573	-60.9416126539	1.2234095755
50	0.5000000000	0.5000000000	2.0000000000	0.0000000000	-61.4259748124	0.0000000000
51	0.5100000000	0.5199897704	1.9969327408	-0.6126443573	-60.9416126539	-1.2234095755
52	0.5200000000	0.5399183570	1.9877793357	-1.2156269470	-59.4961648592	-2.4163981252
53	0.5300000000	0.5597255407	1.9726841394	-1.7994383737	-57.1124270033	-3.5497235395
54	0.5400000000	0.5793530173	1.9518852121	-2.3548715822	-53.8279920563	-4.5964390177
55	0.5500000000	0.5987453165	1.9257105654	-2.8731670592	-49.6946575193	-5.5328881619
56	0.5600000000	0.6178506768	1.8945729890	-3.3461509753	-44.7776085470	-6.3395272549
57	0.5700000000	0.6366218622	1.8589635412	-3.7663640916	-39.1543899391	-7.0015335291
58	0.5800000000	0.6550169065	1.8194438042	-4.1271793963	-32.9136832122	-7.5091709812
59	0.5900000000	0.6729997757	1.7766370278	-4.4229066164	-26.1539080393	-7.8578996653
60	0.6000000000	0.6905409359	1.7312183006	-4.6488819571	-18.9816701131	-8.0482295213
61	0.6100000000	0.7076178195	1.6839039029	-4.8015416522	-11.5100799101	-8.0853347279
62	0.6200000000	0.7242151803	1.6354400111	-4.8784781672	-3.8569688711	-7.9784583876
63	0.6300000000	0.7403253149	1.5865748515	-4.8881237628	0.0000000000	-7.7553742333
64	0.6400000000	0.7559466573	1.5376936139	-4.8881237628	0.0000000000	-7.5164366941
65	0.6500000000	0.7710791872	1.4888123763	-4.8881237628	0.0000000000	-7.2774991549
66	0.6600000000	0.7857229048	1.4399311387	-4.8881237628	0.0000000000	-7.0385616157
67	0.6700000000	0.7998778100	1.3910499010	-4.8881237628	0.0000000000	-6.7996240765
68	0.6800000000	0.8135439028	1.3421686634	-4.8881237628	0.0000000000	-6.5606865373
69	0.6900000000	0.8267211833	1.2932874258	-4.8881237628	0.0000000000	-6.3217489980
70	0.7000000000	0.8394096513	1.2444061881	-4.8881237628	0.0000000000	-6.0828114588
71	0.7100000000	0.8516093070	1.1955249505	-4.8881237628	0.0000000000	-5.8438739196
72	0.7200000000	0.8633201503	1.1466437129	-4.8881237628	0.0000000000	-5.6049363804
73	0.7300000000	0.8745421813	1.0977624753	-4.8881237628	0.0000000000	-5.3659988412
74	0.7400000000	0.8852753998	1.0488812376	-4.8881237628	0.0000000000	-5.1270613020
75	0.7500000000	0.8955198060	1.0000000000	-4.8881237628	0.0000000000	-4.8881237628
76	0.7600000000	0.9052753998	0.9511187624	-4.8881237628	0.0000000000	-4.6491862236
77	0.7700000000	0.9145421813	0.9022375247	-4.8881237628	0.0000000000	-4.4102486844
78	0.7800000000	0.9233201503	0.8533562871	-4.8881237628	0.0000000000	-4.1713111452
79	0.7900000000	0.9316093070	0.8044750495	-4.8881237628	0.0000000000	-3.9323736060
80	0.8000000000	0.9394096513	0.7555938119	-4.8881237628	0.0000000000	-3.6934360668
81	0.8100000000	0.9467211833	0.7067125742	-4.8881237628	0.0000000000	-3.4544985276
82	0.8200000000	0.9535439028	0.6578313366	-4.8881237628	0.0000000000	-3.2155609884
83	0.8300000000	0.9598778100	0.6089500990	-4.8881237628	0.0000000000	-2.9766234492
84	0.8400000000	0.9657229048	0.5600688613	-4.8881237628	0.0000000000	-2.7376859100
85	0.8500000000	0.9710791872	0.5111876237	-4.8881237628	0.0000000000	-2.4987483708
86	0.8600000000	0.9759466573	0.4623063861	-4.8881237628	0.0000000000	-2.2598108315
87	0.8700000000	0.9803253149	0.4134251485	-4.8881237628	0.0000000000	-2.0208732923
88	0.8800000000	0.9842151803	0.3645599889	-4.8784781672	3.8569688711	-1.7784979467
89	0.8900000000	0.9876178195	0.3160960971	-4.8015416522	11.5100799101	-1.5177485765
90	0.9000000000	0.9905409359	0.2687816994	-4.6488819571	18.9816701131	-1.2495343929
91	0.9100000000	0.9929997757	0.2233629722	-4.4229066164	26.1539080393	-0.9879135675
92	0.9200000000	0.9950169065	0.1805561958	-4.1271793963	32.9136832122	-0.7451878113
93	0.9300000000	0.9966218622	0.1410364588	-3.7663640916	39.1543899391	-0.5311946541
94	0.9400000000	0.9978506768	0.1054270110	-3.3461509753	44.7776085470	-0.3527746956
95	0.9500000000	0.9987453165	0.0742894346	-2.8731670592	49.6946575193	-0.2134459564
96	0.9600000000	0.9993530173	0.0481147879	-2.3548715822	53.8279920563	-0.1133041467
97	0.9700000000	0.9997255407	0.0273158606	-1.7994383737	57.1124270033	-0.0491532078
98	0.9800000000	0.9999183570	0.0122206643	-1.2156269470	59.4961648592	-0.0148557688
99	0.9900000000	0.9999897704	0.0030672592	-0.6126443573	60.9416126539	-0.0018791390
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	61.4259748124	0.0000000000

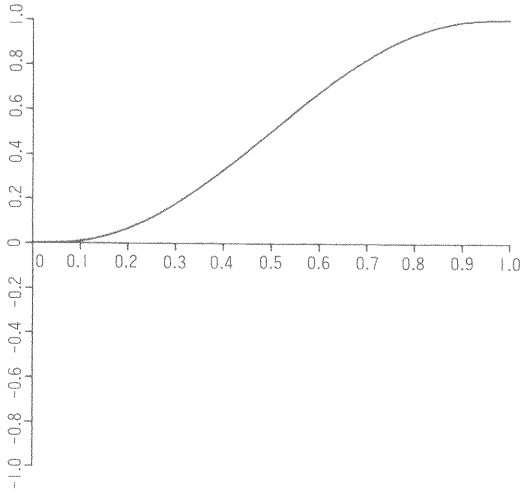
4. 変形正弦

Vm	=	1.75960
Amp	=	5.52796
Amm	=	−5.52796
$Jmp1$	=	69.46636
$Jmm1$	=	−23.15545
$Jmm2$	=	−23.15545
$Jmp2$	=	69.46636
Qmp	=	5.45774
Qmm	=	−5.45774

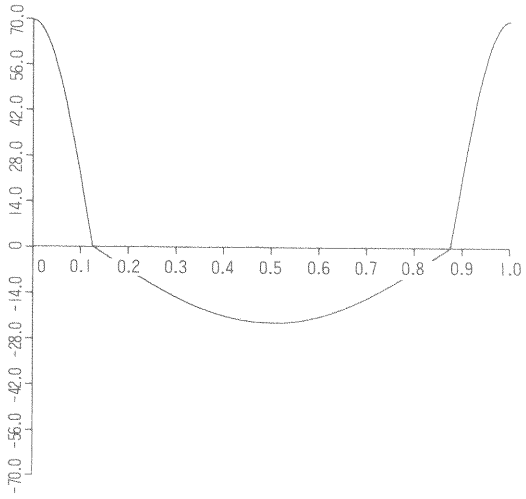
A



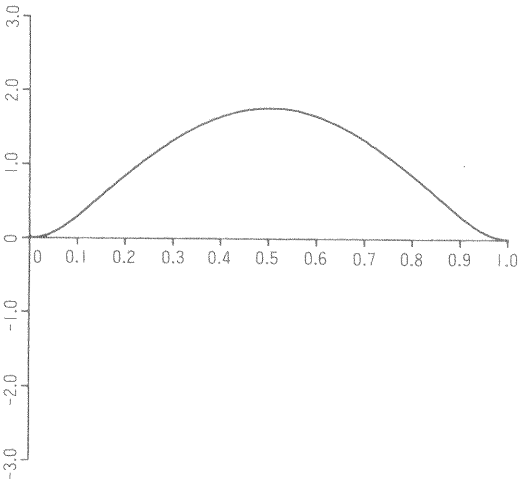
S



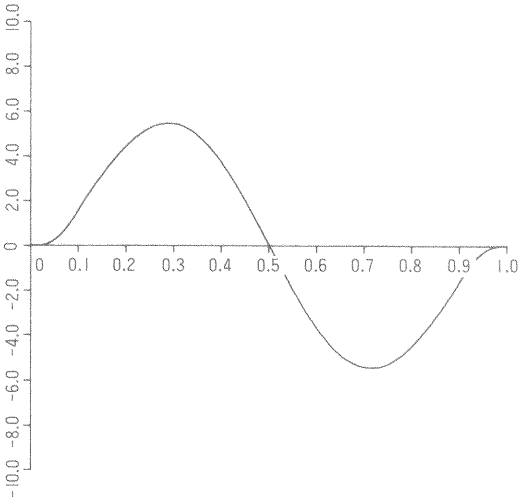
J



V



Q

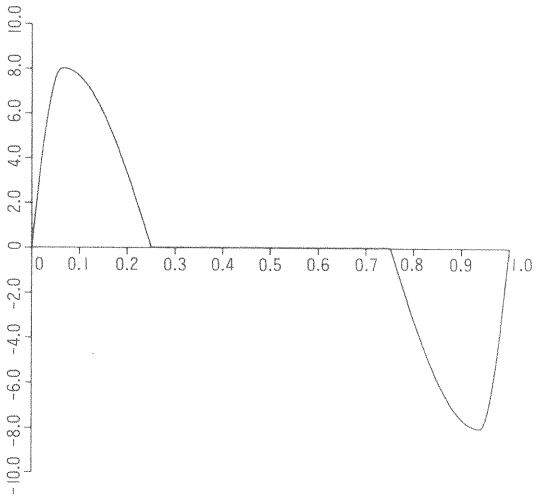


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	69.4663572887	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0000115686	0.0034687496	0.6928367347	68.9185943129	0.0024032771
2	0.0200000000	0.0000923297	0.0138202940	1.3747470201	67.2839439348	0.0189994080
3	0.0300000000	0.0003103847	0.0308913833	2.0349767239	64.5881855674	0.0628632460
4	0.0400000000	0.0007316698	0.0544127962	2.6631136290	60.8738329304	0.1449074590
5	0.0500000000	0.0014189159	0.0840135858	3.2492516414	56.1994635839	0.2729812817
6	0.0600000000	0.0024306599	0.1192269302	3.7841470143	50.6387951247	0.4511722320
7	0.0700000000	0.0038203208	0.1594974938	4.2593641284	44.2795226163	0.6793579038
8	0.0800000000	0.0056353579	0.2041901858	4.6674085256	37.2219355849	0.9530390141
9	0.0900000000	0.0079165220	0.2526001757	5.0018451023	29.5773363940	1.2634669517
10	0.1000000000	0.0106972128	0.3039640091	5.2573995937	21.4662849395	1.5980602579
11	0.1100000000	0.0140029520	0.3574716476	5.4300417530	13.0166973482	1.9410859719
12	0.1200000000	0.0178509812	0.4122792438	5.5170489100	4.3618286640	2.2745647526
13	0.1300000000	0.0222500099	0.4675386112	5.5267446982	-0.4849312074	2.5839665406
14	0.1400000000	0.0272016120	0.5227656546	5.5170489100	-1.4539428880	2.8841236847
15	0.1500000000	0.0327048384	0.5778473249	5.4976743433	-2.4204038587	3.1768164125
16	0.1600000000	0.0387577518	0.6326869903	5.4686549877	-3.3826186186	3.4599468649
17	0.1700000000	0.0453574507	0.6871884432	5.4300417530	-4.3388991161	3.7314619387
18	0.1800000000	0.0525000745	0.7412560697	5.3819023799	-5.2875677101	3.9893678054
19	0.1900000000	0.0601808098	0.7947950167	5.3243213212	-6.2269601136	4.2317440532
20	0.2000000000	0.0683938993	0.8477113587	5.2573995937	-7.1554283132	4.4567573529
21	0.2100000000	0.0771326520	0.8999122625	5.1812546009	-8.0713434600	4.6626745506
22	0.2200000000	0.0863894544	0.9513061500	5.0960199269	-8.9730987278	4.8478750970
23	0.2300000000	0.0961557842	1.0018028588	5.0018451023	-9.8591121313	5.0108627229
24	0.2400000000	0.1064222255	1.0513138006	4.8988953418	-10.7278293020	5.1502762803
25	0.2500000000	0.1171784846	1.0997521162	4.7873512541	-11.5777262148	5.2648996728
26	0.2600000000	0.1284134089	1.1470328285	4.6674085256	-12.4073118616	5.3536708031
27	0.2700000000	0.1401150058	1.1930729911	4.5392775766	-13.2151308674	5.4156894756
28	0.2800000000	0.1522704641	1.2377918337	4.4031831922	-13.9997660432	5.4502241978
29	0.2900000000	0.1648661763	1.2811109045	4.2593641284	-14.7598408721	5.4567178310
30	0.3000000000	0.1778877626	1.3229542069	4.1080726924	-15.4940219247	5.4347920508
31	0.3100000000	0.1913200962	1.3632483337	3.9495743011	-16.2010211980	5.3842505849
32	0.3200000000	0.2051473294	1.4019225953	3.7841470143	-16.8795983749	5.3050812033
33	0.3300000000	0.2193529221	1.4389091438	3.6120810479	-17.5285630006	5.1974564479
34	0.3400000000	0.2339196700	1.4741430923	3.4336782638	-18.1467765705	5.0617330938
35	0.3500000000	0.2488297355	1.5075626284	3.2492516414	-18.7331545280	4.8984503449
36	0.3600000000	0.2640646787	1.5391091230	3.0591247274	-19.2866681668	4.7083267765
37	0.3700000000	0.2796054896	1.5687272328	2.8636310692	-19.8063464361	4.4922560429
38	0.3800000000	0.2954326218	1.5963649975	2.6631136290	-20.2912776435	4.2513013817
39	0.3900000000	0.3115260264	1.6219739311	2.4579241826	-20.7406110548	3.9866889488
40	0.4000000000	0.3278651875	1.6455091069	2.2484227019	-21.1535583867	3.6998000321
41	0.4100000000	0.3444291580	1.6669292361	2.0349767239	-21.5293951891	3.3921621957
42	0.4200000000	0.3611965964	1.6861967405	1.8179607051	-21.8674621166	3.0654394153
43	0.4300000000	0.3781458043	1.7032778185	1.5977553655	-22.1671660850	2.7214212734
44	0.4400000000	0.3952547644	1.7181425039	1.3747470201	-22.4279813116	2.3620112874
45	0.4500000000	0.4125011790	1.7307647191	1.1493269013	-22.6494502379	1.9892144515
46	0.4600000000	0.4298625096	1.7411223205	0.9218904726	-22.8311843321	1.6051240788
47	0.4700000000	0.4473160157	1.7491971373	0.6928367347	-22.9728647710	1.2119080328
48	0.4800000000	0.4648387954	1.7549750034	0.4625675257	-23.0742429988	0.8117944450
49	0.4900000000	0.4824078250	1.7584457826	0.2314868161	-23.1351411637	0.4070570155
50	0.5000000000	0.5000000000	1.7596033860	0.0000000000	-23.1554524296	0.0000000000
51	0.5100000000	0.5175921750	1.7584457826	-0.2314868161	-23.1351411637	-0.4070570155
52	0.5200000000	0.5351612046	1.7549750034	-0.4625675257	-23.0742429988	-0.8117944450
53	0.5300000000	0.5526839843	1.7491971373	-0.6928367347	-22.9728647710	-1.2119080328
54	0.5400000000	0.5701374904	1.7411223205	-0.9218904726	-22.8311843321	-1.6051240788
55	0.5500000000	0.5874988210	1.7307647191	-1.1493269013	-22.6494502379	-1.9892144515
56	0.5600000000	0.6047452356	1.7181425039	-1.3747470201	-22.4279813116	-2.3620112874
57	0.5700000000	0.6218541957	1.7032778185	-1.5977553655	-22.1671660850	-2.7214212734
58	0.5800000000	0.6388034036	1.6861967405	-1.8179607051	-21.8674621166	-3.0654394153
59	0.5900000000	0.6555708420	1.6669292361	-2.0349767239	-21.5293951891	-3.3921621957
60	0.6000000000	0.6721348125	1.6455091069	-2.2484227019	-21.1535583867	-3.6998000321
61	0.6100000000	0.6884739736	1.6219739311	-2.4579241826	-20.7406110548	-3.9866889488
62	0.6200000000	0.7045673782	1.5963649975	-2.6631136290	-20.2912776435	-4.2513013817
63	0.6300000000	0.7203945104	1.5687272328	-2.8636310692	-19.8063464361	-4.4922560429
64	0.6400000000	0.7359353213	1.5391091230	-3.0591247274	-19.2866681668	-4.7083267765
65	0.6500000000	0.7511702645	1.5075626284	-3.2492516414	-18.7331545280	-4.8984503449
66	0.6600000000	0.7660803300	1.4741430923	-3.4336782638	-18.1467765705	-5.0617330938
67	0.6700000000	0.7806470779	1.4389091438	-3.6120810479	-17.5285630006	-5.1974564479
68	0.6800000000	0.7948526706	1.4019225953	-3.7841470143	-16.8795983749	-5.3050812033
69	0.6900000000	0.8086799038	1.3632483337	-3.9495743011	-16.2010211980	-5.3842505849
70	0.7000000000	0.8221122374	1.3229542069	-4.1080726924	-15.4940219247	-5.4347920508
71	0.7100000000	0.8351338237	1.2811109045	-4.2593641284	-14.7598408721	-5.4567178310
72	0.7200000000	0.8477295359	1.2377918337	-4.4031831922	-13.9997660432	-5.4502241978
73	0.7300000000	0.8598849942	1.1930729911	-4.5392775766	-13.2151308674	-5.4156894756
74	0.7400000000	0.8715865911	1.1470328285	-4.6674085256	-12.4073118616	-5.3536708031
75	0.7500000000	0.8828215154	1.0997521162	-4.7873512541	-11.5777262148	-5.2648996728
76	0.7600000000	0.8935777745	1.0513138006	-4.8988953418	-10.7278293020	-5.1502762803
77	0.7700000000	0.9038442158	1.0018028588	-5.0018451023	-9.8591121313	-5.0108627229
78	0.7800000000	0.9136105456	0.9513061500	-5.0960199269	-8.9730987278	-4.8478750970
79	0.7900000000	0.9228673480	0.8999122625	-5.1812546009	-8.0713434600	-4.6626745506
80	0.8000000000	0.9316061007	0.8477113587	-5.2573995937	-7.1554283132	-4.4567573529
81	0.8100000000	0.9398191902	0.7947950167	-5.3243213212	-6.2269601136	-4.2317440532
82	0.8200000000	0.9474999255	0.7412560697	-5.3819023799	-5.2875677101	-3.9893678054
83	0.8300000000	0.9546425493	0.6871884432	-5.4300417530	-4.3388991161	-3.7314619387
84	0.8400000000	0.9612422482	0.6326869903	-5.4686549877	-3.3826186186	-3.4599468649
85	0.8500000000	0.9672951616	0.5778473249	-5.4976743433	-2.4204038587	-3.1768164125
86	0.8600000000	0.9727983880	0.5227656546	-5.5170489100	-1.4539428880	-2.8841236847
87	0.8700000000	0.9777499901	0.4675386112	-5.5267446982	-0.4849312074	-2.5839665406
88	0.8800000000	0.9821490188	0.4122792438	-5.5170489100	4.3618286640	-2.2745647526
89	0.8900000000	0.9859970480	0.3574716476	-5.4300417530	13.0166973482	-1.9410859719
90	0.9000000000	0.9893027872	0.3039640091	-5.2573995937	21.4662849395	-1.5980602579
91	0.9100000000	0.9920834780	0.2526001757	-5.0018451023	29.5773363940	-1.2634669517
92	0.9200000000	0.9943646421	0.2041901858	-4.6674085256	37.2219355849	-0.9530390141
93	0.9300000000	0.9961796792	0.1594974938	-4.2593641284	44.2795226163	-0.6793579038
94	0.9400000000	0.9975693401	0.1192269302	-3.7841470143	50.6387951247	-0.4511722320
95	0.9500000000	0.9985810841	0.0840135858	-3.2492516414	56.1994635839	-0.2729812817
96	0.9600000000	0.9992683302	0.0544127962	-2.6631136290	60.8738329304	-0.1449074590
97	0.9700000000	0.9996896153	0.0308913833	-2.0349767239	64.5881855674	-0.0628632460
98	0.9800000000	0.9999076703	0.0138202940	-1.3747470201	67.2839439348	-0.0189994080
99	0.9900000000	0.9999884314	0.0034687496	-0.6928367347	68.9185943129	-0.0024032771
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	69.4663572887	0.0000000000

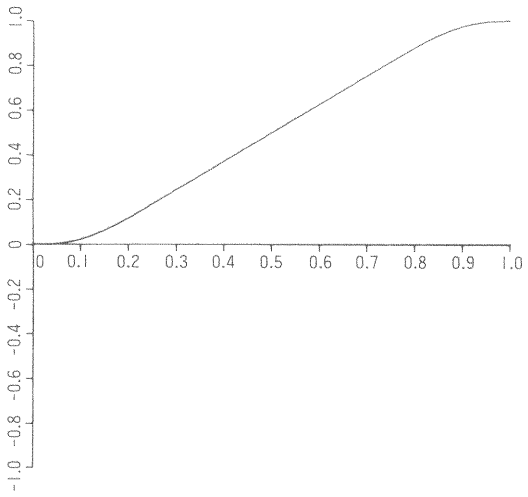
5. 変形等速度

Vm	=	1.27526
Amp	=	8.01268
Amm	=	−8.01268
$Jmp1$	=	201.38070
$Jmm1$	=	−67.12690
$Jmm2$	=	−67.12690
$Jmp2$	=	201.38070
Qmp	=	5.73330
Qmm	=	−5.73330

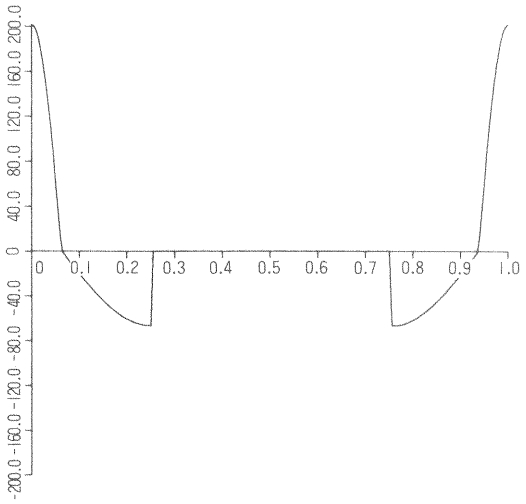
A



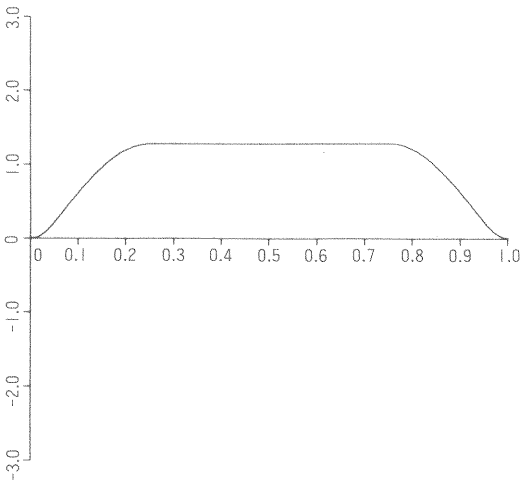
S



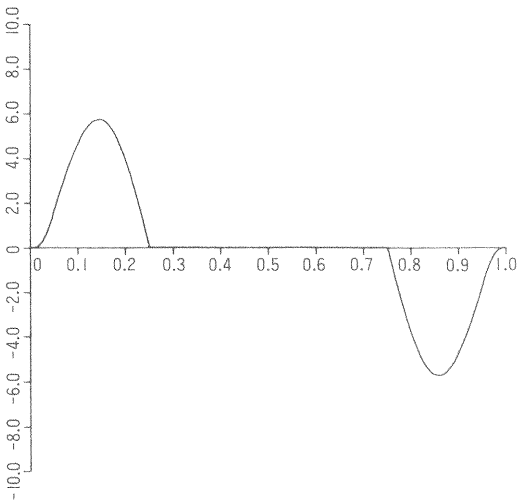
J



V



Q

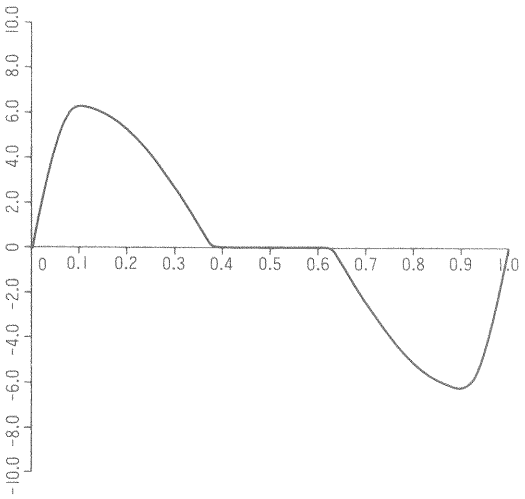


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	201.3806988129	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0000334576	0.0100161451	1.9926733343	195.0539538465	0.0199589053
2	0.0200000000	0.0002651359	0.0394352293	3.8601396745	176.4712516016	0.1522254932
3	0.0300000000	0.0008808004	0.0864087432	5.4850592424	146.8002116028	0.4739570758
4	0.0400000000	0.0020420898	0.1479851683	6.7653323654	107.9051744155	1.0011688489
5	0.0500000000	0.0038763588	0.2202954313	7.6205147747	62.2300582723	1.6787645891
6	0.0600000000	0.0064686764	0.2987960124	7.9968722144	12.6447987016	2.3894335295
7	0.0700000000	0.0098570730	0.3788701356	7.9968722144	-4.2149329005	3.0297760605
8	0.0800000000	0.0140446819	0.4585347253	7.9267260151	-9.8061007922	3.6346791358
9	0.0900000000	0.0190244999	0.5372192783	7.8009795281	-15.3284859325	4.1908365919
10	0.1000000000	0.0247839598	0.6143718790	7.6205147747	-20.7433527574	4.6818299808
11	0.1100000000	0.0313050255	0.6894513573	7.3865975855	-26.0127198669	5.0926997311
12	0.1200000000	0.0385643191	0.7619310847	7.1008687215	-31.0996264366	5.4103726071
13	0.1300000000	0.0465332843	0.8313026679	6.7653323654	-35.9683914718	5.6240388445
14	0.1400000000	0.0551783872	0.8970795151	6.3823420636	-40.5848640842	5.7254683239
15	0.1500000000	0.0644613511	0.9588002491	5.9545842179	-44.9166630352	5.7092568314
16	0.1600000000	0.0743394252	1.0160319432	5.4850592424	-48.9334038676	5.5729954003
17	0.1700000000	0.0847656845	1.0683731581	4.9770605172	-52.6069120305	5.3173578628
18	0.1800000000	0.0956893589	1.1154567579	4.4341512885	-55.9114205034	4.9461040205
19	0.1900000000	0.1070561891	1.1569524850	3.8601396745	-58.8237505339	4.4659981889
20	0.2000000000	0.1188088075	1.1925692766	3.2590519542	-61.3234742191	3.8866452314
21	0.2100000000	0.1308871406	1.2220573066	2.6351043260	-63.3930577936	3.2202484951
22	0.2200000000	0.1432288300	1.2452097375	1.9926733343	-65.0179846155	2.4812962396
23	0.2300000000	0.1557696703	1.2618641718	1.3362651709	-66.1868569907	1.6861851432
24	0.2400000000	0.1684440589	1.2719037905	0.6704840675	-66.8914761192	0.8527912269
25	0.2500000000	0.1811854568	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
26	0.2600000000	0.1939380385	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
27	0.2700000000	0.2066906202	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
28	0.2800000000	0.2194432020	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
29	0.2900000000	0.2321957837	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
30	0.3000000000	0.2449483654	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
31	0.3100000000	0.2577009471	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
32	0.3200000000	0.2704535289	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
33	0.3300000000	0.2832061106	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
34	0.3400000000	0.2959586923	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
35	0.3500000000	0.3087112741	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
36	0.3600000000	0.3214638558	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
37	0.3700000000	0.3342164375	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
38	0.3800000000	0.3469690193	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
39	0.3900000000	0.3597216010	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
40	0.4000000000	0.3724741827	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
41	0.4100000000	0.3852267644	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
42	0.4200000000	0.3979793462	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
43	0.4300000000	0.4107319279	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
44	0.4400000000	0.4234845096	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
45	0.4500000000	0.4362370914	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
46	0.4600000000	0.4489896731	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
47	0.4700000000	0.4617422548	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
48	0.4800000000	0.4744948365	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
49	0.4900000000	0.4872474183	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
50	0.5000000000	0.5000000000	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
51	0.5100000000	0.5127525817	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
52	0.5200000000	0.5255051635	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
53	0.5300000000	0.5382577452	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
54	0.5400000000	0.5510103269	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
55	0.5500000000	0.5637629086	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
56	0.5600000000	0.5765154904	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
57	0.5700000000	0.5892680721	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
58	0.5800000000	0.6020206538	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
59	0.5900000000	0.6147732356	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
60	0.6000000000	0.6275258173	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
61	0.6100000000	0.6402783990	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
62	0.6200000000	0.6530309807	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
63	0.6300000000	0.6657835625	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
64	0.6400000000	0.6785361442	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
65	0.6500000000	0.6912887259	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
66	0.6600000000	0.7040413077	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
67	0.6700000000	0.7167938894	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
68	0.6800000000	0.7295464711	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
69	0.6900000000	0.7422990529	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
70	0.7000000000	0.7550516346	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
71	0.7100000000	0.7678042163	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
72	0.7200000000	0.7805567980	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
73	0.7300000000	0.7933093798	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
74	0.7400000000	0.8060619615	1.2752581729	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
75	0.7500000000	0.8188145432	1.2752581729	0.0000000000	-67.1268996043	0.0000000000
76	0.7600000000	0.8315559411	1.2719037905	-0.6704840675	-66.8914761192	-0.8527912269
77	0.7700000000	0.8442303297	1.2618641718	-1.3362651709	-66.1868569907	-1.6861851432
78	0.7800000000	0.8567711700	1.2452097375	-1.9926733343	-65.0179846155	-2.4812962396
79	0.7900000000	0.8691128594	1.2220573066	-2.6351043260	-63.3930577936	-3.2202484951
80	0.8000000000	0.8811911925	1.1925692766	-3.2590519542	-61.3234742191	-3.8866452314
81	0.8100000000	0.8929438109	1.1569524850	-3.8601396745	-58.8237505339	-4.4659981889
82	0.8200000000	0.9043106411	1.1154567579	-4.4341512885	-55.9114205034	-4.9461040205
83	0.8300000000	0.9152343155	1.0683731581	-4.9770605172	-52.6069120305	-5.3173578628
84	0.8400000000	0.9256605748	1.0160319432	-5.4850592424	-48.9334038676	-5.5729954003
85	0.8500000000	0.9355386489	0.9588002491	-5.9545842179	-44.9166630352	-5.7092568314
86	0.8600000000	0.9448216128	0.8970795151	-6.3823420636	-40.5848640842	-5.7254683239
87	0.8700000000	0.9534667157	0.8313026679	-6.7653323654	-35.9683914718	-5.6240388445
88	0.8800000000	0.9614356809	0.7619310847	-7.1008687215	-31.0996264366	-5.4103726071
89	0.8900000000	0.9686949745	0.6894513573	-7.3865975855	-26.0127198669	-5.0926997311
90	0.9000000000	0.9752160402	0.6143718790	-7.6205147747	-20.7433527574	-4.6818299808
91	0.9100000000	0.9809755001	0.5372192783	-7.8009795281	-15.3284859325	-4.1908365919
92	0.9200000000	0.9859553181	0.4585347253	-7.9267260151	-9.8061007922	-3.6346791358
93	0.9300000000	0.9901429270	0.3788701356	-7.9968722144	-4.2149329005	-3.0297760605
94	0.9400000000	0.9935313236	0.2987960124	-7.9968722144	12.6447987016	-2.3894335295
95	0.9500000000	0.9961236412	0.2202954313	-7.6205147747	62.2300582723	-1.6787645891
96	0.9600000000	0.9979579102	0.1479851683	-6.7653323654	107.9051744155	-1.0011688489
97	0.9700000000	0.9991191996	0.0864087432	-5.4850592424	146.8002116028	-0.4739570758
98	0.9800000000	0.9997348641	0.0394352293	-3.8601396745	176.4712516016	-0.1522254932
99	0.9900000000	0.9999665424	0.0100161451	-1.9926733343	195.0539538465	-0.0199589053
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	201.3806988129	0.0000000000

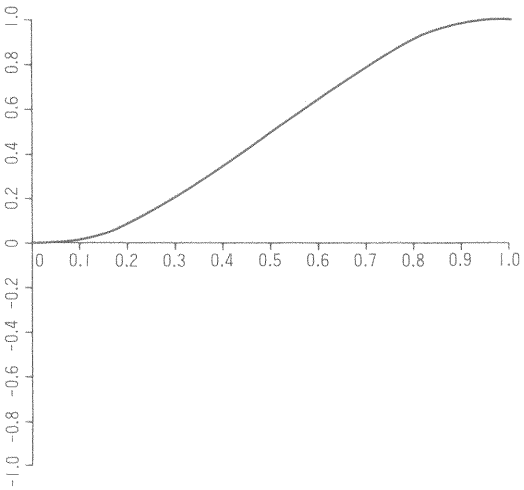
6. 変形等速度25

Vm	=	1.47878
Amp	=	6.19431
Amm	=	−6.19431
$Jmp1$	=	103.78659
$Jmm1$	=	−34.59553
$Jmm2$	=	−34.59553
$Jmp2$	=	103.78659
Qmp	=	5.13475
Qmm	=	−5.13475

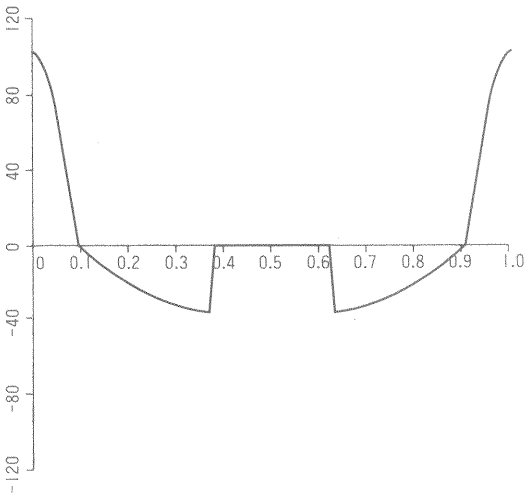
A



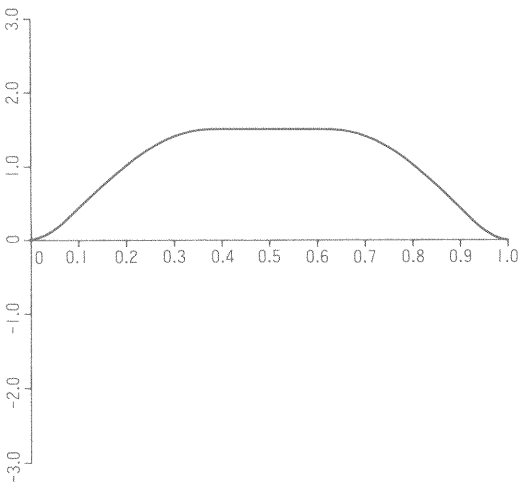
S



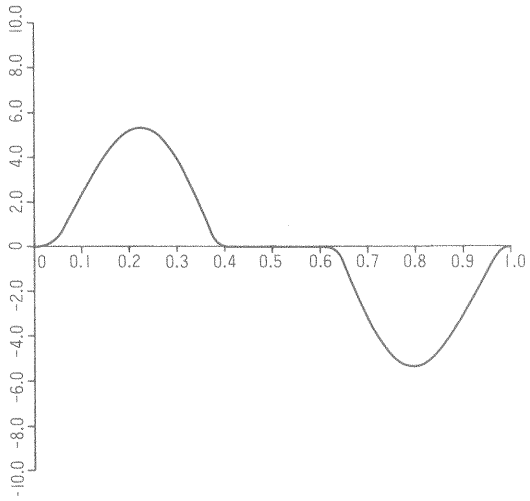
J



V



Q

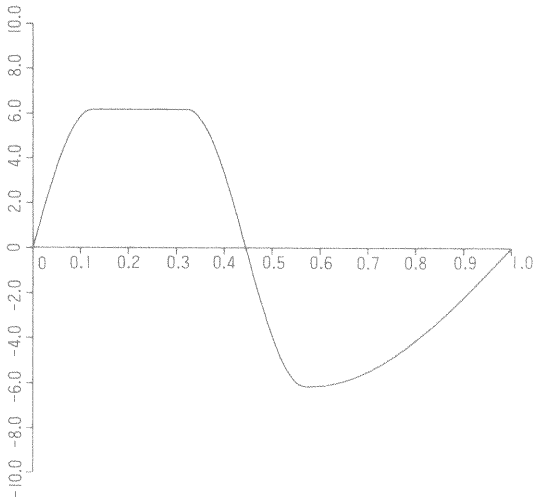


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	103.7865857945	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0000172735	0.0051772004	1.0330165748	102.3331622945	0.0053481338
2	0.0200000000	0.0001376072	0.0205637990	2.0371004979	98.0135991720	0.0418905251
3	0.0300000000	0.0004611749	0.0457288490	2.9841294613	90.9488784307	0.1364608056
4	0.0400000000	0.0010824580	0.0799675297	3.8475791480	81.3368682454	0.3076813996
5	0.0500000000	0.0020875997	0.1223208865	4.6032661232	69.4467810846	0.5630755928
6	0.0600000000	0.0035519921	0.1716026898	5.2300251621	55.6116336281	0.8974863853
7	0.0700000000	0.0055381647	0.2264326585	5.7103020440	40.2189196600	1.2929988725
8	0.0800000000	0.0080940328	0.2852751189	6.0306452096	23.6997571720	1.7203930291
9	0.0900000000	0.0112515559	0.3464820157	6.1820825114	6.5168136422	2.1419804099
10	0.1000000000	0.0150259406	0.4084019289	6.1905321549	-1.2073665362	2.5282252730
11	0.1100000000	0.0194192048	0.4702147195	6.1688122659	-3.1354820202	2.9006663291
12	0.1200000000	0.0244291900	0.5317140433	6.1278551109	-5.0538195923	3.2582666180
13	0.1300000000	0.0300518014	0.5927081166	6.0677884135	-6.9563969715	3.5964274425
14	0.1400000000	0.0362810339	0.6530067310	5.9887994901	-8.8372810240	3.9107263774
15	0.1500000000	0.0431089907	0.7124218469	5.8911346653	-10.6906062662	4.1969730387
16	0.1600000000	0.0505259078	0.7707681801	5.7750985041	-12.5105931561	4.4512621640
17	0.1700000000	0.0585201847	0.8278637792	5.6410528621	-14.2915661160	4.6700233408
18	0.1800000000	0.0670784203	0.8835305930	5.4894157567	-16.0279712324	4.8500667590
19	0.1900000000	0.0761854548	0.9375950264	5.3206600640	-17.7143935751	4.9886244132
20	0.2000000000	0.0858244170	0.9898884808	5.1353120438	-19.3455740839	5.0833862376
21	0.2100000000	0.0959767769	1.0402478806	4.9339496987	-20.9164259687	5.1325307172
22	0.2200000000	0.1066224035	1.0885161815	4.7172009713	-22.4220505723	5.1347495888
23	0.2300000000	0.1177396276	1.1345428601	4.4857417866	-23.8577526472	5.0892663162
24	0.2400000000	0.1293053094	1.1781843835	4.2402939433	-25.2190549971	4.9958481056
25	0.2500000000	0.1412949103	1.2193046569	3.9816228636	-26.5017124394	4.8548112997
26	0.2600000000	0.1536825700	1.2577754479	3.7105352059	-27.7017250431	4.6670200806
27	0.2700000000	0.1664411868	1.2934767864	3.4278763495	-28.8153506030	4.4338784846
28	0.2800000000	0.1795425021	1.3262973387	3.1345277579	-29.8391163094	4.1573158235
29	0.2900000000	0.1929571887	1.3561347550	2.8314042303	-30.7698295779	3.8397656823
30	0.3000000000	0.2066549422	1.3828959881	2.5194510490	-31.6045880056	3.4841387479
31	0.3100000000	0.2206045753	1.4064975838	2.1996410311	-32.3407884221	3.0937897955
32	0.3200000000	0.2347741153	1.4268659413	1.8729714950	-32.9761350071	2.6724792352
33	0.3300000000	0.2491309038	1.4439375423	1.5404611504	-33.5086464505	2.2243296876
34	0.3400000000	0.2636416983	1.4576591497	1.2031469214	-33.9366621304	1.7537781184
35	0.3500000000	0.2782727763	1.4679879729	0.8620807129	-34.2588472920	1.2655241181
36	0.3600000000	0.2929900399	1.4748918018	0.5183261301	-34.4741972100	0.7644749599
37	0.3700000000	0.3077591227	1.4783491070	0.1729551619	-34.5820403219	0.2556881092
38	0.3800000000	0.3225462172	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
39	0.3900000000	0.3373340325	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
40	0.4000000000	0.3521218477	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
41	0.4100000000	0.3669096629	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
42	0.4200000000	0.3816974782	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
43	0.4300000000	0.3964852934	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
44	0.4400000000	0.4112731086	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
45	0.4500000000	0.4260609239	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
46	0.4600000000	0.4408487391	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
47	0.4700000000	0.4556365543	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
48	0.4800000000	0.4704243695	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
49	0.4900000000	0.4852121848	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
50	0.5000000000	0.5000000000	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
51	0.5100000000	0.5147878152	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
52	0.5200000000	0.5295756305	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
53	0.5300000000	0.5443634457	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
54	0.5400000000	0.5591512609	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
55	0.5500000000	0.5739390761	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
56	0.5600000000	0.5887268914	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
57	0.5700000000	0.6035147066	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
58	0.5800000000	0.6183025218	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
59	0.5900000000	0.6330903371	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
60	0.6000000000	0.6478781523	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
61	0.6100000000	0.6626659675	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
62	0.6200000000	0.6774537828	1.4787815230	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000
63	0.6300000000	0.6922408773	1.4783491070	-0.1729551619	-34.5820403219	-0.2556881092
64	0.6400000000	0.7070099601	1.4748918018	-0.5183261301	-34.4741972100	-0.7644749599
65	0.6500000000	0.7217272237	1.4679879729	-0.8620807129	-34.2588472920	-1.2655241181
66	0.6600000000	0.7363583017	1.4576591497	-1.2031469214	-33.9366621304	-1.7537781184
67	0.6700000000	0.7508690962	1.4439375423	-1.5404611504	-33.5086464505	-2.2243296876
68	0.6800000000	0.7652258847	1.4268659413	-1.8729714950	-32.9761350071	-2.6724792352
69	0.6900000000	0.7793954247	1.4064975838	-2.1996410311	-32.3407884221	-3.0937897955
70	0.7000000000	0.7933450578	1.3828959881	-2.5194510490	-31.6045880056	-3.4841387479
71	0.7100000000	0.8070428113	1.3561347550	-2.8314042303	-30.7698295779	-3.8397656823
72	0.7200000000	0.8204574979	1.3262973387	-3.1345277579	-29.8391163094	-4.1573158235
73	0.7300000000	0.8335588132	1.2934767864	-3.4278763495	-28.8153506030	-4.4338784846
74	0.7400000000	0.8463174300	1.2577754479	-3.7105352059	-27.7017250431	-4.6670200806
75	0.7500000000	0.8587050897	1.2193046569	-3.9816228636	-26.5017124394	-4.8548112997
76	0.7600000000	0.8706946906	1.1781843835	-4.2402939433	-25.2190549971	-4.9958481056
77	0.7700000000	0.8822603724	1.1345428601	-4.4857417866	-23.8577526472	-5.0892663162
78	0.7800000000	0.8933775965	1.0885161815	-4.7172009713	-22.4220505723	-5.1347495888
79	0.7900000000	0.9040232231	1.0402478806	-4.9339496987	-20.9164259687	-5.1325307172
80	0.8000000000	0.9141755830	0.9898884808	-5.1353120438	-19.3455740839	-5.0833862376
81	0.8100000000	0.9238145452	0.9375950264	-5.3206600640	-17.7143935751	-4.9886244132
82	0.8200000000	0.9329215797	0.8835305930	-5.4894157567	-16.0279712324	-4.8500667590
83	0.8300000000	0.9414798153	0.8278637792	-5.6410528621	-14.2915661160	-4.6700233408
84	0.8400000000	0.9494740922	0.7707681801	-5.7750985041	-12.5105931561	-4.4512621640
85	0.8500000000	0.9568910093	0.7124218469	-5.8911346653	-10.6906062662	-4.1969730387
86	0.8600000000	0.9637189661	0.6530067310	-5.9887994901	-8.8372810240	-3.9107263774
87	0.8700000000	0.9699481986	0.5927081166	-6.0677884135	-6.9563969715	-3.5964274425
88	0.8800000000	0.9755708100	0.5317140433	-6.1278551109	-5.0538195923	-3.2582666180
89	0.8900000000	0.9805807952	0.4702147195	-6.1688122659	-3.1354820202	-2.9006663291
90	0.9000000000	0.9849740594	0.4084019289	-6.1905321549	-1.2073665362	-2.5282252730
91	0.9100000000	0.9887484441	0.3464820157	-6.1820825114	6.5168136422	-2.1419804099
92	0.9200000000	0.9919059672	0.2852751189	-6.0306452096	23.6997571720	-1.7203930291
93	0.9300000000	0.9944618353	0.2264326585	-5.7103020440	40.2189196600	-1.2929988725
94	0.9400000000	0.9964480079	0.1716026898	-5.2300251621	55.6116336281	-0.8974863853
95	0.9500000000	0.9979124003	0.1223208865	-4.6032661232	69.4467810846	-0.5630755928
96	0.9600000000	0.9989175420	0.0799675297	-3.8475791480	81.3368682454	-0.3076813996
97	0.9700000000	0.9995388251	0.0457288490	-2.9841294613	90.9488784307	-0.1364608056
98	0.9800000000	0.9998623928	0.0205637990	-2.0371004979	98.0135991720	-0.0418905251
99	0.9900000000	0.9999827265	0.0051772004	-1.0330165748	102.3331622945	-0.0053481338
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	103.7865857945	0.0000000000

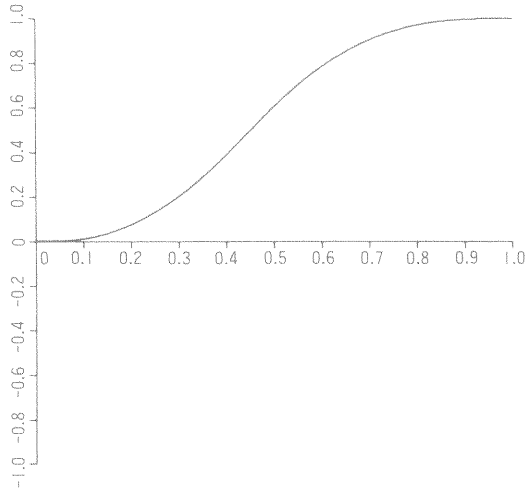
7. トラペクロイド

Vm	=	2.18216
Amp	=	6.17044
Amm	=	−6.17044
$Jmp1$	=	77.54006
$Jmm1$	=	−77.54006
$Jmm2$	=	−77.54006
$Jmp2$	=	22.51413
Qmp	=	10.83713
Qmm	=	−10.83714

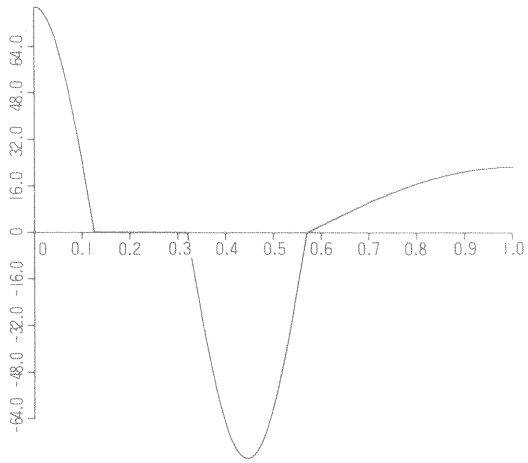
A



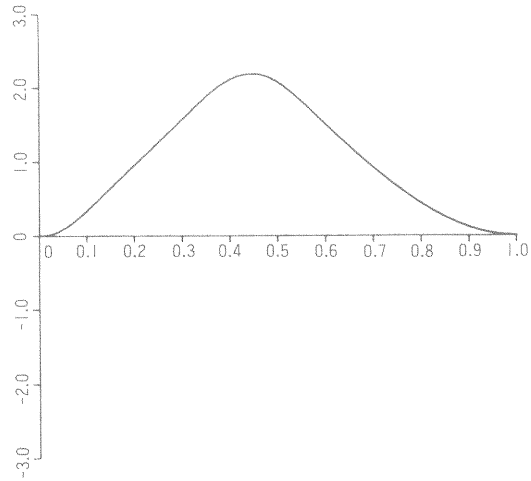
S



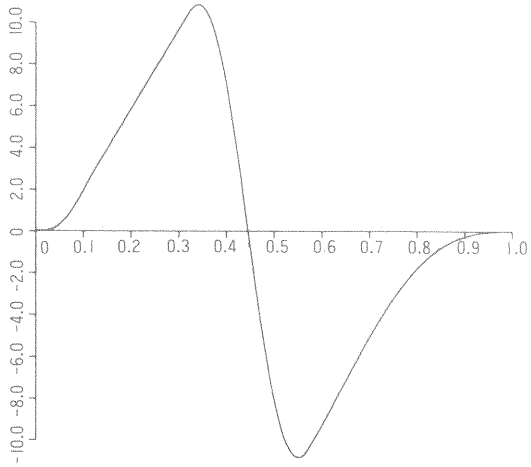
J



V



Q

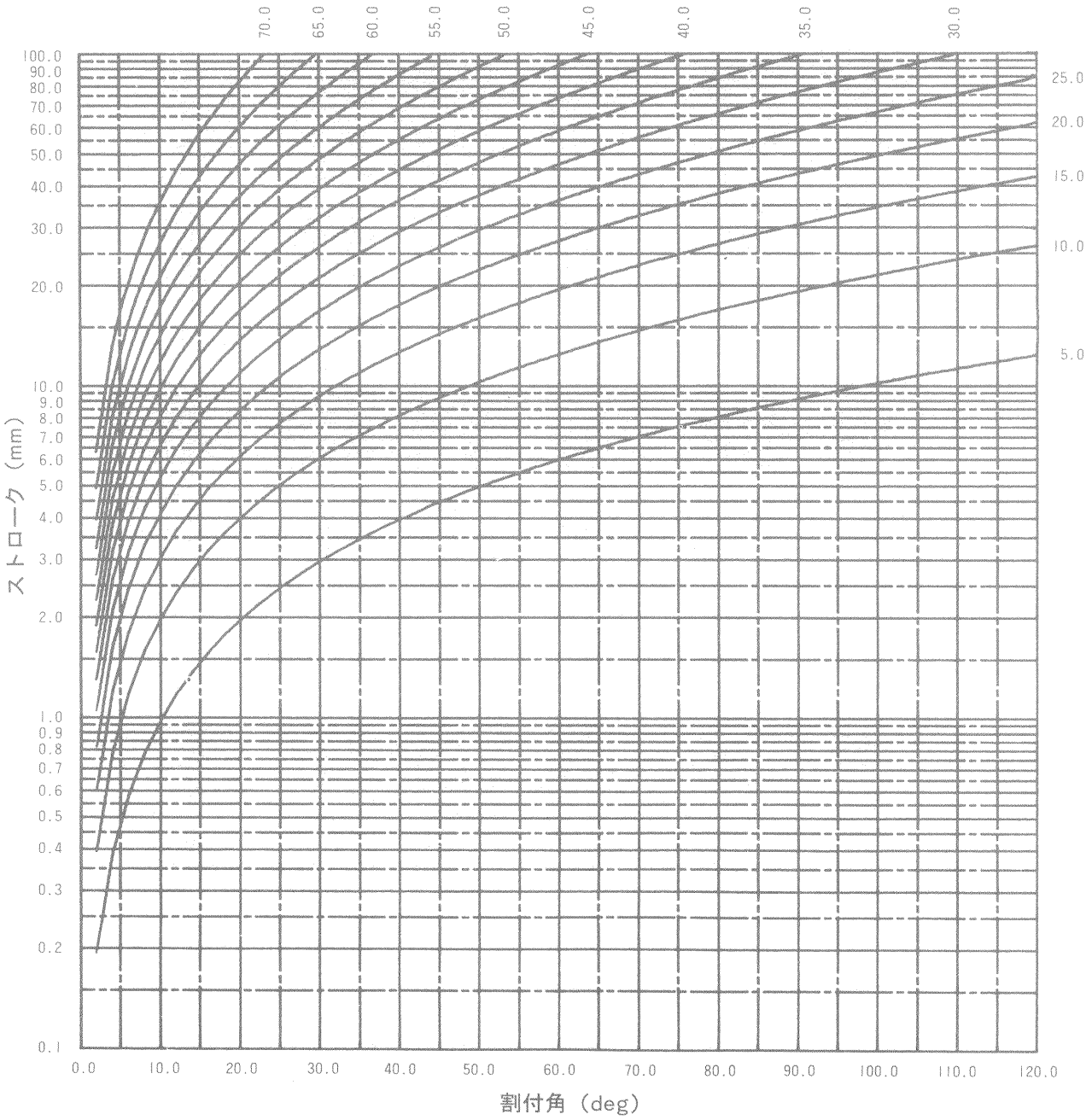


No.	T	S	V	A	J	Q
0	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	77.5400649913	0.0000000000
1	0.0100000000	0.0000129131	0.0038719040	0.7733614879	76.9286384188	0.0029943814
2	0.0200000000	0.0001030607	0.0154265538	1.5345266032	75.1040012634	0.0236724572
3	0.0300000000	0.0003464591	0.0344817256	2.2714913173	72.0949291432	0.0783249403
4	0.0400000000	0.0008167079	0.0607369080	2.9726332563	67.9488769229	0.1805485525
5	0.0500000000	0.0015838290	0.0937780411	3.6268949932	62.7312303229	0.3401231076
6	0.0600000000	0.0027131626	0.1330840464	4.2239584294	56.5242747469	0.5621414797
7	0.0700000000	0.0042643365	0.1780350449	4.7544075179	49.4258975921	0.8464511558
8	0.0800000000	0.0062903258	0.2279221323	5.2098767597	41.5480445068	1.1874462202
9	0.0900000000	0.0088366176	0.2819585596	5.5831831328	33.0149539399	1.5742262741
10	0.1000000000	0.0119404933	0.3392921400	5.8684393726	23.9611978273	1.9911153529
11	0.1100000000	0.0156304411	0.3990186886	6.0611468179	14.5295593111	2.4185108546
12	0.1200000000	0.0199257065	0.4601962821	6.1582663571	4.8687809651	2.8340112820
13	0.1300000000	0.0248360138	0.5218804094	6.1704423155	0.0000000000	3.2202329616
14	0.1400000000	0.0303633400	0.5835848325	6.1704423155	0.0000000000	3.6009765453
15	0.1500000000	0.0365077105	0.6452892557	6.1704423155	0.0000000000	3.9817201290
16	0.1600000000	0.0432691251	0.7069936788	6.1704423155	0.0000000000	4.3624637127
17	0.1700000000	0.0506475840	0.7686981020	6.1704423155	0.0000000000	4.7432072964
18	0.1800000000	0.0586430872	0.8304025251	6.1704423155	0.0000000000	5.1239508801
19	0.1900000000	0.0672556345	0.8921069483	6.1704423155	0.0000000000	5.5046944637
20	0.2000000000	0.0764852261	0.9538113715	6.1704423155	0.0000000000	5.8854380474
21	0.2100000000	0.0863318620	1.0155157946	6.1704423155	0.0000000000	6.2661816311
22	0.2200000000	0.0967955420	1.0772202178	6.1704423155	0.0000000000	6.6469252148
23	0.2300000000	0.1078762663	1.1389246409	6.1704423155	0.0000000000	7.0276687985
24	0.2400000000	0.1195740348	1.2006290641	6.1704423155	0.0000000000	7.4084123822
25	0.2500000000	0.1318888476	1.2623334872	6.1704423155	0.0000000000	7.7891559659
26	0.2600000000	0.1448207046	1.3240379104	6.1704423155	0.0000000000	8.1698995496
27	0.2700000000	0.1583696058	1.3857423335	6.1704423155	0.0000000000	8.5506431333
28	0.2800000000	0.1725355513	1.4474467567	6.1704423155	0.0000000000	8.9313867170
29	0.2900000000	0.1873185409	1.5091511798	6.1704423155	0.0000000000	9.3121303007
30	0.3000000000	0.2027185749	1.5708556030	6.1704423155	0.0000000000	9.6928738843
31	0.3100000000	0.2187356530	1.6325600262	6.1704423155	0.0000000000	10.0736174680
32	0.3200000000	0.2353697754	1.6942644281	6.1703167186	-0.4947323740	10.4541481261
33	0.3300000000	0.2526204473	1.7557806231	6.1167276151	-10.2089805244	10.7396318234
34	0.3400000000	0.2704819875	1.8162772628	5.9666740631	-19.7622269535	10.8371344357
35	0.3500000000	0.2889394104	1.8748002791	5.7225224969	-29.0038112581	10.7285867745
36	0.3600000000	0.3079683328	1.9304267290	5.3881233324	-37.7879881331	10.4013773002
37	0.3700000000	0.3275353589	1.9822793502	4.9687502443	-45.9762258618	9.8494510055
38	0.3800000000	0.3475986065	2.0295403958	4.4710169966	-53.4393910438	9.0741096050
39	0.3900000000	0.3681083677	2.0714645310	3.9027731400	-60.0597851059	8.0844561320
40	0.4000000000	0.3890078930	2.1073905870	3.2729802196	-65.7330004789	6.8974477063
41	0.4100000000	0.4102342858	2.1367519886	2.5915704460	-70.3695671674	5.5375433040
42	0.4200000000	0.4317194948	2.1590856888	1.8692900583	-73.8963637449	4.0359574131
43	0.4300000000	0.4533913869	2.1740394719	1.1175298497	-76.2577705225	2.4295540043
44	0.4400000000	0.4751748850	2.1813775078	0.3481455278	-77.4165467049	0.7594368238
45	0.4500000000	0.4969931519	2.1809840713	-0.4267292570	-77.3544176993	-0.9306897123
46	0.4600000000	0.5187688020	2.1728653671	-1.1948742666	-76.0723633173	-2.5963009118
47	0.4700000000	0.5404251218	2.1571494320	-1.9441753951	-73.5906023224	-4.1938768493
48	0.4800000000	0.5618872798	2.1340841157	-2.6628157163	-69.9482735680	-5.6826727232
49	0.4900000000	0.5830835064	2.1040331720	-3.3394618430	-65.2028187543	-7.0263384943
50	0.5000000000	0.6039462261	2.0674705223	-3.9634426615	-59.4290765386	-8.1943008695
51	0.5100000000	0.6244131228	2.0249727814	-4.5249176216	-52.7181022846	-9.1628350217
52	0.5200000000	0.6444281229	1.9772101640	-5.0150319277	-45.1757320654	-9.9157721003
53	0.5300000000	0.6639422794	1.9249359152	-5.4260561845	-36.9209135648	-10.4448104273
54	0.5400000000	0.6829145439	1.8689744310	-5.7515082939	-28.0838302018	-10.7494219412
55	0.5500000000	0.7013124141	1.8102082576	-5.9862556817	-18.8038480601	-10.8363694672
56	0.5600000000	0.7191124461	1.7495641726	-6.1265962414	-9.2273180016	-10.7188732838
57	0.5700000000	0.7363006242	1.6879985499	-6.1704317269	0.0417091305	-10.4156798072
58	0.5800000000	0.7528721293	1.6263100081	-6.1659078179	0.8629722870	-10.0276775936
59	0.5900000000	0.7688271120	1.5647077541	-6.1531761105	1.6830866908	-9.6279223723
60	0.6000000000	0.7841668454	1.5032737900	-6.1322535526	2.5009606402	-9.2184560392
61	0.6100000000	0.7988934214	1.4420898942	-6.1031679955	3.3155054153	-8.8013168890
62	0.6200000000	0.8130097484	1.3812375122	-6.0659581565	4.1256367285	-8.3785289533
63	0.6300000000	0.8265195468	1.3207976481	-6.0206735680	4.9302761667	-7.9520914886
64	0.6400000000	0.8394273446	1.2608507569	-5.9673745107	5.7283526276	-7.5239686688
65	0.6500000000	0.8517384712	1.2014766375	-5.9061319343	6.5188037453	-7.0960795369
66	0.6600000000	0.8634590502	1.1427543261	-5.8370273623	7.3005773043	-6.6702882696
67	0.6700000000	0.8745959911	1.0847619914	-5.7601527838	8.0726326403	-6.2483948045
68	0.6800000000	0.8851569807	1.0275768304	-5.6756105309	8.8339420257	-5.8321258802
69	0.6900000000	0.8951504722	0.9712749657	-5.5835131429	9.5834920372	-5.4231265362
70	0.7000000000	0.9045856743	0.9159313438	-5.4839832159	10.3202849052	-5.0229521163
71	0.7100000000	0.9134725389	0.8616196359	-5.3771532399	11.0433398418	-4.6330608170
72	0.7200000000	0.9218217479	0.8084121395	-5.2631654227	11.7516943467	-4.2548068201
73	0.7300000000	0.9296446987	0.7563796822	-5.1421714999	12.4444054880	-3.8894340449
74	0.7400000000	0.9369534894	0.7055915274	-5.0143325336	13.1205511575	-3.5380705511
75	0.7500000000	0.9437609025	0.6561152821	-4.8798186977	13.7792312985	-3.2017236214
76	0.7600000000	0.9500803878	0.6080168071	-4.7388090515	14.4195691035	-2.8812755488
77	0.7700000000	0.9559260448	0.5613601290	-4.5914913009	15.0407121817	-2.5774801490
78	0.7800000000	0.9613126036	0.5162073553	-4.4380615493	15.6418336933	-2.2909600150
79	0.7900000000	0.9662554055	0.4726185914	-4.2787240360	16.2221334506	-2.0222045270
80	0.8000000000	0.9707703825	0.4306518609	-4.1136908643	16.7808389829	-1.7715686261
81	0.8100000000	0.9748740360	0.3903630282	-3.9431817195	17.3172065646	-1.5392723567
82	0.8200000000	0.9785834151	0.3518057240	-3.7674235762	17.8305222058	-1.3254011788
83	0.8300000000	0.9819160936	0.3150312742	-3.5866503963	18.3201026021	-1.1299070445
84	0.8400000000	0.9848901468	0.2800886314	-3.4011028176	18.7852960446	-0.9526102336
85	0.8500000000	0.9875241275	0.2470243099	-3.2110278331	19.2254832873	-0.7932019345
86	0.8600000000	0.9898370411	0.2158823234	-3.0166784628	19.6400783714	-0.6512475554
87	0.8700000000	0.9918483203	0.1867041268	-2.8183134164	20.0285294051	-0.5261907455
88	0.8800000000	0.9935777994	0.1595285610	-2.6161967491	20.3903192988	-0.4173581027
89	0.8900000000	0.9950456878	0.1343918009	-2.4105975103	20.7249664529	-0.3239645407
90	0.9000000000	0.9962725432	0.1113273075	-2.2017893849	21.0320253990	-0.2451192840
91	0.9100000000	0.9972792442	0.0903657834	-1.9900503296	21.3110873933	-0.1798324571
92	0.9200000000	0.9980869621	0.0715351316	-1.7756622026	21.5617809600	-0.1270222293
93	0.9300000000	0.9987171336	0.0548604187	-1.5589103884	21.7837723863	-0.0855224766
94	0.9400000000	0.9991914313	0.0403638413	-1.3400834180	21.9767661667	-0.0540909144
95	0.9500000000	0.9995317355	0.0280646968	-1.1194725846	22.1405053957	-0.0314176586
96	0.9600000000	0.9997601049	0.0179793572	-0.8973715562	22.2747721106	-0.0161341637
97	0.9700000000	0.9998987471	0.0101212476	-0.6740759843	22.3793875813	-0.0068224900
98	0.9800000000	0.9999699891	0.0045008286	-0.4498831106	22.4542125478	-0.0020248468
99	0.9900000000	0.9999962479	0.0011255817	-0.2250913714	22.4991474065	-0.0002533587
100	1.0000000000	1.0000000000	0.0000000000	0.0000000000	22.5141323418	0.0000000000

付表－①

板カム最大圧力角（deg）

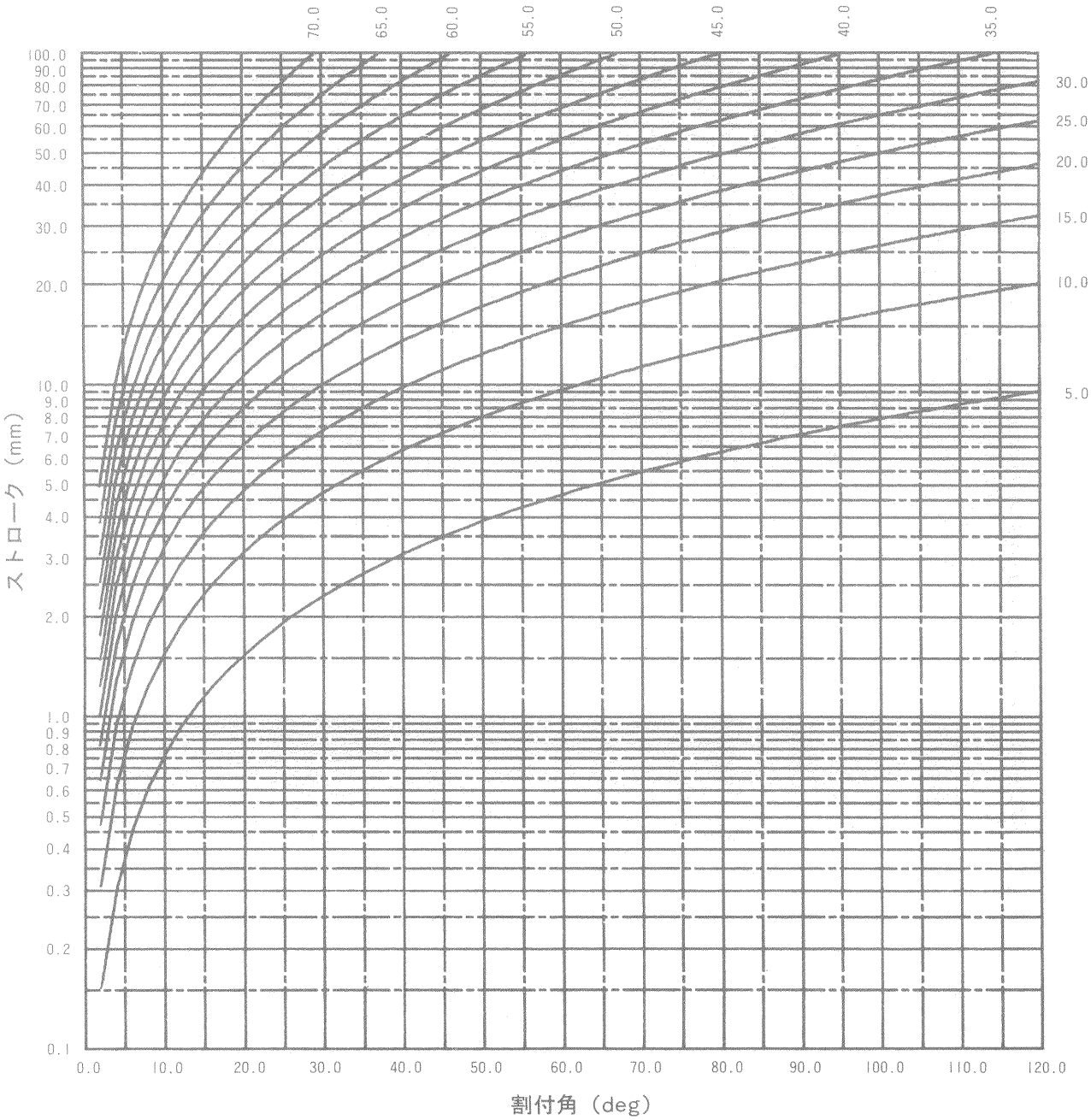
単　弦



カム曲線

付表ー②

板カム最大圧力角（deg）
サイクロイド

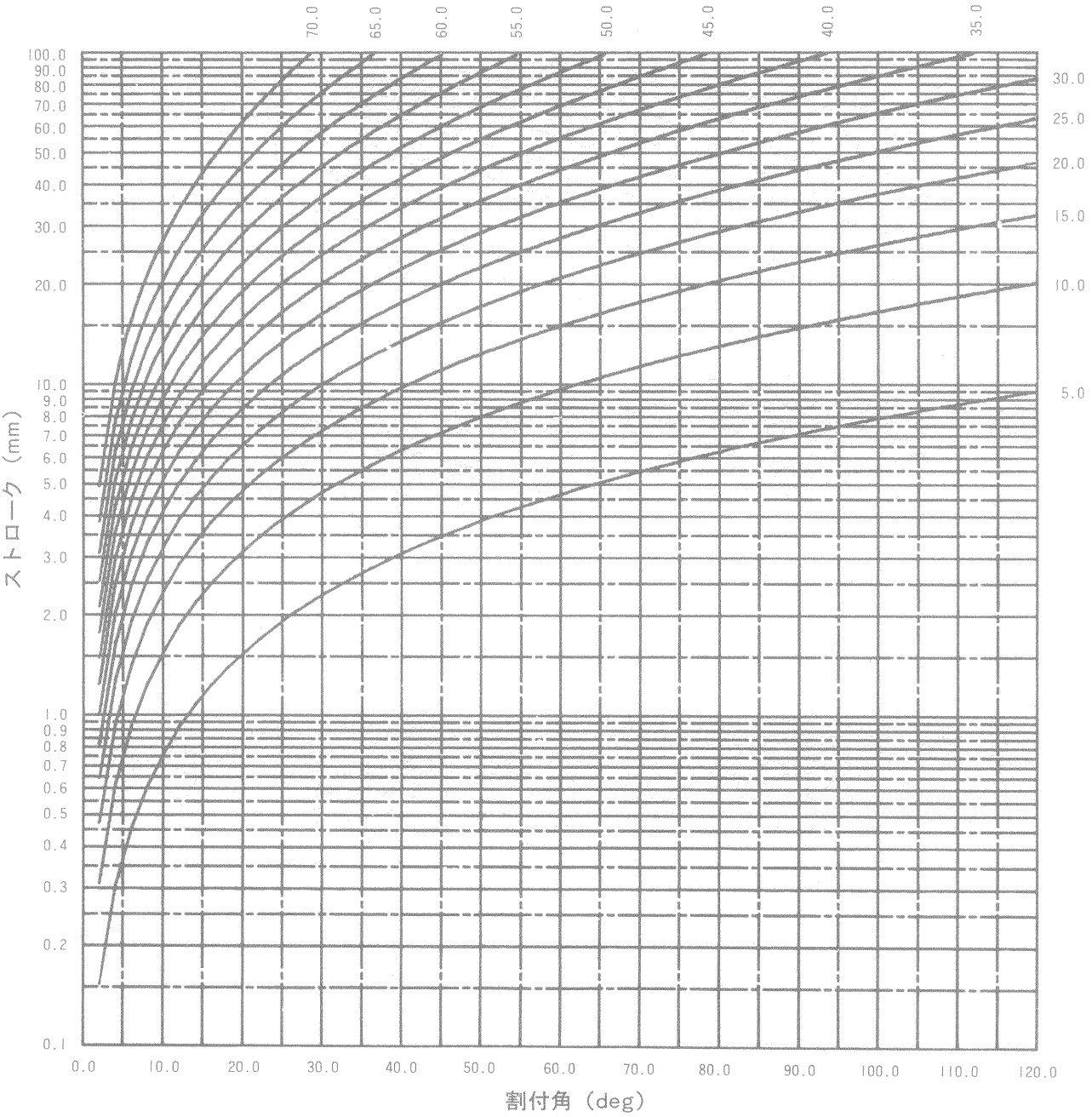


カム曲線

付表－③

板カム最大圧力角（deg）

変形台形

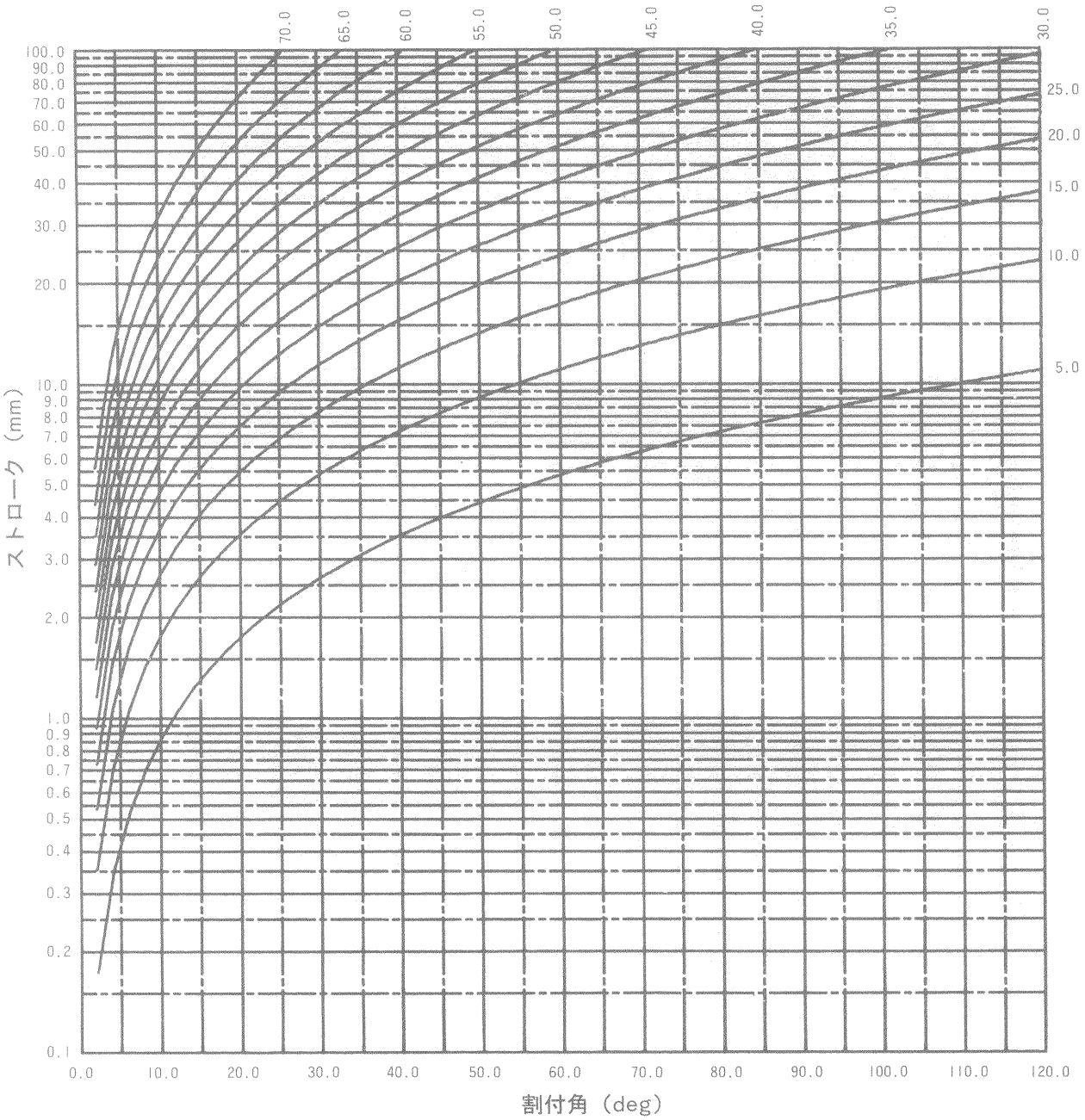


カム曲線

付表－④

板カム最大圧力角（deg）

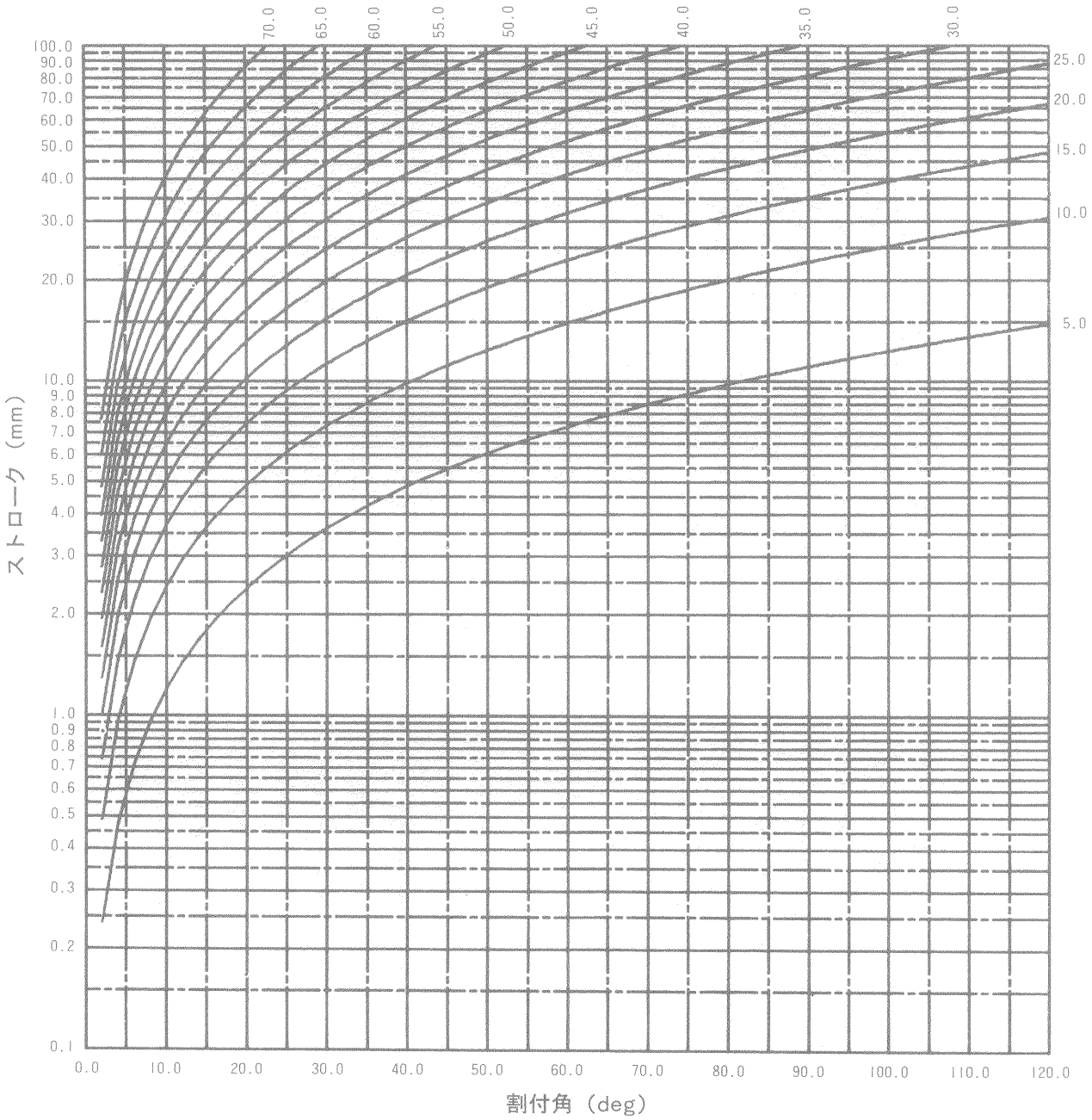
変形正弦



付表ー⑤

板カム最大圧力角（deg）

変形等速度

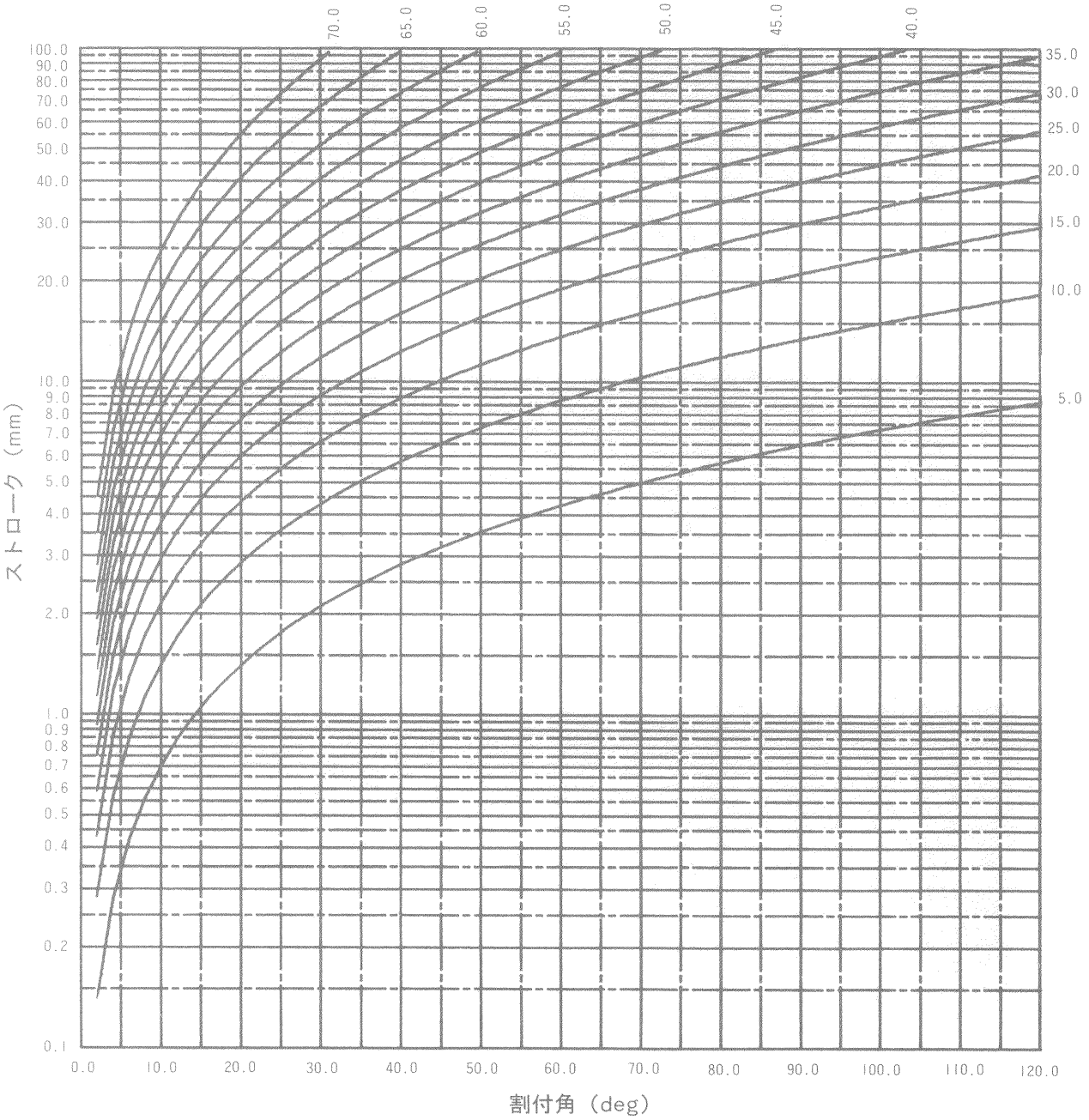


カム曲線

付表－⑥

板カム最大圧力角（deg）

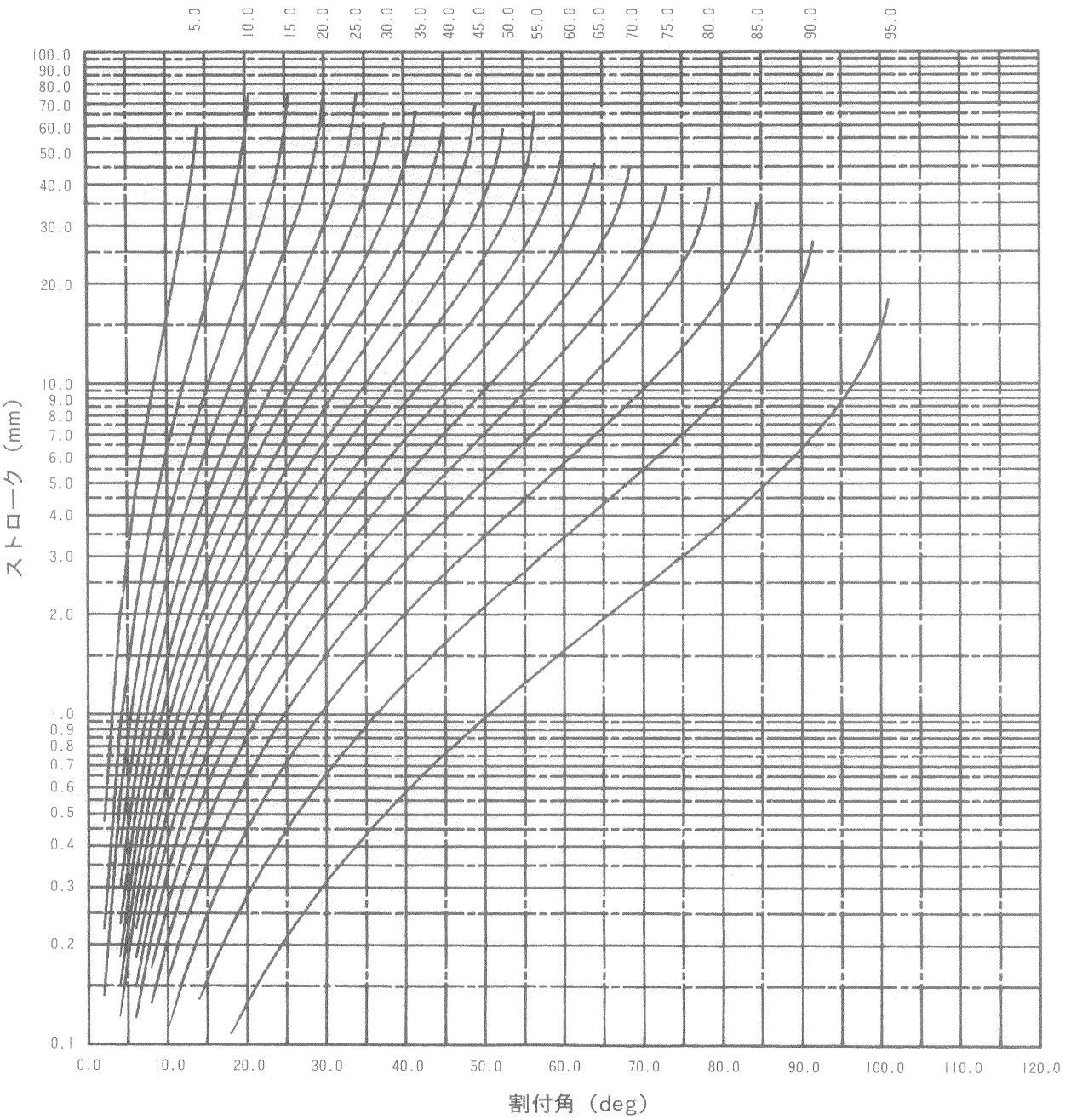
トラペクロイド



付表－⑦

板カム最小曲率半径（mm）

単　　弦

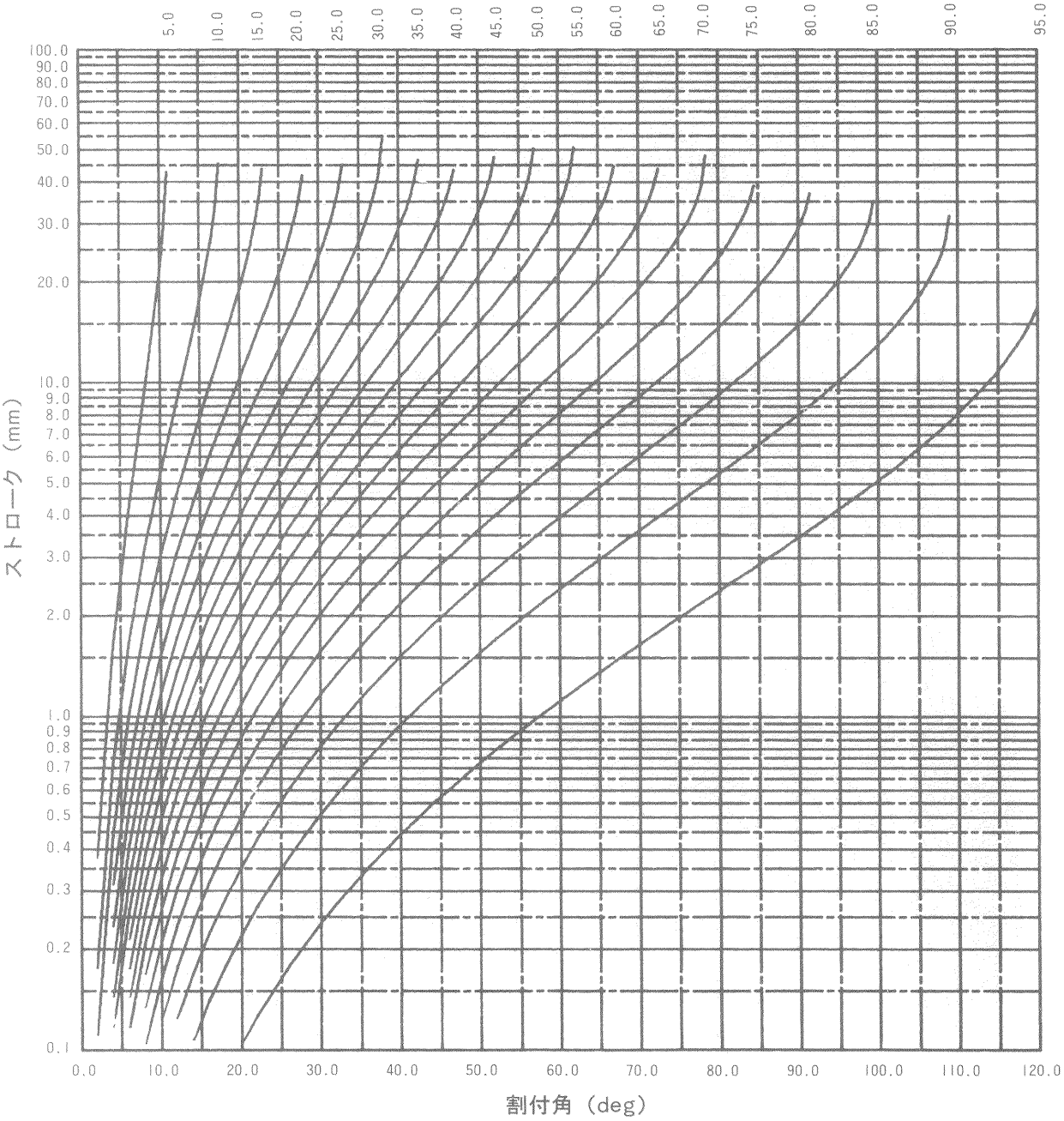


カム曲線

付表－⑧

板カム最小曲率半径（mm）

サイクロイド

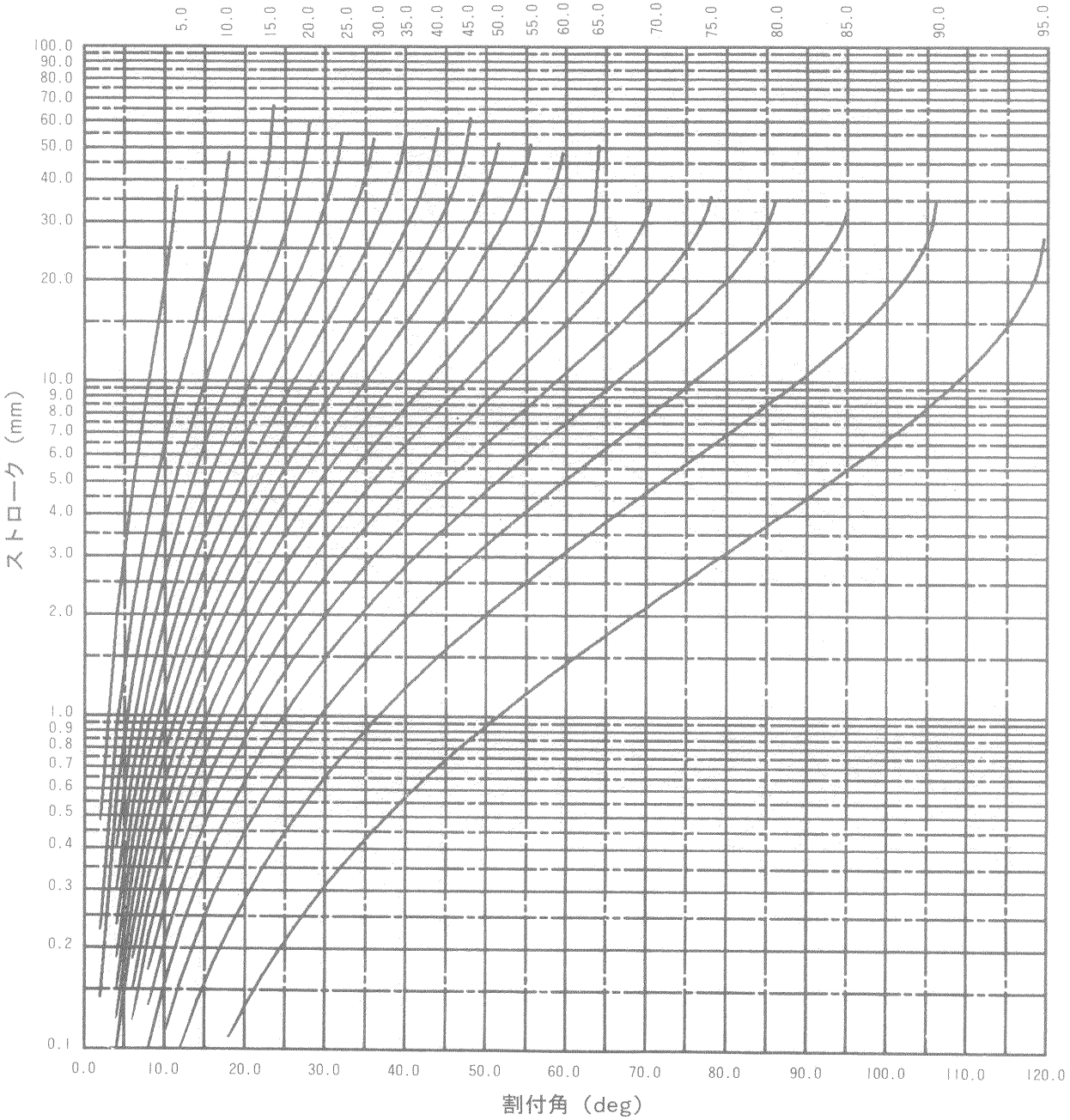


カム曲線

付表－⑨

板カム最小曲率半径（mm）

変形台形

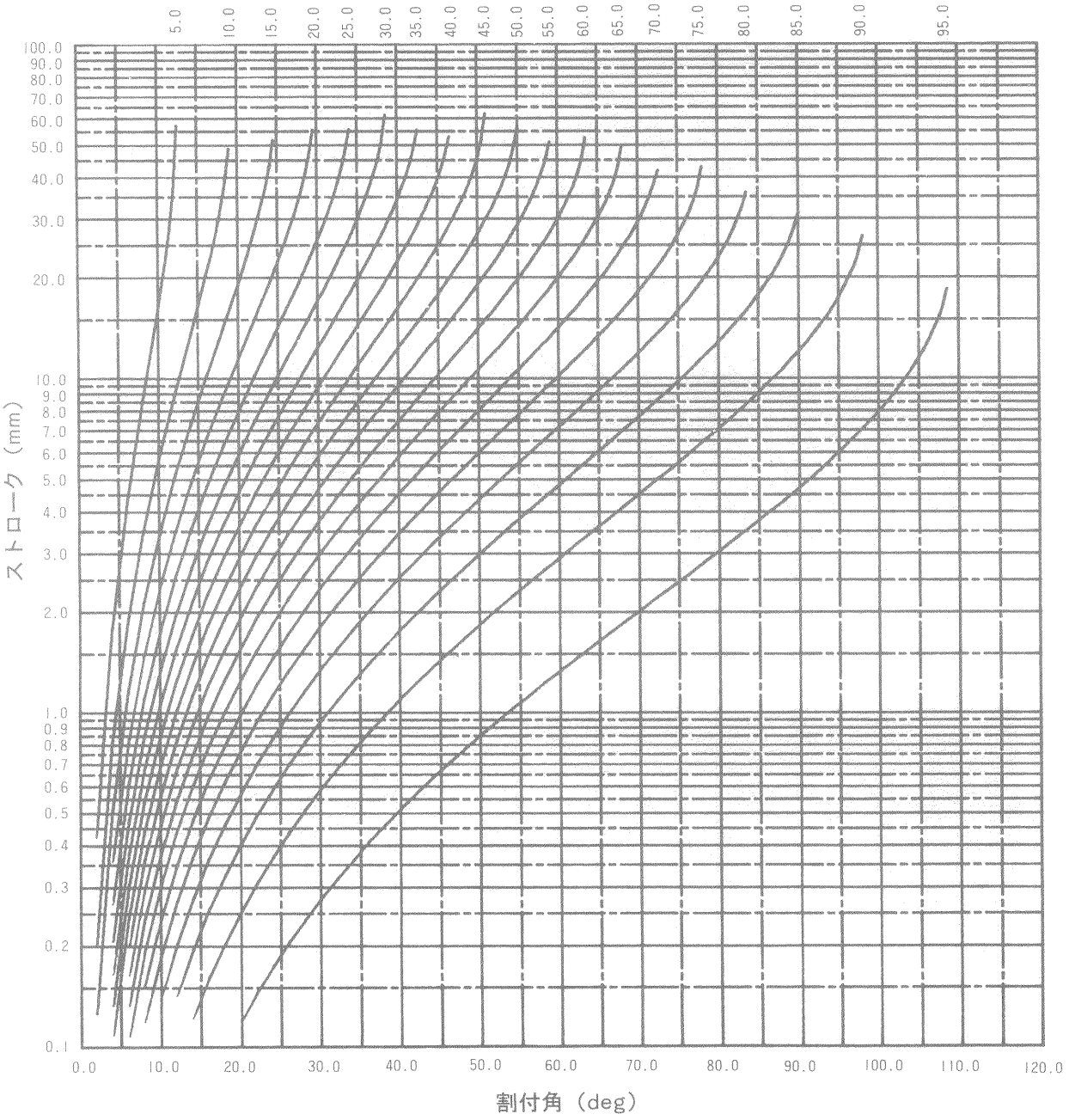


カム曲線

付表－⑩

板カム最小曲率半径（mm）

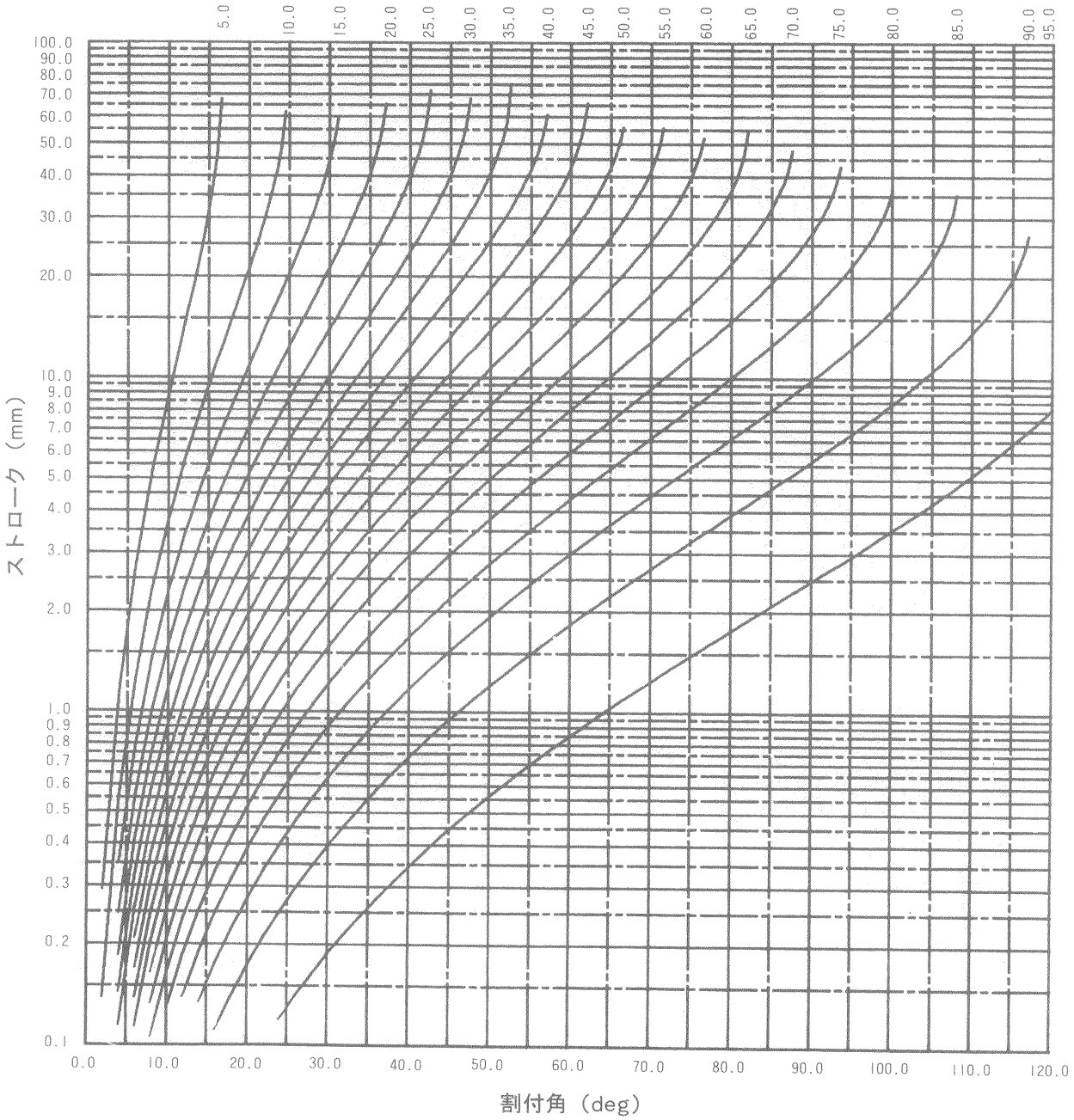
変形正弦



付表－⑪

板カム最小曲率半径（mm）

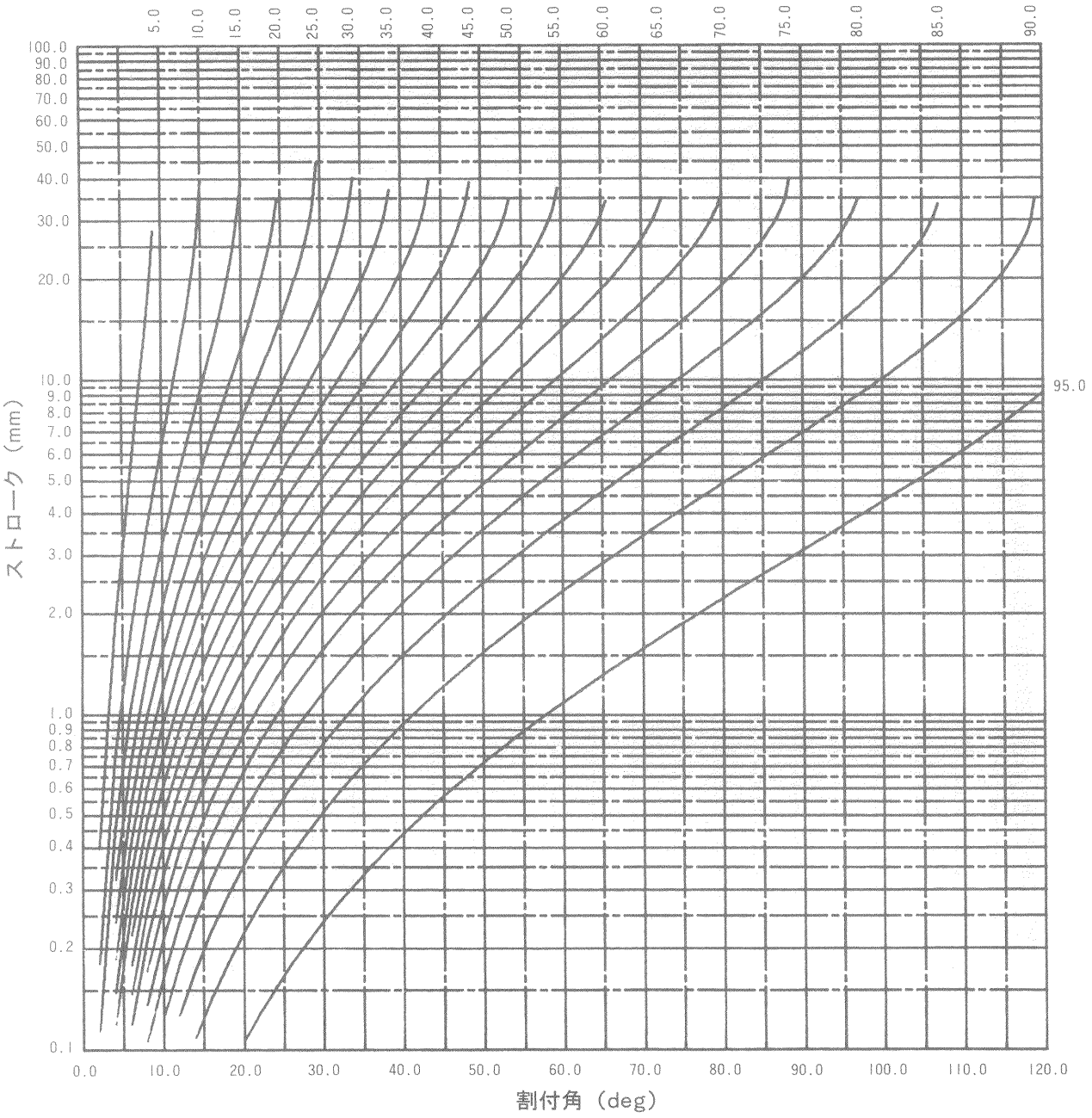
変形等速度



カム曲線

付表－⑫

板カム最小曲率半径（mm）
トラペクロイド

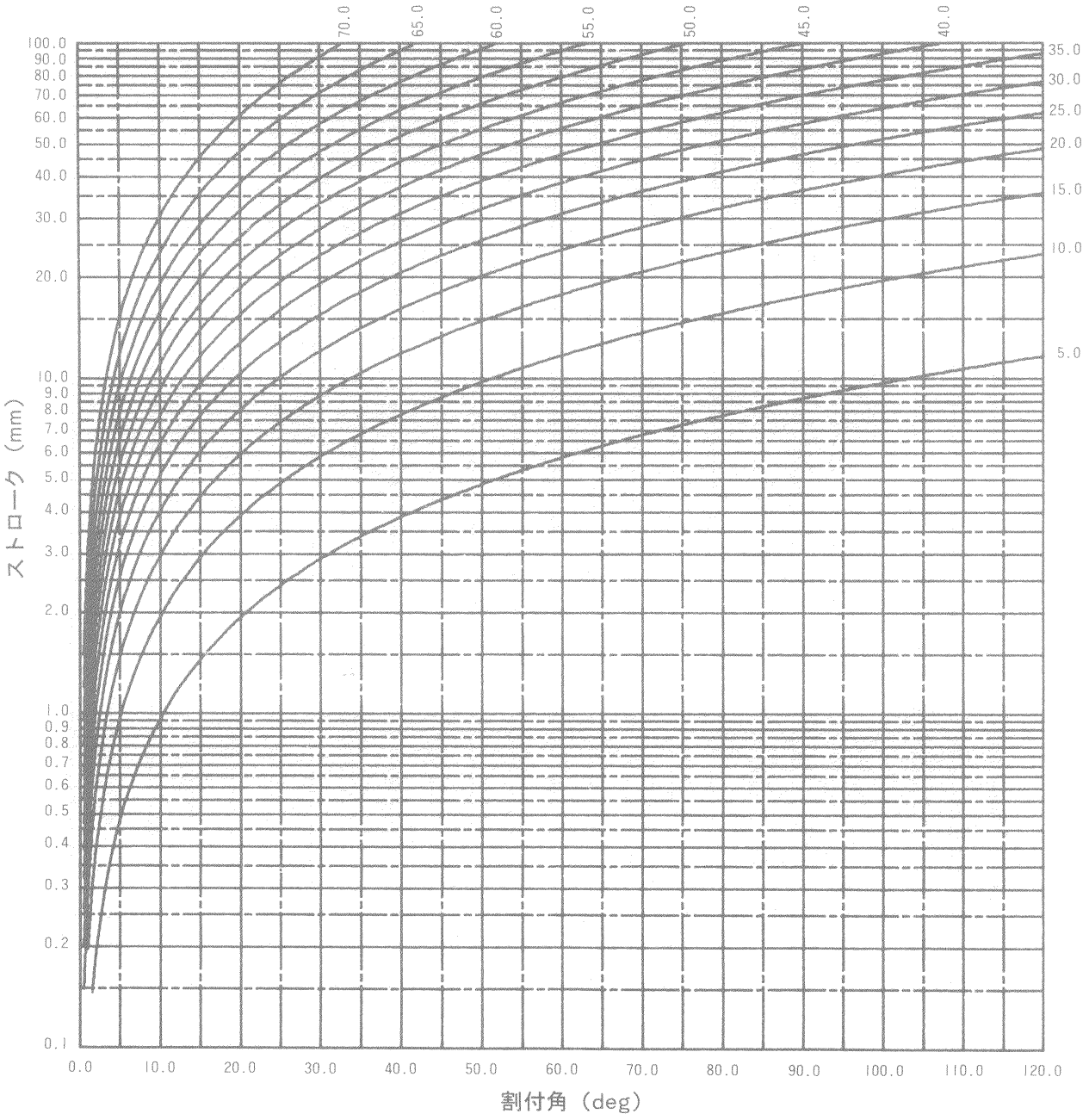


カム曲線

付表－⑬

端面カム最大圧力角（deg）

単　弦

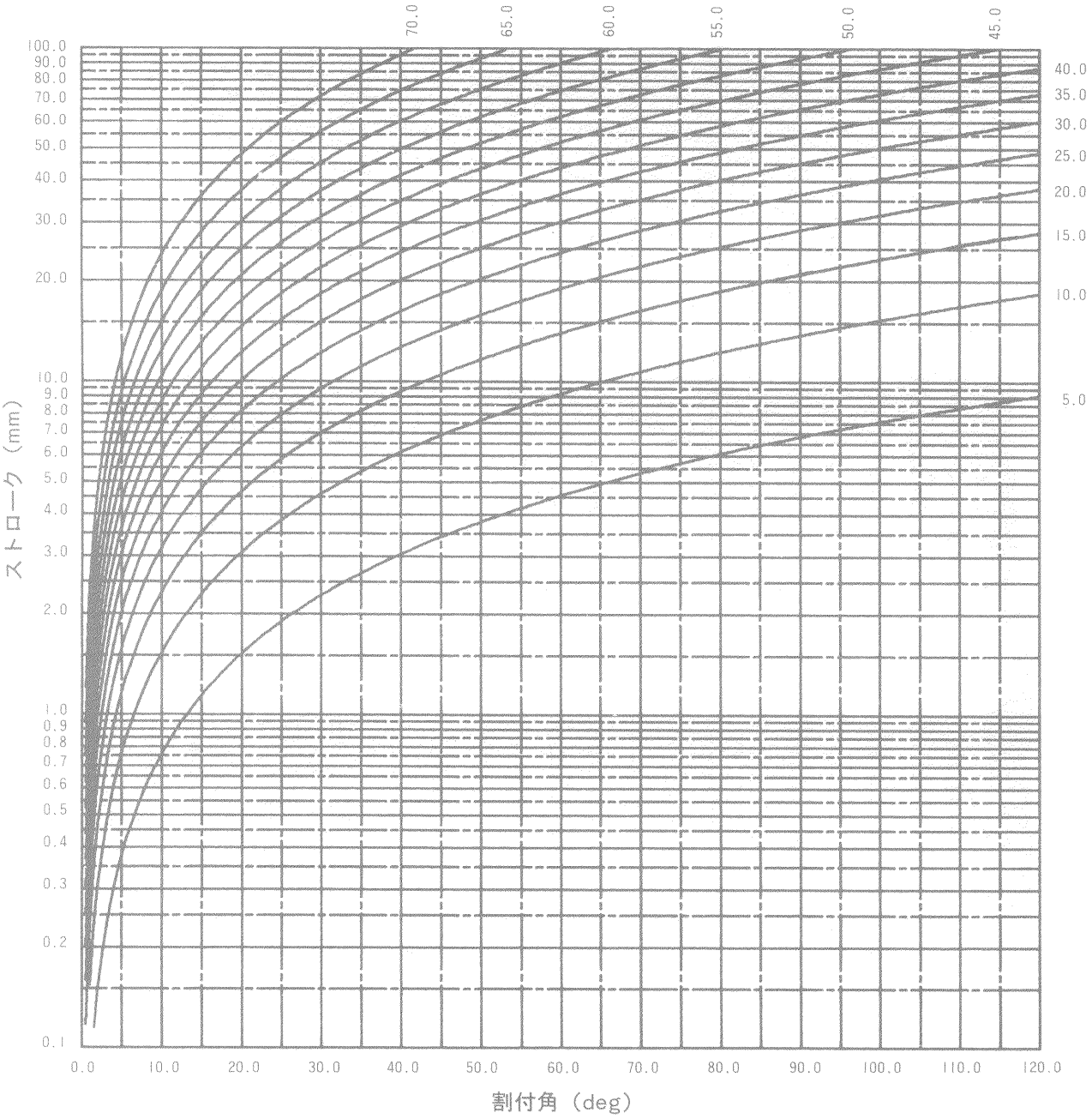


カム曲線

付表－⑭

端面カム最大圧力角（deg）

サイクロイド

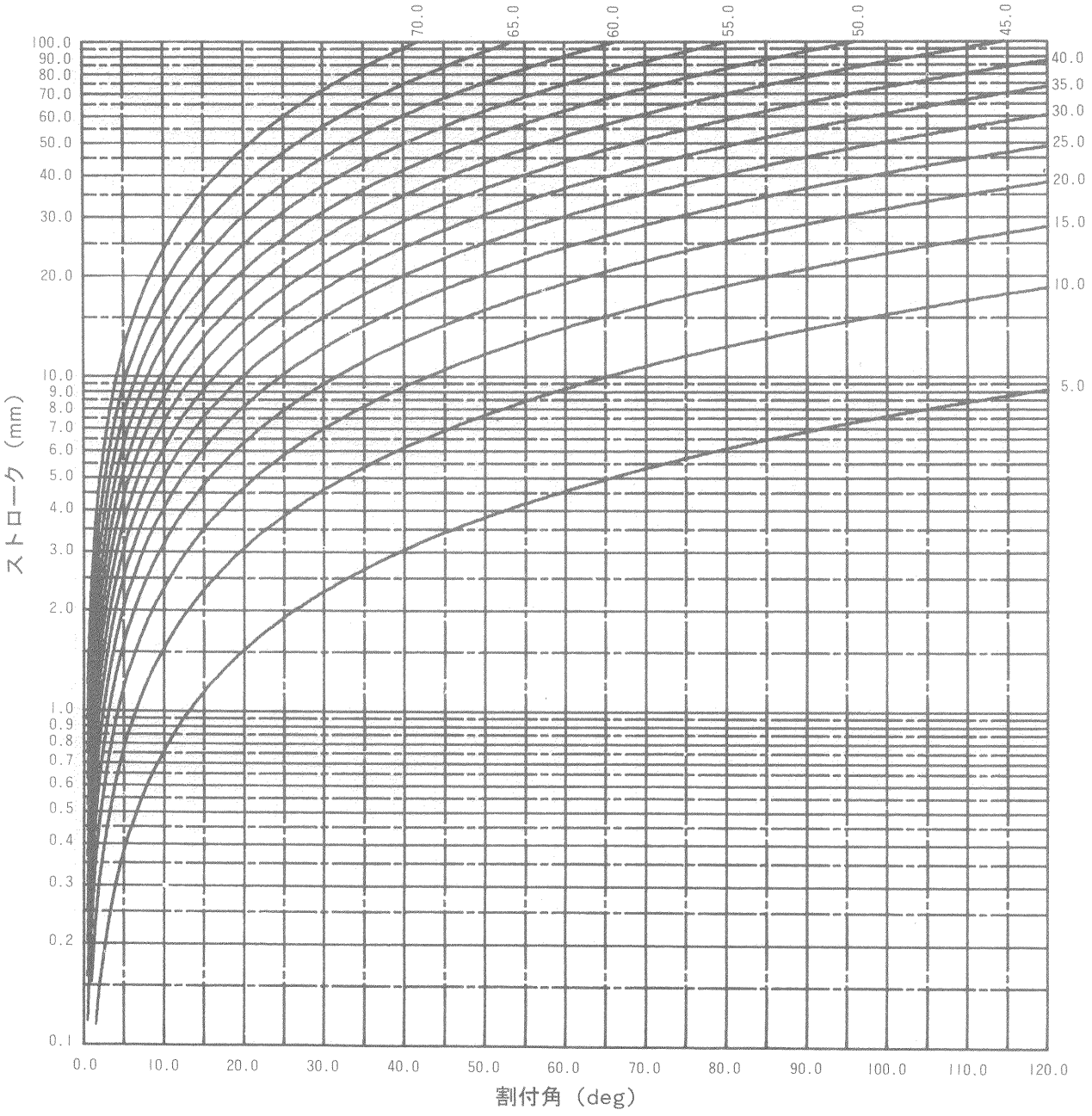


カム曲線

付表－⑮

端面カム最大圧力角（deg）

変形台形

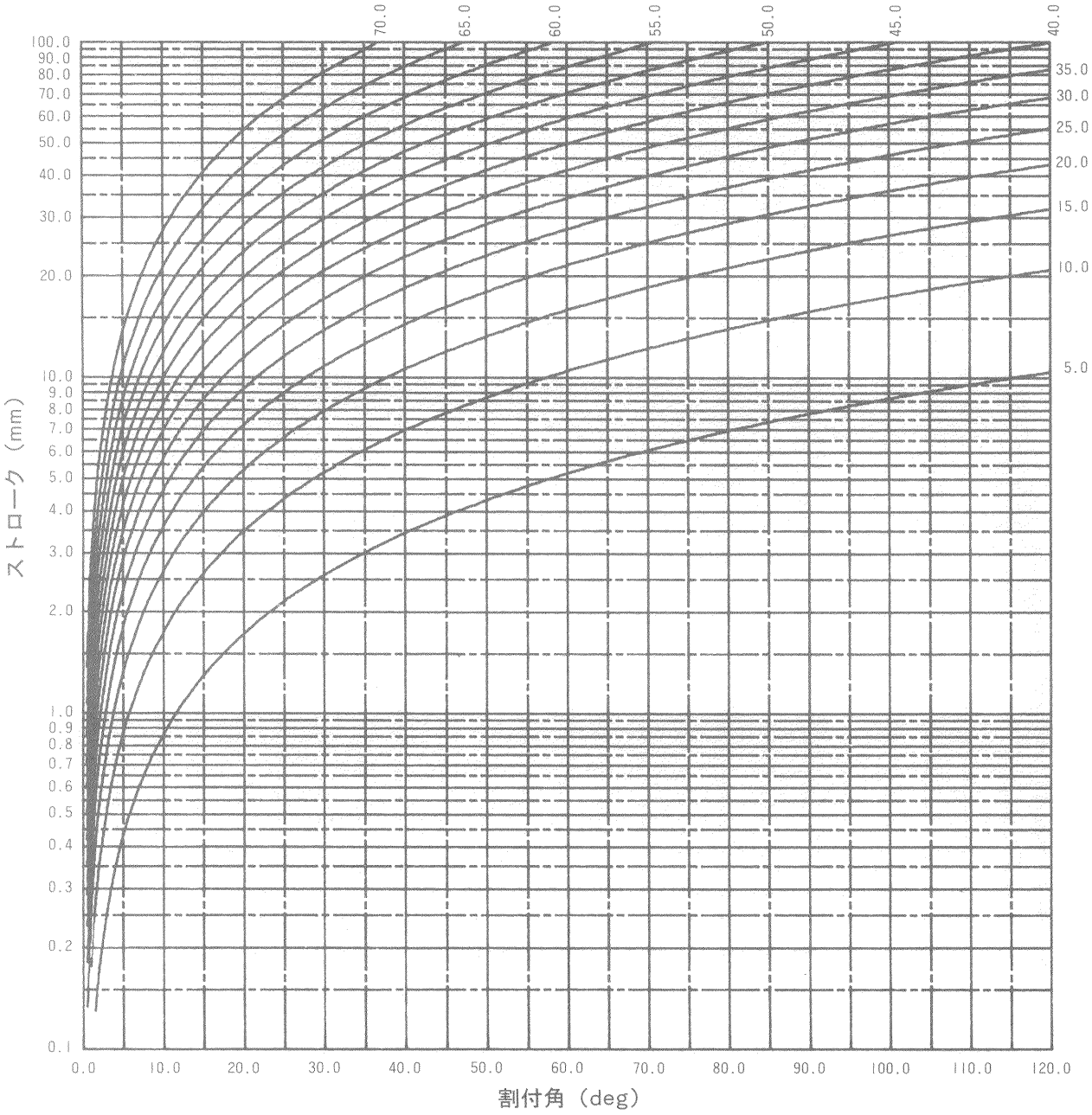


カム曲線

付表－⑯

端面カム最大圧力角（deg）

変形正弦

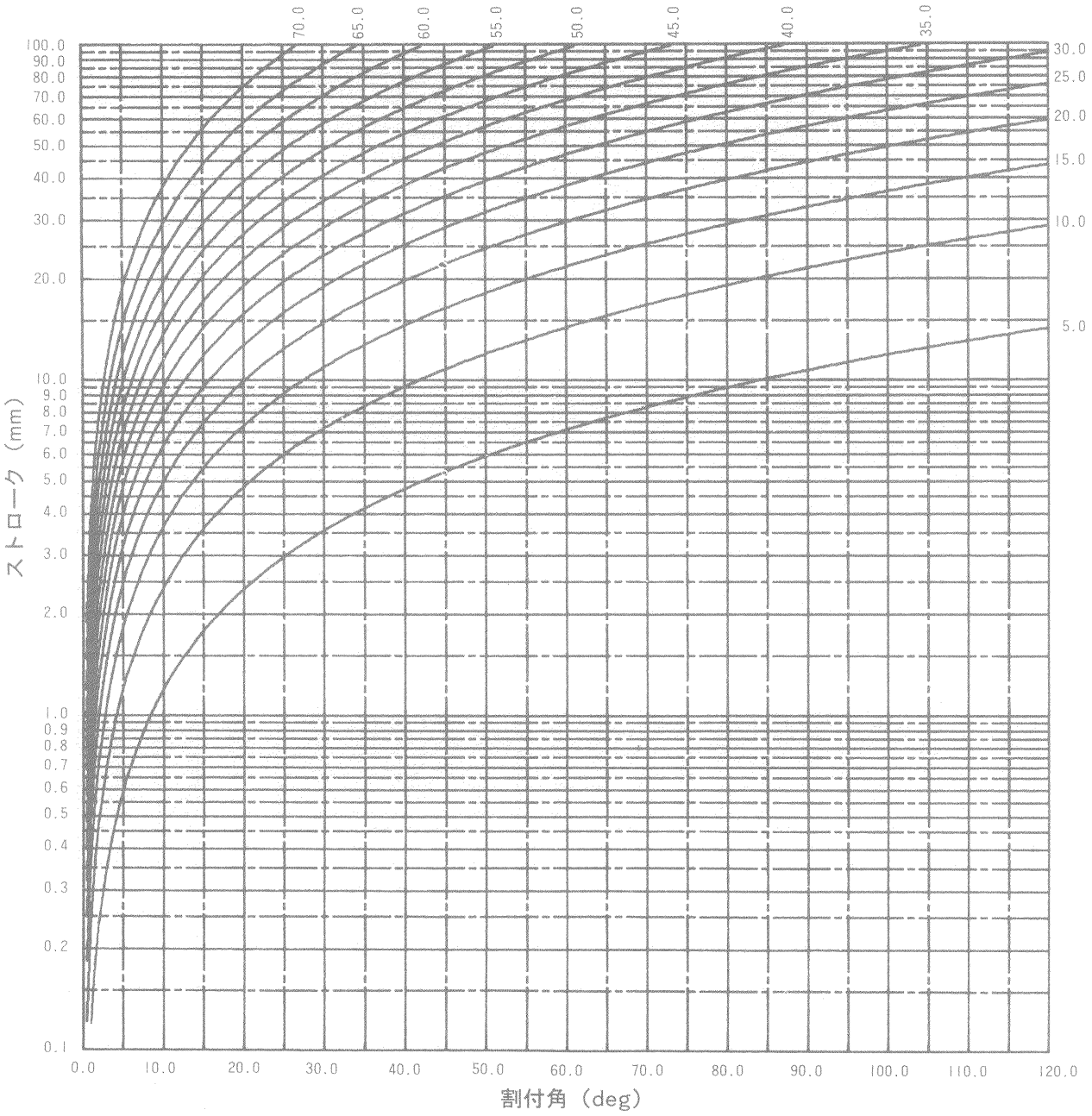


カム曲線

付表－⑰

端面カム最大圧力角（deg）

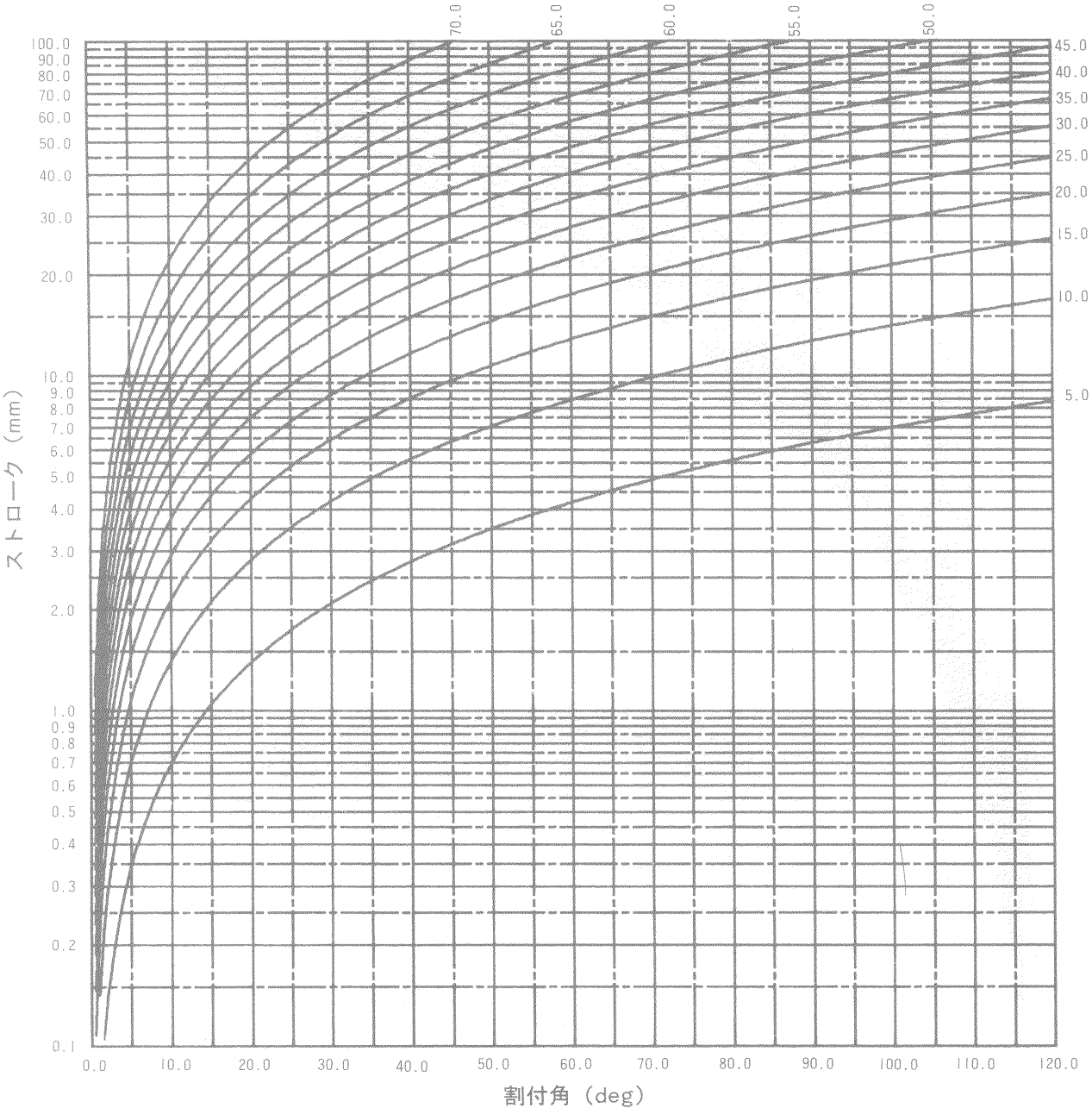
変形等速度



カム曲線

付表－⑱

端面カム最大圧力角（deg）
トラペクロイド

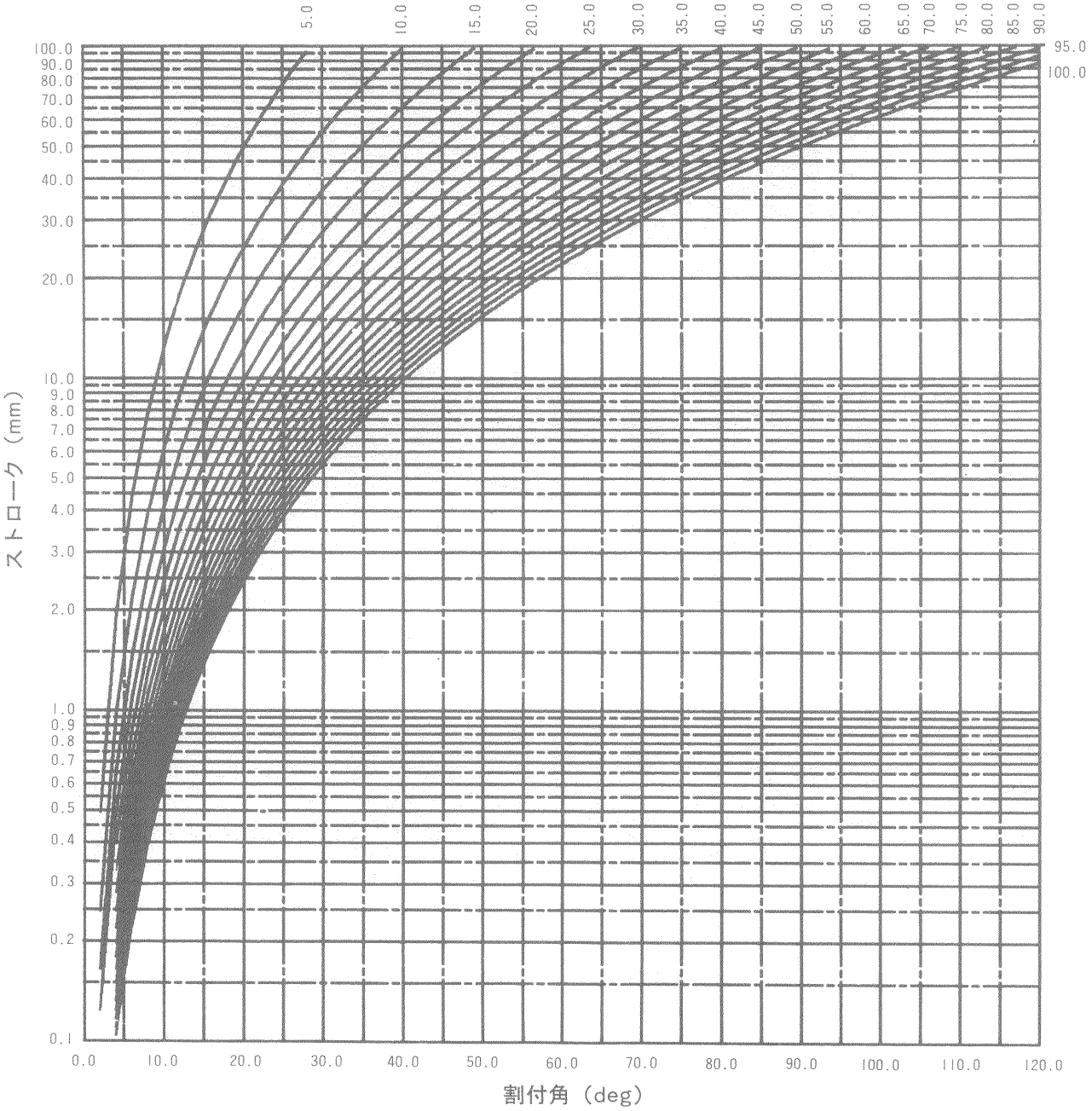


カム曲線

付表－⑲

端面カム最小曲率半径（mm）

単　　弦

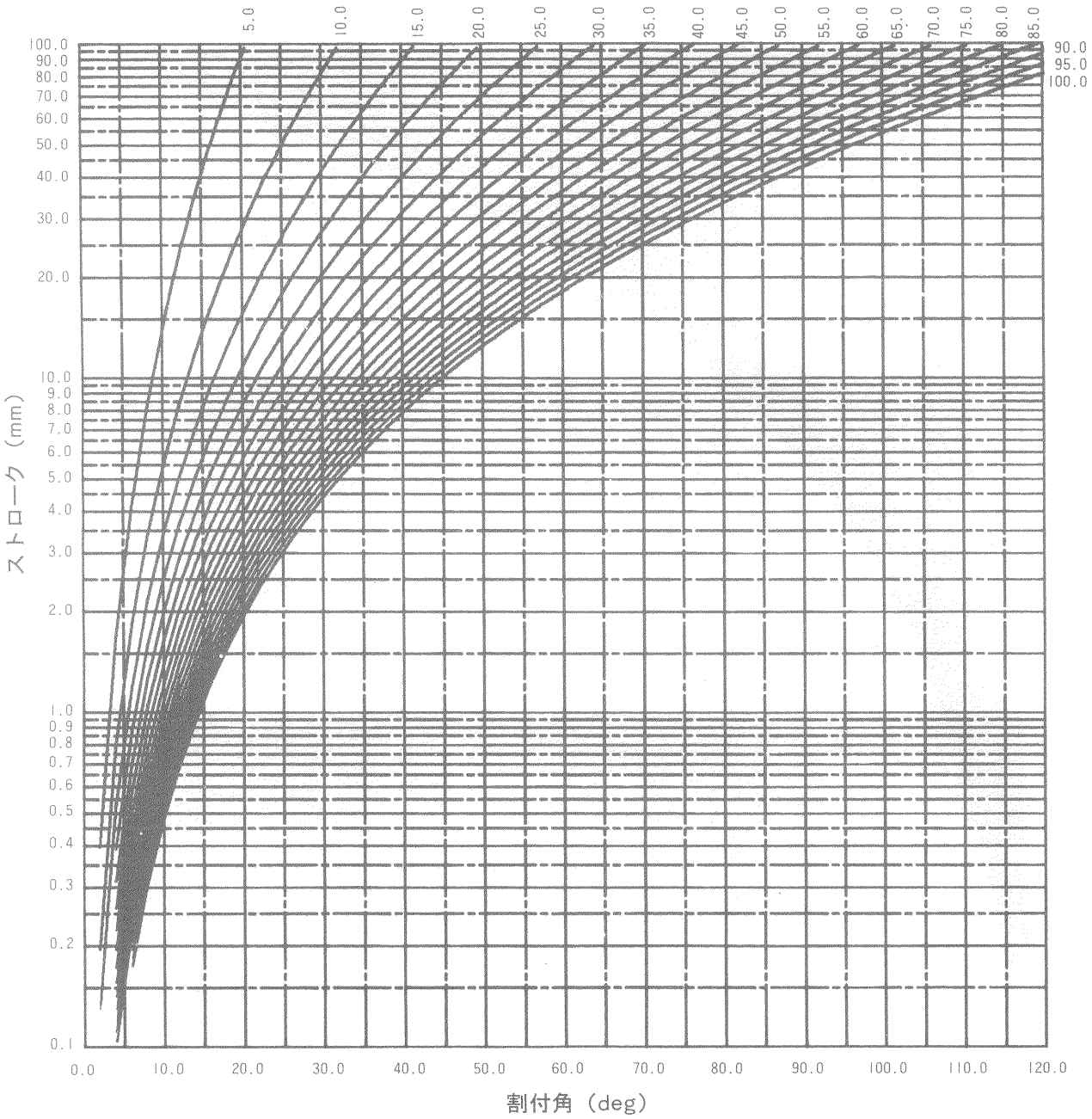


カム曲線

付表－⑳

端面カム最小曲率半径（mm）

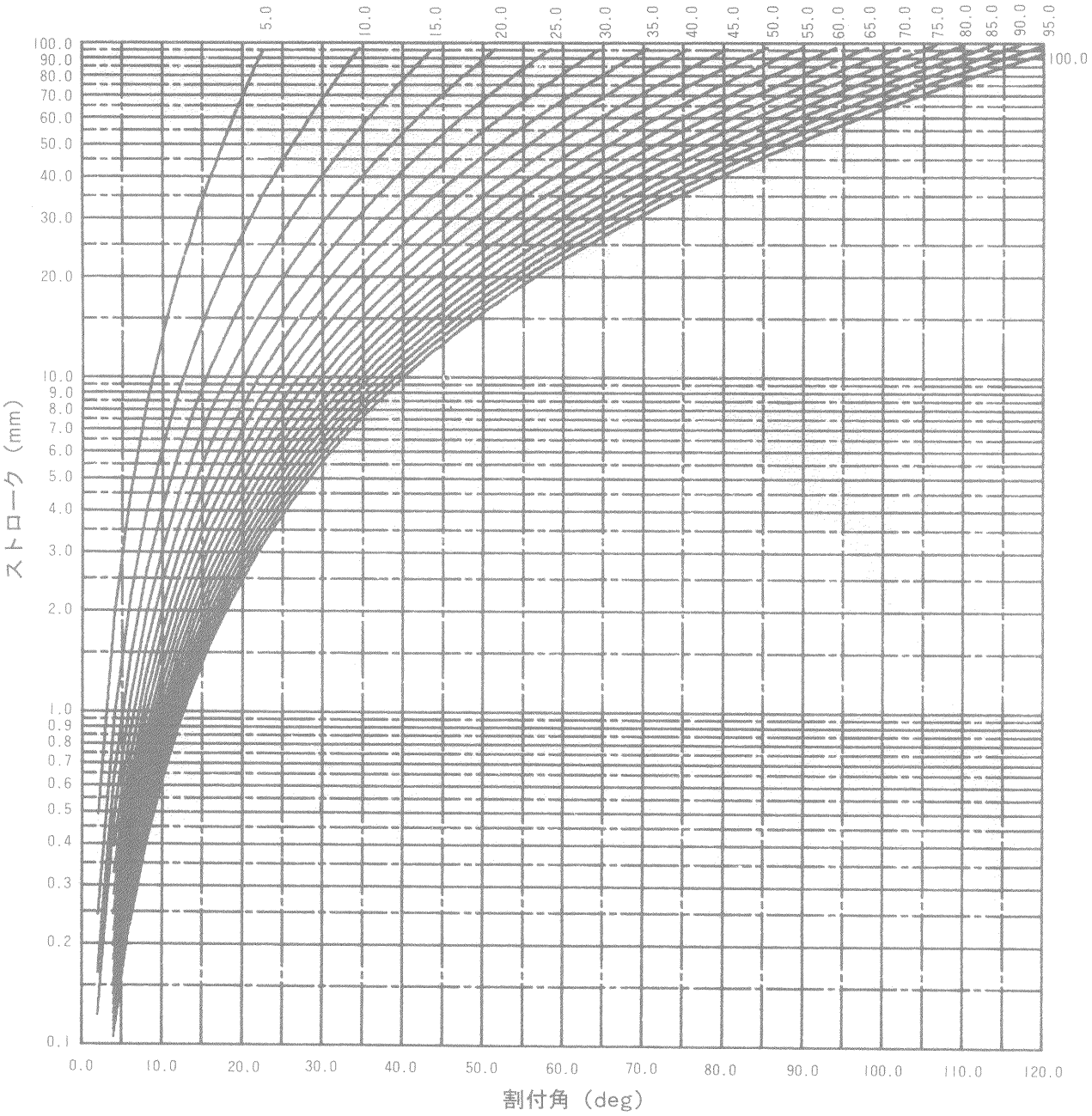
サイクロイド



付表－㉑

端面カム最小曲率半径（mm）

変形台形

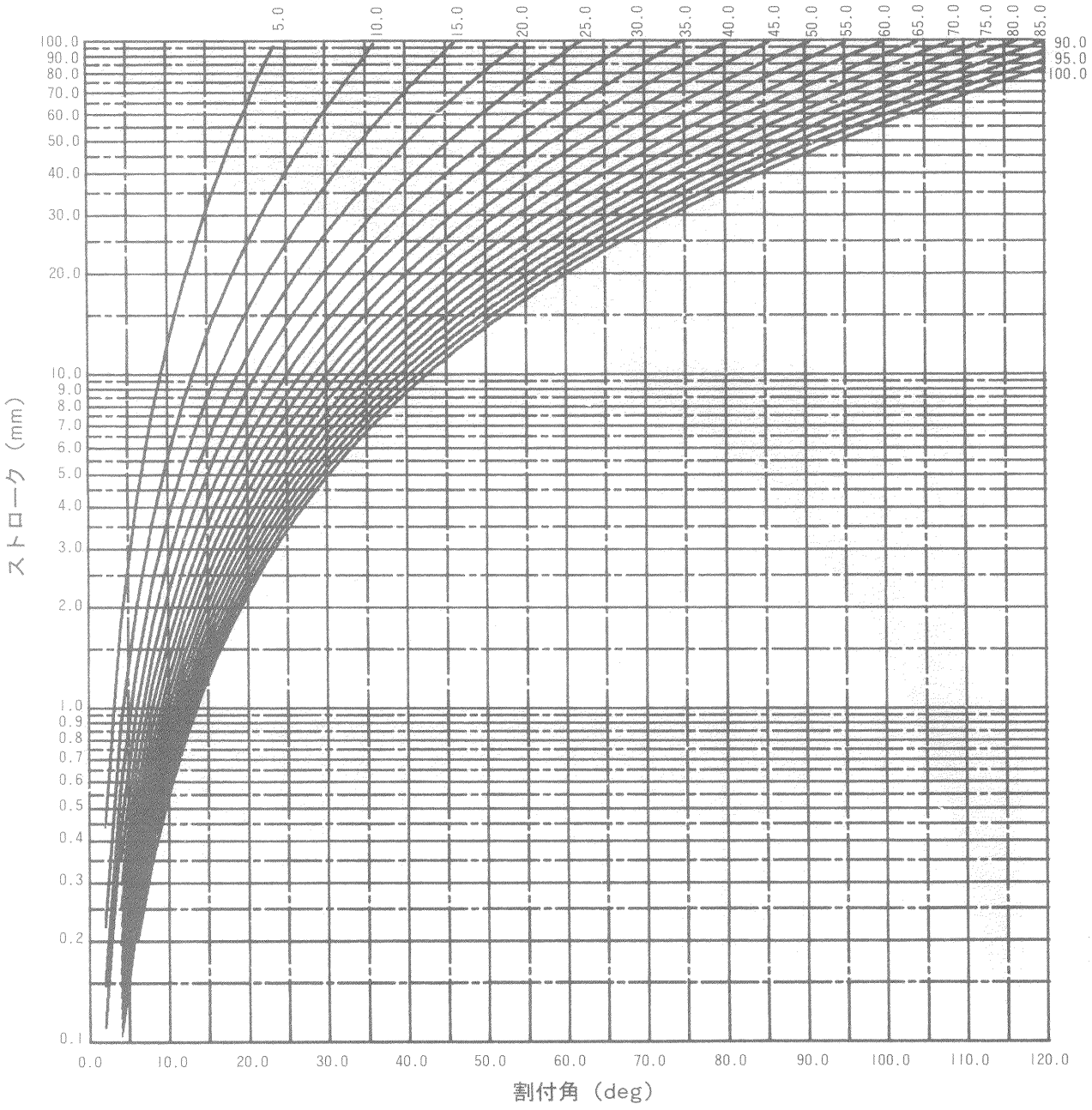


カム曲線

付表－㉒

端面カム最小曲率半径（mm）

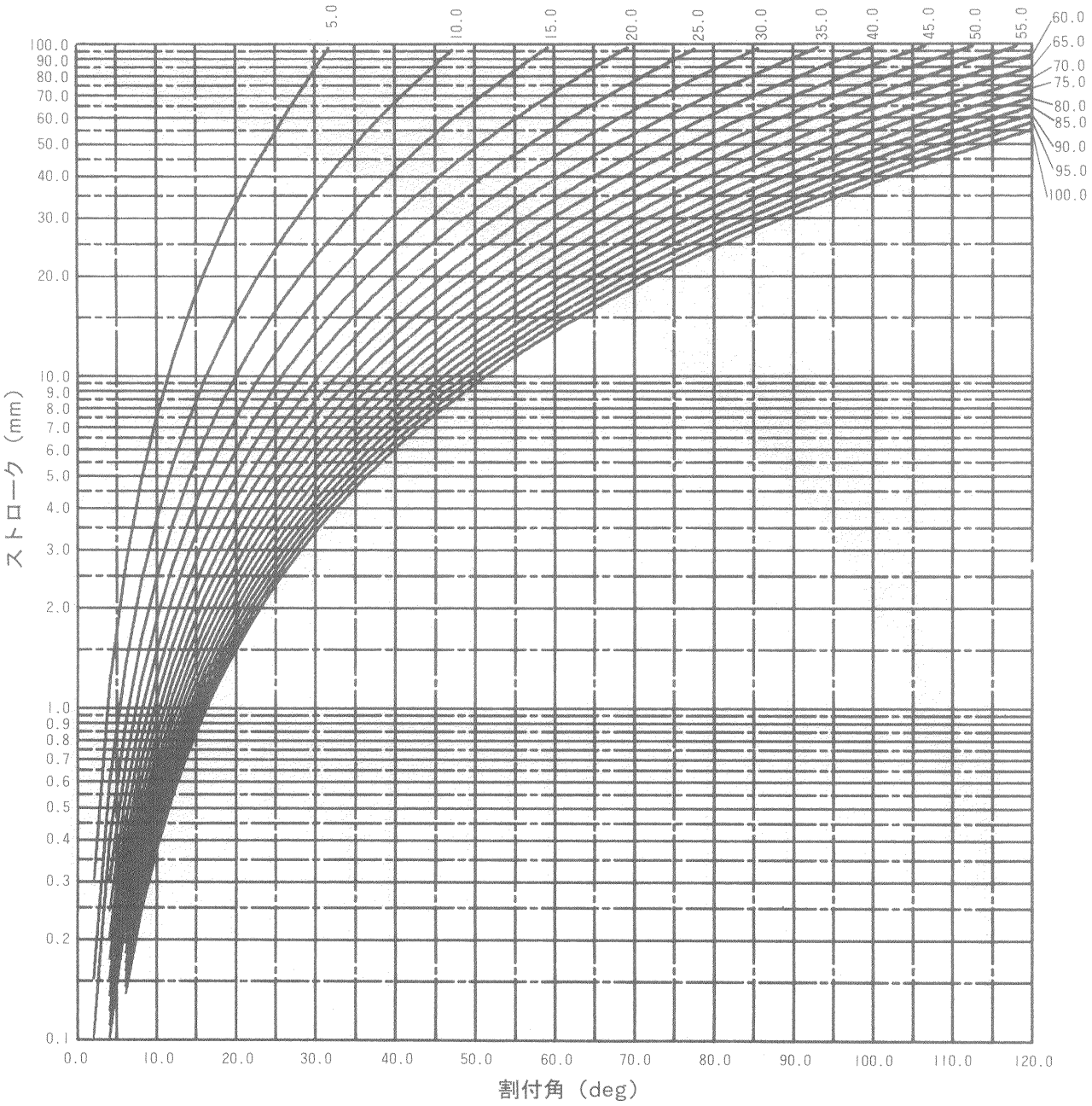
変形正弦



付表－㉓

端面カム最小半径（mm）

変形等速度

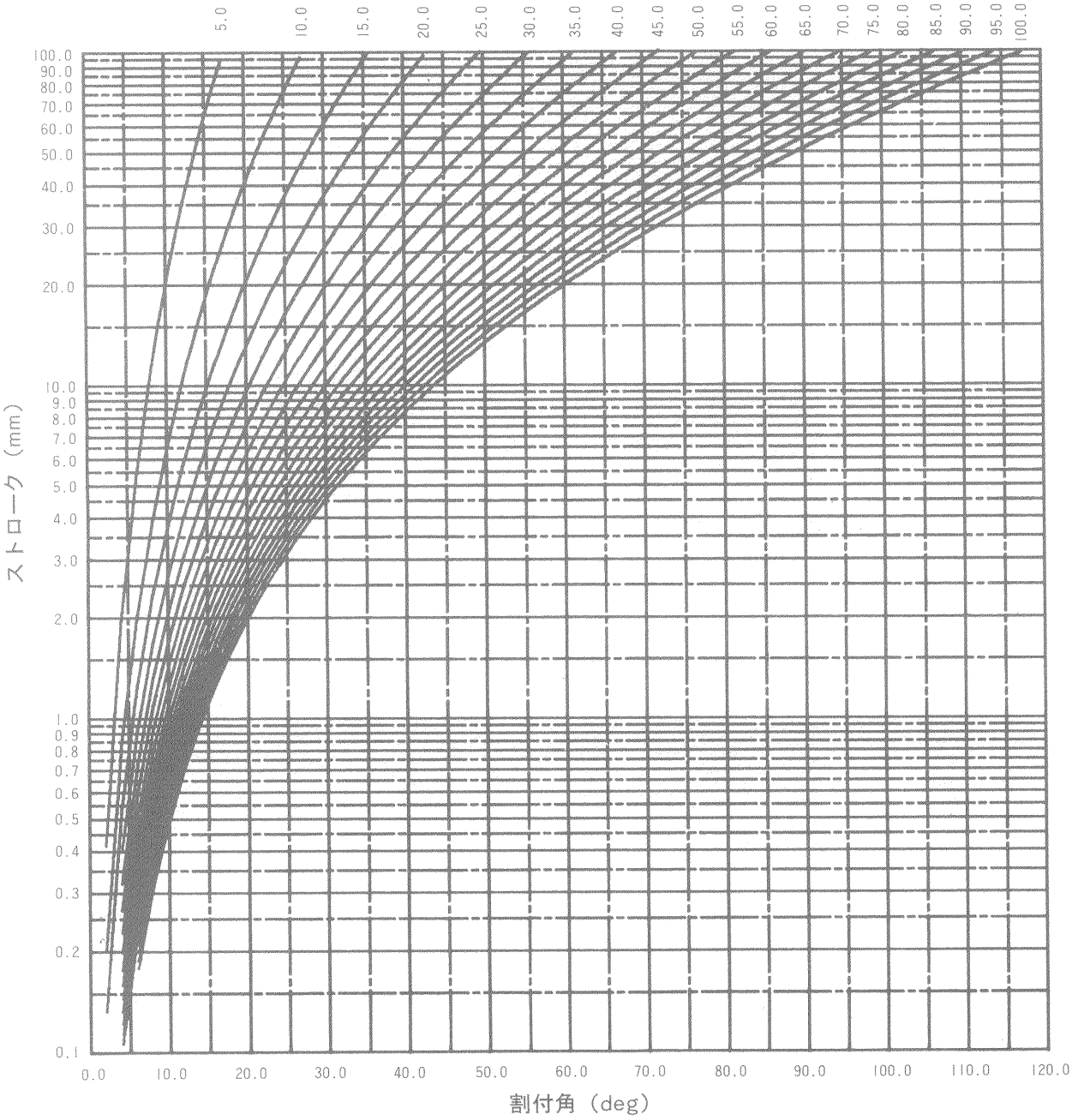


カム曲線

付表－㉔

端面カム最小曲率半径（mm）

トラペクロイド



MEMO

7. 付記 日本カム工業会標準カム図面の作成

1. 本標準の目的

「日本カム工業会標準：カム図面の作成」は「顧客の要求仕様を満たすように、メーカによって作られる図面の作成に関する標準であり、顧客とメーカとの技術的打ち合わせ項目が、必要十分に表現される」ことを目的として、ここではカム図面の標準的な書き方について規定する。

2. カム図面の基本

カム図面には必要なことが全て記述されていなければならないと同時に特別の場合を除いて一枚のカム図面に全ての情報を集約することが望ましい。ここでいうカム図面は次の三つの部分を含む一枚の図面であり、本標準ではそれぞれについての表記法を示す。

・タイミング表示部
・リンク機構表示部（機構の簡略図法）
・カムタイミング表示部

カムタイミング表示部はカムの回転角に対する出力の変位を表すものであり、第３章に詳述される。リンク機構表示部はカム・カムフォロアから最終従節までの機構の構成、位置関係、寸法等を表示するものであり、第４章にその簡略図法を示す。カム・カムフォロア表示部はカムとカムフォロアの構成、位置関係、寸法およびその他必要事項を記述するものであり、第５章に詳述される。

なお本標準の本版で記述するカム、カムフォロア表示部は平面カム、平面溝カムに限る。

3. タイミング表示部

動作の状態を示す図表名をタイミング線図と呼ぶことにする。タイミング線図は原動節であるカムの回転角に対する最終従節の動作を示すものである。**図１**に例を示す。

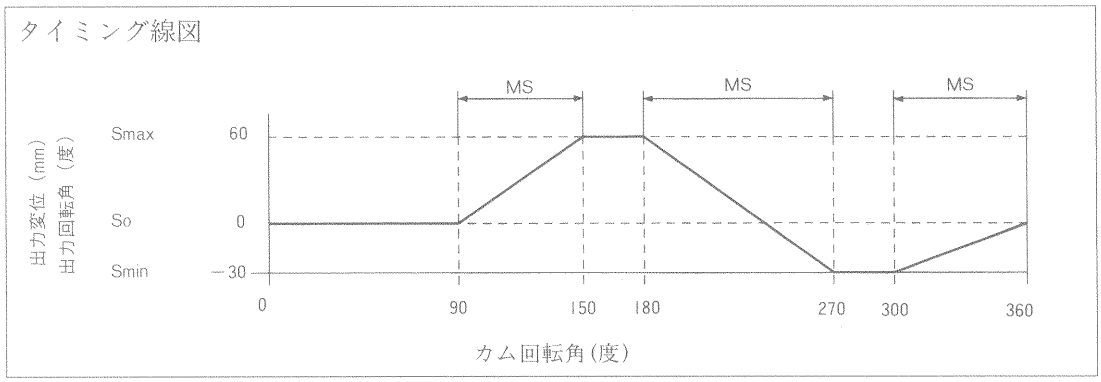


図１：タイミング線図記入例

表１：代表的なカム曲線の英文略号と邦文名

邦文名	英文略号
等加速度	PB
5　　次	P5
サイクロイド	CY
変形台形	MT
変形正弦	MS
変形等速度	MCV
トラペクロイド	TRP

1．横軸は「カム回転角（度）」とし、0から始まり360で終わる座標を用いる。横軸の上には割出しの開始・終了を示す角度を数字のみで表示する。

2．縦軸は「出力回転角（度）」または「出力変位（mm）」のいずれかを縦書きで用いる。**（図1参照）**座標の範囲は横軸の線から上だけを用いS_{min}～S_0～S_{max}の範囲としそれぞれの値を具体的に縦軸の左側に表示する。S_{min}、S_0、S_{max}の値は具体的にはnnnと表示する。

3．タイミングは実線の直線で表示する。

4．カム曲線の名称は横軸からの高さがほぼ一様にして、かつ最大変位位置の水準より高い位置に置く。カム曲線の指定は英文略号（例えばMS）あるいは邦文名（例えば変形正弦）とする。この際、割出し位置を明示するため、両側に矢印のある線を引きその上に描く。すなわちカム曲線名は〝←*MS*→〟ではなく、〝*MS*〟のように書く。

表1は代表的なカム曲線の英文略号と邦文名を示す。

5．横軸と縦軸のタイミングを明示するための寸法補助線は破線の細線で書くことを推奨する。

4．機構の簡略図法

リンク図はカム図面の構成に欠かせない重要な部分である。最終出力端に所望の動作を与え、カムの形状を決定するという設計手順から不可欠のものである。リンク機構の表示はリンク機構が複雑になると記述がむずかしくなるので、機構要素や対偶をシンボル化し、ユーザーやメーカが簡単にリンク機構を描けるようにすることが必要である。

4．1　機構要素のシンボル

表2のように機構要素・対偶をシンボルとして使用する。

記　号	適　用
	固定点、回り対偶の回転中心、カムの中心
	最終出力端
	回り対偶、ジョイント
	アーム、レバー
	カムフォロア（レバーを含む）
	ガイド、溝案内
	スライダ、すべり対偶
Smin　So　Smax	最終従節動作範囲の表示
	ピニオン・ラック要素
または	カムの回転方向

表2：機構要素のシンボル

付記

4．2　寸法の記入法

寸法はリンク機構図上に表3のように表現する。

対象要素	表示（*nnn*は数値を示す）
カム中心座標	原則として（0，0）とし、カム中心近くに表示する
カムフォロアの直径	*Dnnn*としカムフォロア近くに表示する
固定点の座標	カム中心からの絶対座標で（nnn_x，nnn_y）とし、その点近くに表示する
アームおよびレバーの長さ	アーム、レバーと平行に*Lnnn*と表示する
二つのレバーのはさみ角	*Annn*とし、その近くに表示する
方向を示す角度	正の*X*軸からの傾きの角度*nnn*を*AAnnn*とし、その近くに表示する
垂線の足の長さ	垂線の足を二点鎖線で表示し、足の長さ*nnn*を*Pnnn*とし、その近くに表示する

表3：寸法記入法

4．3　簡略図法による機構の記入例

図2に簡略図法による機構の記入例を示す。

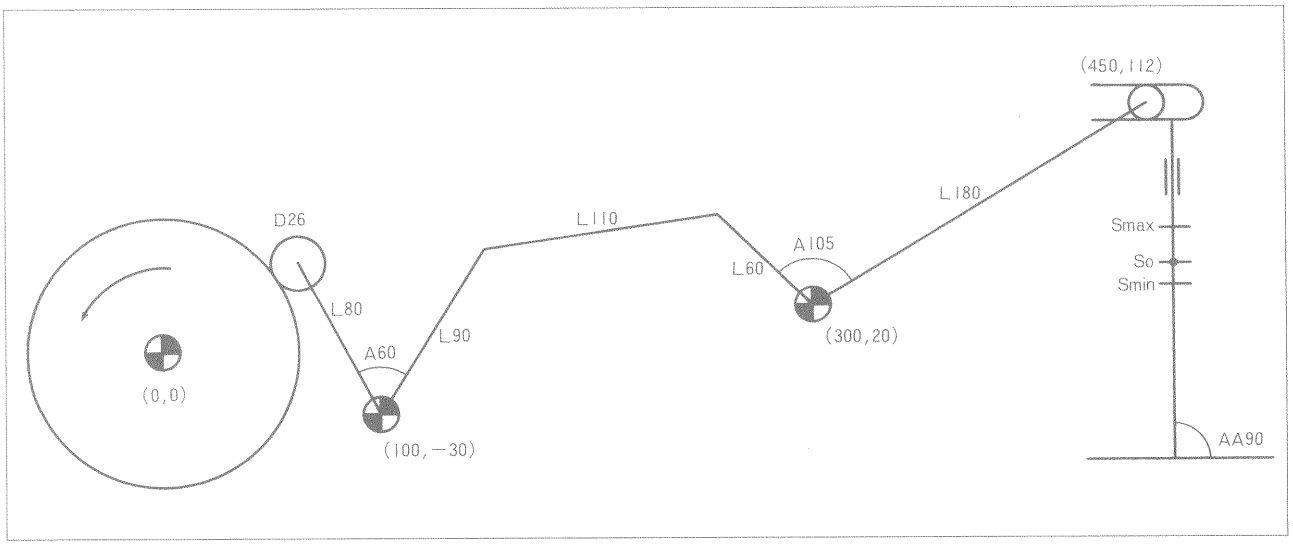


図2：簡略図法による機構の記入例

付記

5. カム・カムフォロア表示部

5．1　板カムおよび平面溝カム

カム・カムフォロア表示部はカムとカムフォロアの組み合わせを正面図および側面図で表示する。書き方は基本的にJIS規格製図に準拠する。カム・カムフォロア表示部は次のように表示する。

1．公差の指定は公差記号と寸法許容差を併記することを推奨する。例えば $\phi 20\mathrm{H}7\ ^{+0.021}_{0}$
2．カム形状計算の結果得られたカムの寸法などは（　）をつけて、基準となるべき数値と区別して表記する。例えば（R45.959）
3．カムの回転方向はカムの実体のいずれかの場所に矢印付きの円弧で表示する。この時回転方向を示す *CCW* あるいは *CW* の表示は不要である。
4．カムの輪郭はフリーハンドでおおよその形状を書けばよい。
5．カム・カムフォロア図はタイミング線図におけるカム回転角が0度の状態を実線で表示し、S_{max} および S_{min} の状態をカムフォロアおよびレバーと共に二点鎖線で表示する。
6．キー等の基準位置をタイミング線図の0度におけるカム正面図上に明示する。
7．材質表示の記述については、本標準では特に規定しない。
8．直角度、振れなどの表示は特に必要な場合記入する。
9．熱処理については熱処理する部分、方法、硬度を表示する。硬化層深さの表示は本標準では規定しない。

推奨するカム図面の記入例を**図3**、**図4**および**図5**に示す。

付記

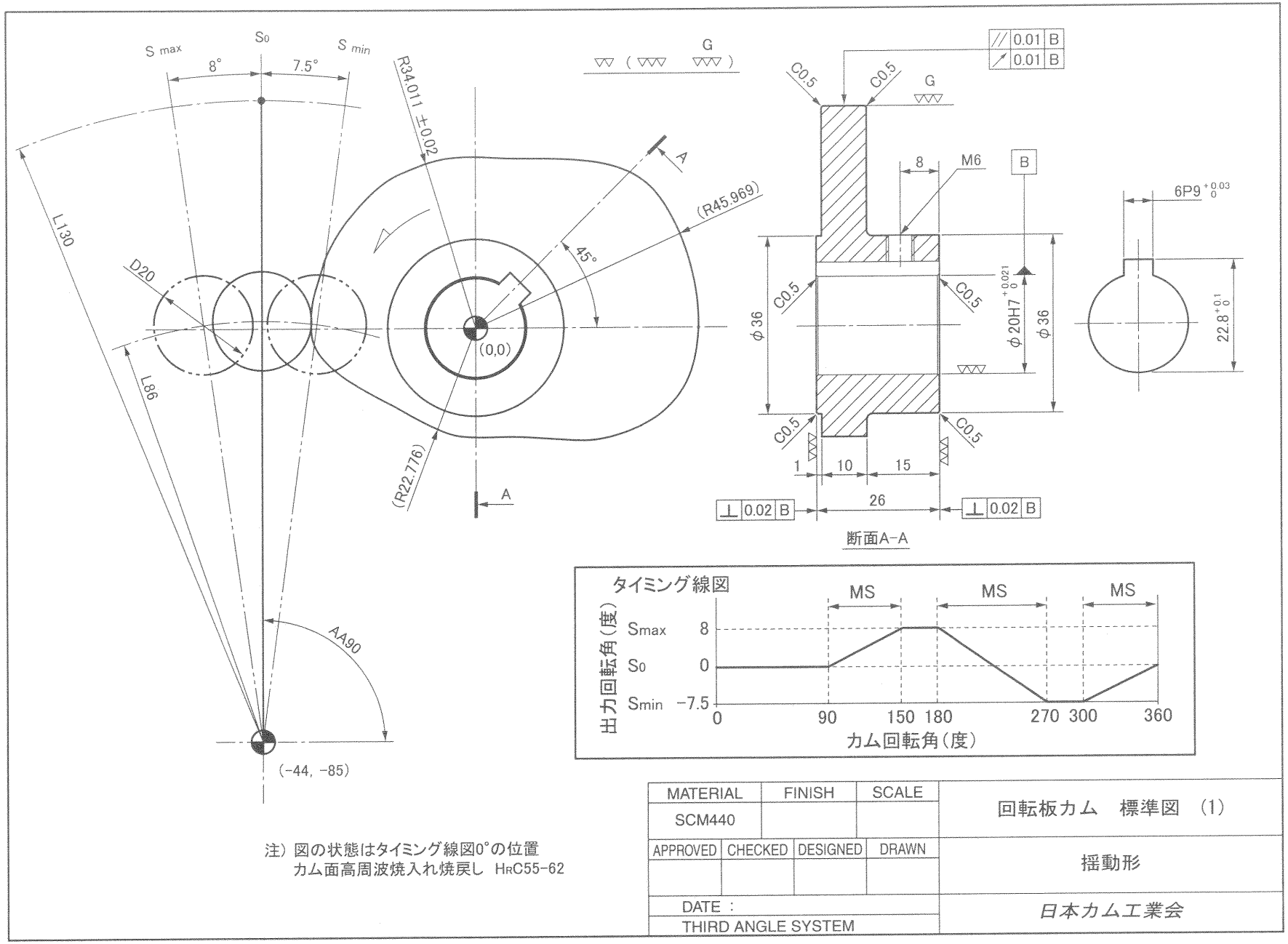


図３　カム図面の記入例〔その１〕

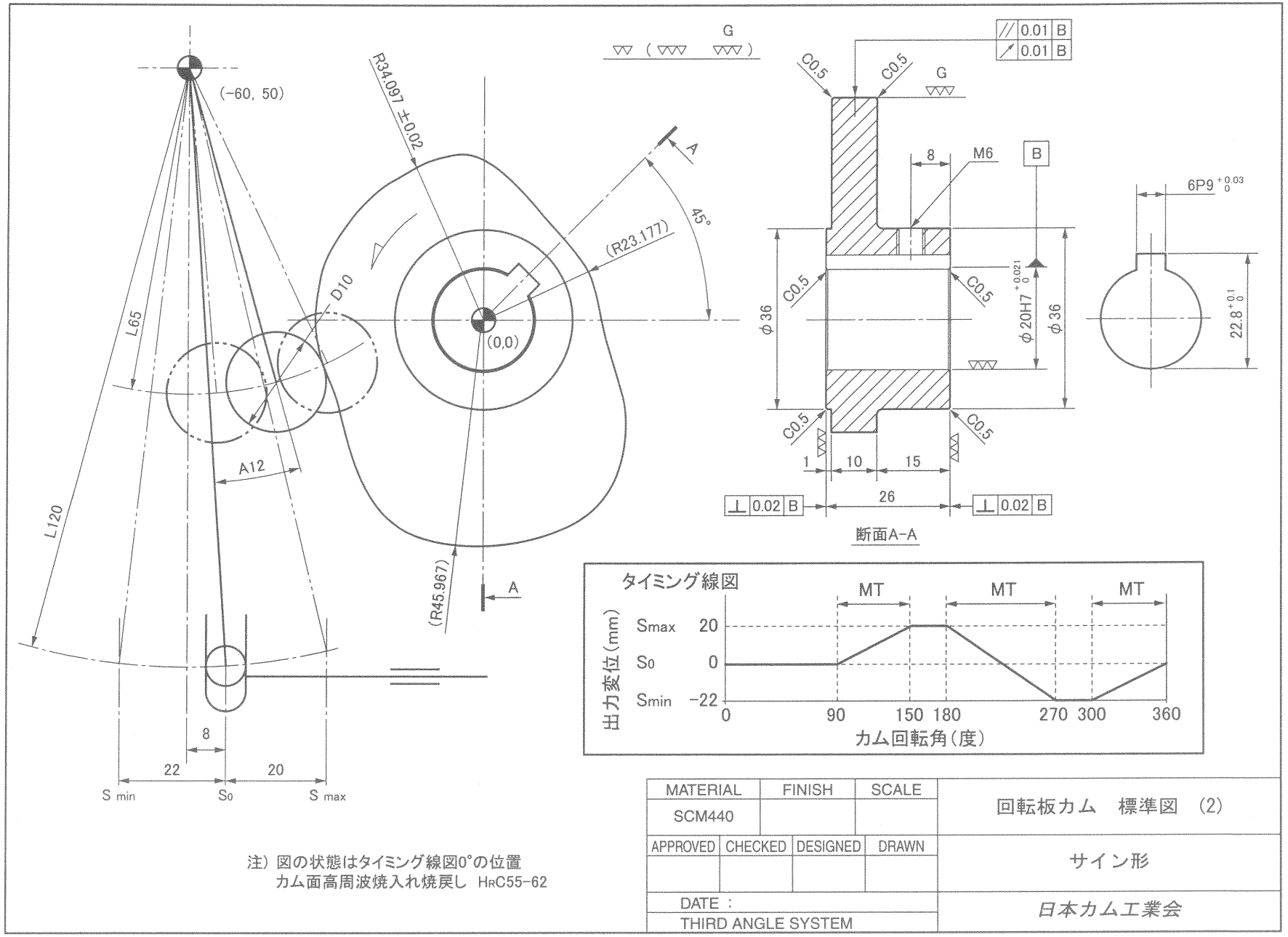


図4 カム図面の記入例〔その2〕

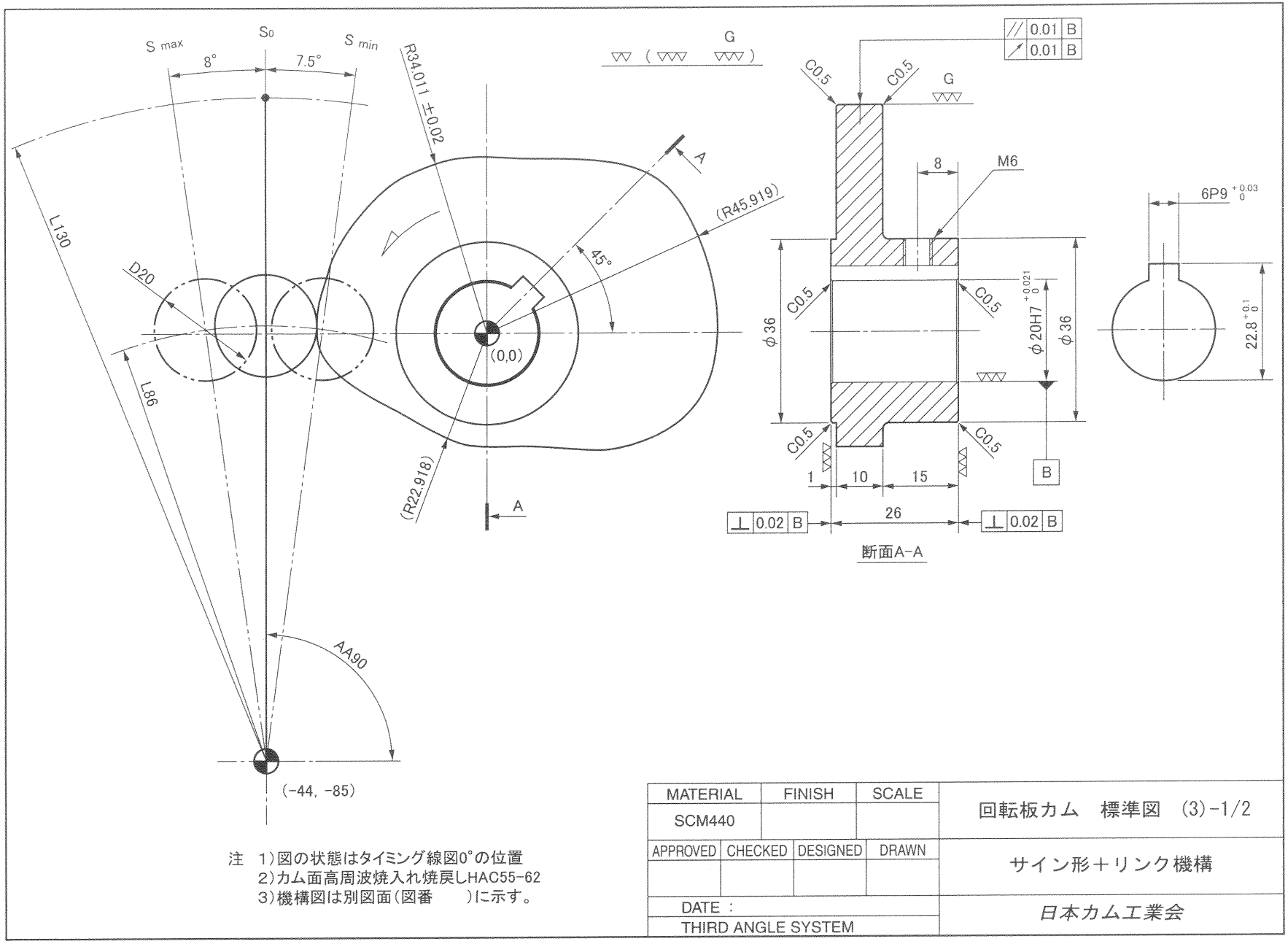


図５　カム図面の記入例〔その３（機構図が別図面の場合）〕（１）カム，カムフォロア表示部

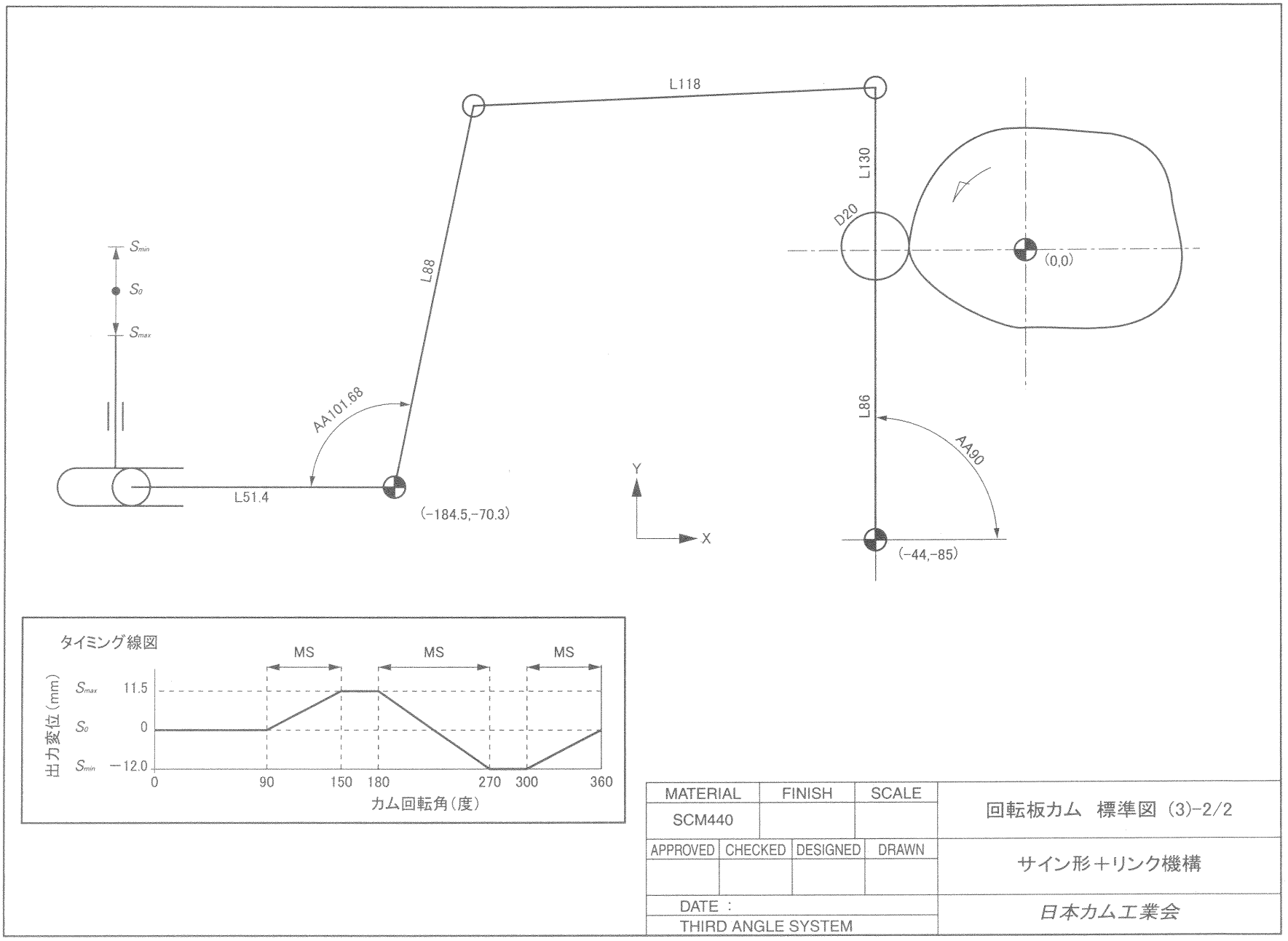

L118
L130
D20
(0,0)
L88
Smin
S0
Smax
AA101.68
L86
AA90
L51.4
(-184.5,-70.3)
Y
X
(-44,-85)
タイミング線図
MS
MS
MS
出力変位（mm）
Smax 11.5
S0 0
Smin −12.0
0
90
150
180
270
300
360
カム回転角（度）
MATERIAL
SCM440
FINISH
SCALE
回転板カム　標準図（3)-2/2
APPROVED
CHECKED
DESIGNED
DRAWN
サイン形＋リンク機構
DATE :
THIRD ANGLE SYSTEM
日本カム工業会

図5(2)　機構図

技術資料

参考文献

牧野　洋：カムの強度設計　機械設計（1979年12月号）日刊工業新聞社
牧野　洋：カム（の設計）　機械設計（1979年８月号）日刊工業新聞社
牧野　洋：カムリンク要素　機械設計（1979年８月号）日刊工業新聞社
牧野　洋：カムの設計実習講座　サブテキスト第４分冊　工業研究社
牧野　洋：自動機械機構学（1981年）日刊工業新聞社
牧野　洋：ユニバーサルカム曲線とその応用（1977年）山梨大学工学部研究報告分冊
中井英一：実用カム設計法（1957年）日刊工業新聞社
新編「機械の素」理工学社

株式会社 オオツカハイテック

本　　社　〒365-0027　埼玉県鴻巣市上谷1789
TEL 048-542-5555
FAX 048-569-2722

川里工場　〒365-0012　埼玉県北埼玉郡川里町上会下626
TEL 048-569-2711
FAX 048-569-2722

大阪営業所　〒532-0004　大阪府大阪市淀川区西宮原3-2-1
第2日研ビジネスマンション101
TEL 06-6393-1030
FAX 06-6393-1070

名古屋営業所　〒452-0833　愛知県名古屋市西区山木2-108
コスモハイツ1F
TEL 052-501-7271
FAX 052-504-0290

広島営業所　〒723-0052　広島県三原市宮浦6-20-22
ビルドエヌワン
TEL 0848-62-1822
FAX 0848-62-1833

北陸営業所　〒921-8831　石川県石川郡野々市町下林4-534
オフィスナカムラ
TEL 076-294-3115
FAX 076-294-3103

http://www.otsuka-hi-tech.co.jp/
2001年6月
No.1004
※本技術資料の無断複写、転用を禁じます。

OTSUKA
HI-TECH