

リンク機構

- 部材をいくつか組み合わせて、力や運動を伝える機構がリンク機構である。

出典：機械設計法 塚田忠夫等 共著 森北出版株式会社

1. リンク機構

リンク(節)とは

部材を**回り対偶**や**滑り対偶**によってつないだ機構である。このような部材を**リンク**(link)といい、**節**ともいう。

対偶(pair)とは

リンクとリンクのつながぎをいう。

リンクや支点の弾性変形はわずかであるとして、リンクや支点を剛体とみなす。

(a) てこ機構

図1はてこ機構といい、入力変位 δ_1 、出力変位 δ_2 の比をてこ比という。

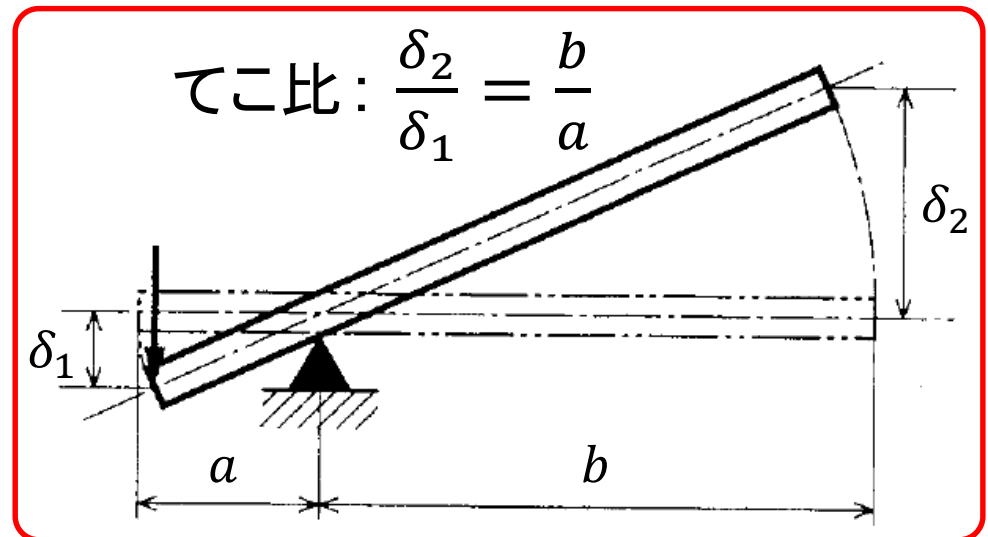


図1 てこ機構

(b) 連鎖(リンク機構)

- 静止リンクに対して、 360° 回転できるリンクを**クランク**(crank)といい、揺動(360° 未満の回転)するリンクを**てこ**(lever)という。
- リンクが対偶によってつながっている機構を**連鎖**(chain)といい、**リンク機構**ともいう。
- 図2(a)は三つのリンクからなる3節連鎖である。この連鎖では、リンクは動くことができないので、**固定連鎖**(locked chain)という。
- 図2(b)と(c)はそれぞれ四つと五つのリンクが回り対偶によってつながっているので、4節と5節連鎖である。

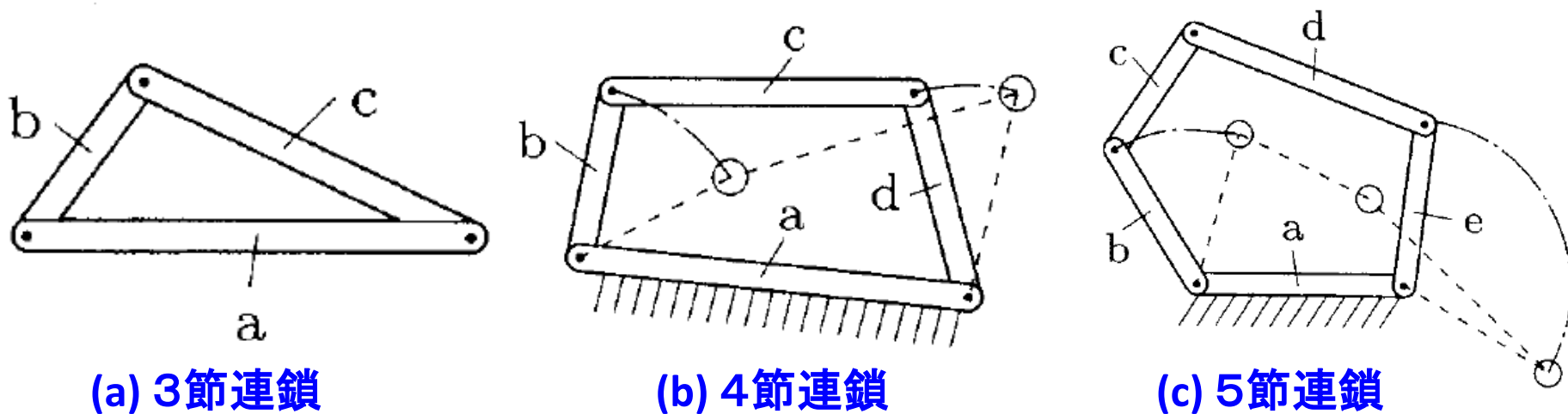
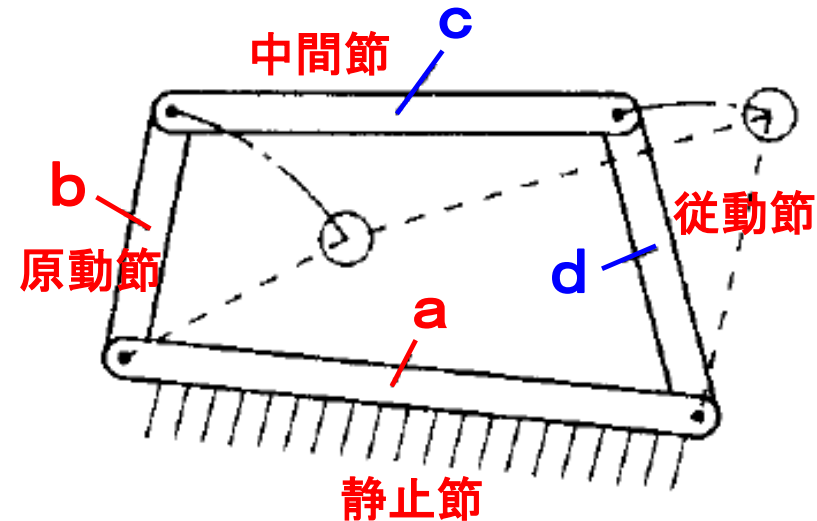


図2 連鎖

1自由度連鎖:

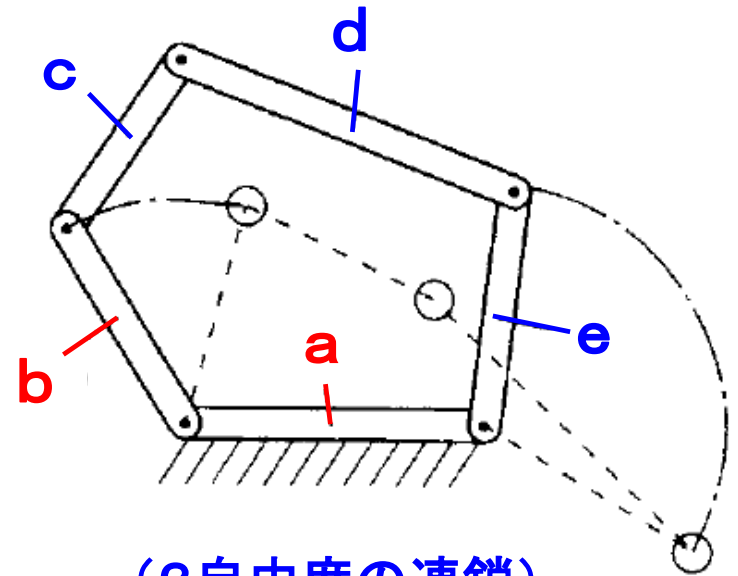
- リンク**a**を固定して、リンク**b**を回転させると、リンク**c**を介して、リンク**d**は決まった動きをする。この連鎖を**1自由度**の連鎖という(一つのリンクの動きが決まれば、ほかの動きが決まる機構)。
- リンク**a**を**静止節**(fixed link)、リンク**b**を**原動節**(driver)、リンク**c**を**中間節**(connector)、リンク**d**を**従動節**(follower)という。



(1自由度の連鎖)
4節連鎖

2自由度連鎖:

- リンク**a**を固定して、リンク**b**を動かしたとき、リンク**c**、**d**と**e**は自由に動くことができるので、この連鎖を**不特定連鎖**という。
- しかし、リンク**b**のほかにリンク**e**にも決まった動きを与えれば、リンク**c**と**d**の動きも決まる。
- 二つのリンクに動きを与えればすべてのリンクの動きが決まるので、この連鎖を**2自由度の連鎖**と呼ぶ。



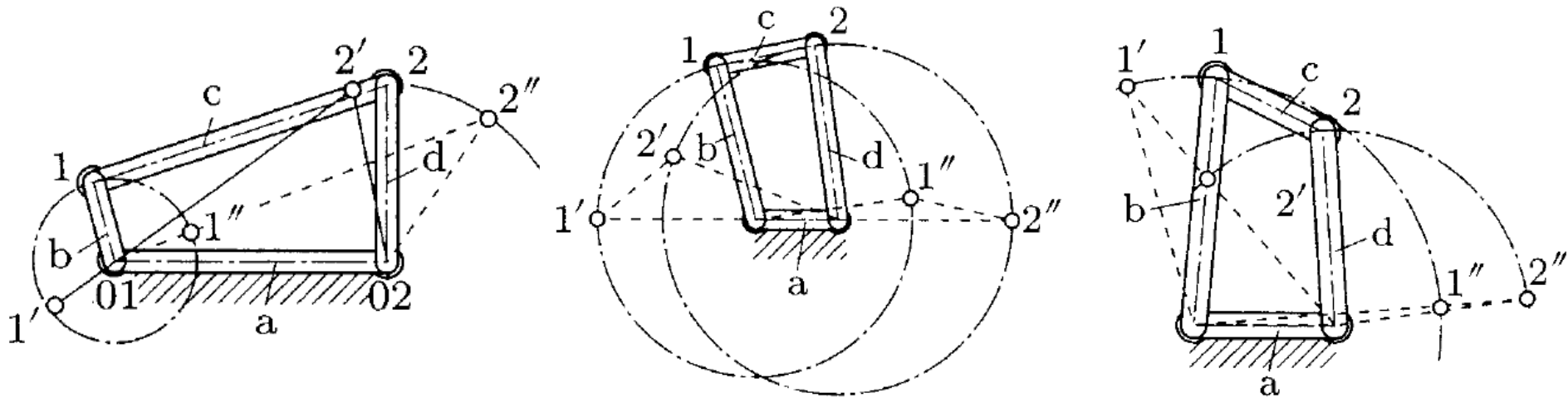
(2自由度の連鎖)

5節連鎖

2. 機構の交替

4節リンク機構は、固定するリンクの違いによって図3のような動きをする。

静止節を変えることを**機構の交替** (kinematic inversion) という。



(a) てこクランク機構

(b) 両クランク機構

(c) 両てこ機構

図3 機構の交替

(a) てこクランク機構

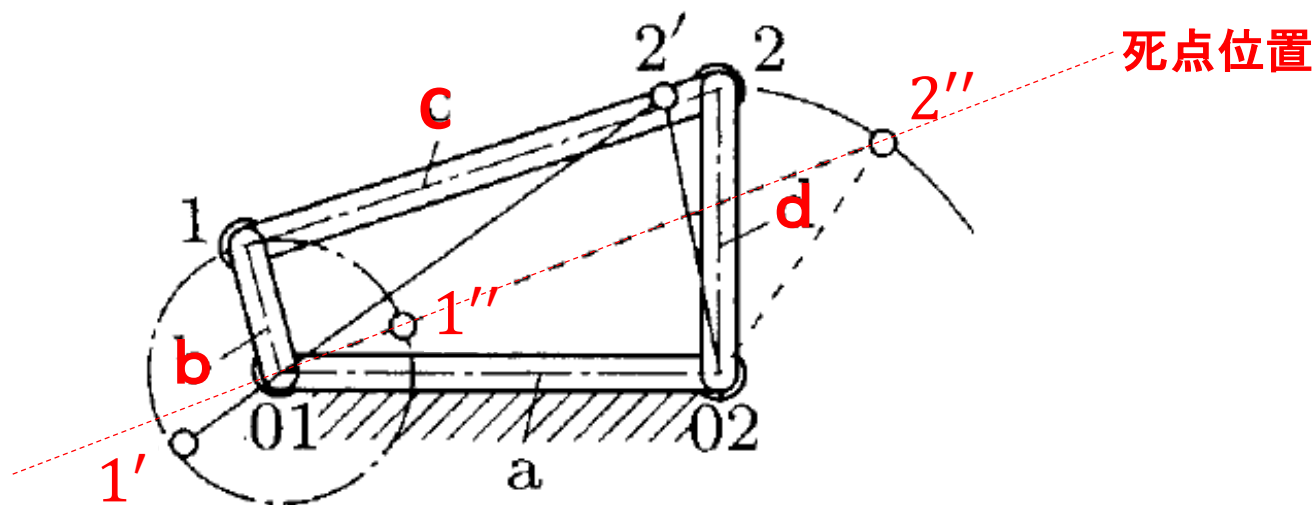


図4 てこクランク機構

- 図4では、リンク**b**が1回転するとリンク**d**は揺動運動するので、この機構を**てこクランク機構** (lever crank mechanism) という。
- リンク**d**を原動節、リンク**b**を従動節とする場合、リンク**b**と**c**が一直線になる**1'-1''-2''**の位置では、リンク**b**の回転方向が定まらなくなる。この位置を**思案点** (change point) 又は**死点** (dead point) という。

てこクラック機構の応用例:

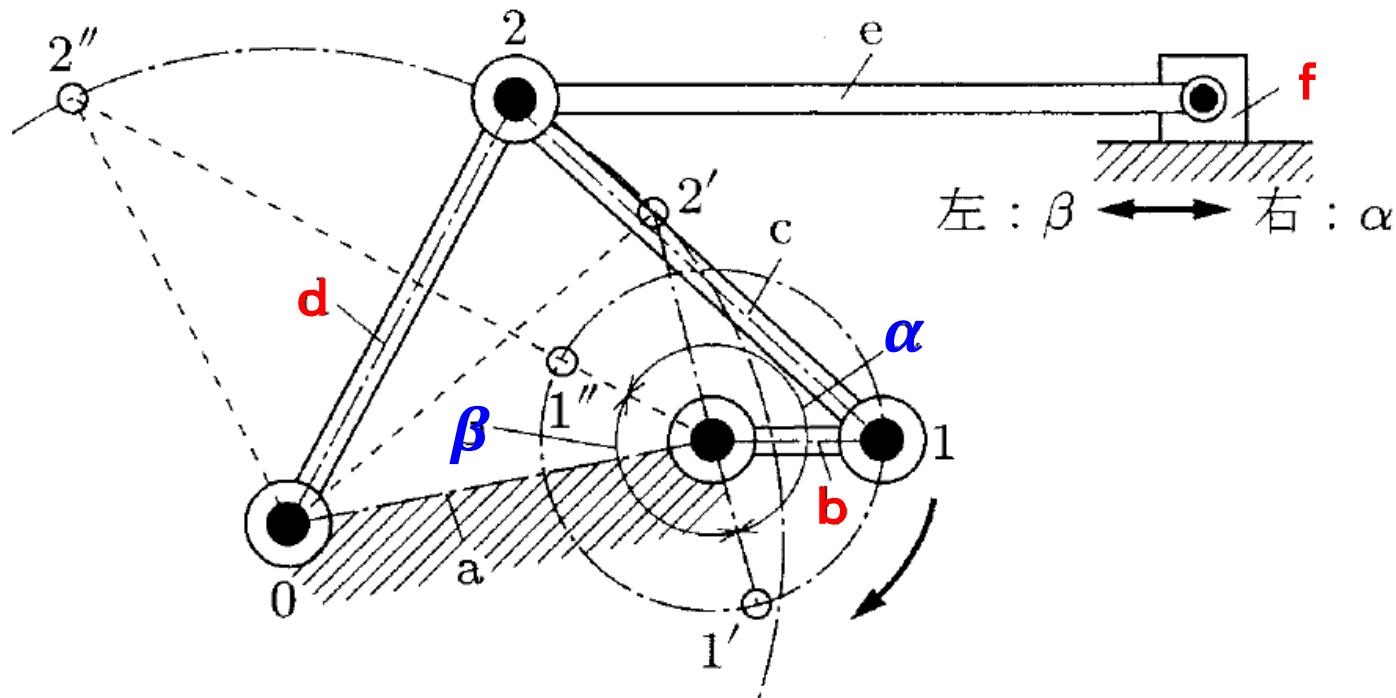


図5 早戻り機構(quick return motion)

クランク**b**が時計回りに一定の回転速度で回転すると、てこ**d**は $2'' \rightarrow 2'$ 、 $2' \rightarrow 2''$ の行程で揺動する。それぞれの行程に対応するクランク**b**の回転角を α 、 β とおけば、 $\alpha > \beta$ であるので、スライダ**f**は右へ行くときは遅く、左へ戻るときは速くなる。

(b) 両クランク機構

- 図6は両クランク機構 (double crank mechanism) という。
- リンク**b**と**d**が 360° 回転できる。

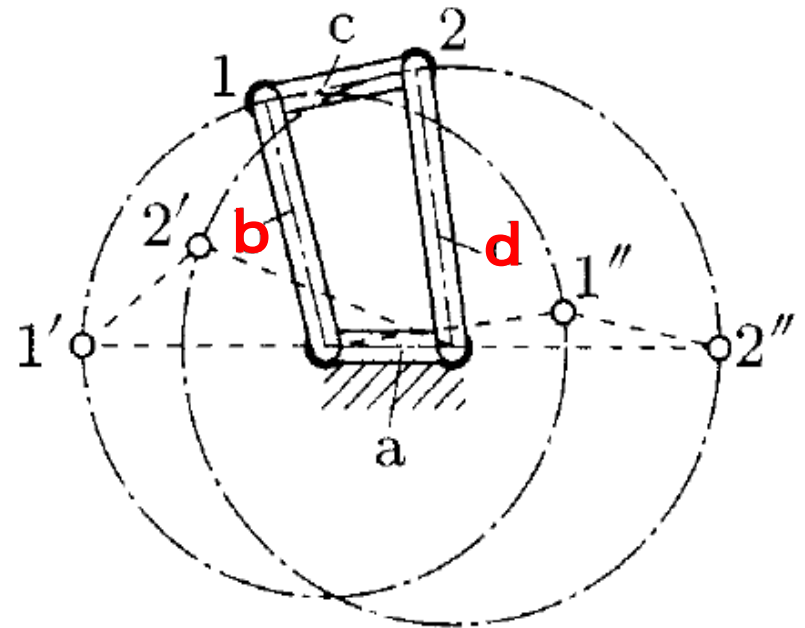


図6 両クランク機構

両クランク機構の応用例:

- 図7は両クランク機構を利用した例で、送風機 (blower) というものである。
- 六角形の軸はケースの中心 O_2 に対して偏心した位置 O_1 を中心に回転する。平板**c**は、一端を六角形軸の頂点に、他端を O_2 回りに回転するバー**b**につながっている。吸い込まれた空気は、矢印のように圧縮されて吐き出される。

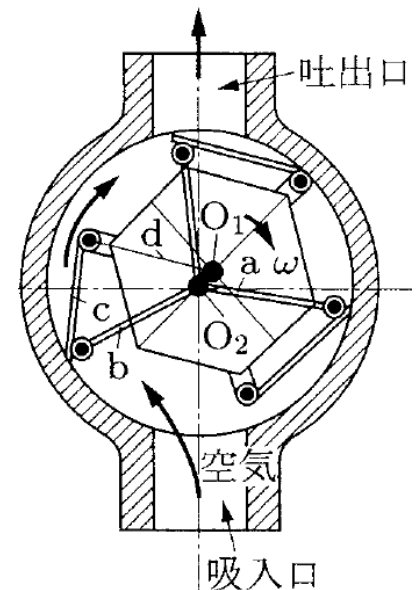


図7 送風機

(c) 両てこ機構

図8のように、原動節bと従動節dの両方が揺動する機構を両てこ機構(double lever mechanism)という。

この機構の応用例として、図9のかじとり機構(steering mechanism)があげられる。

両てこ機構の応用例:

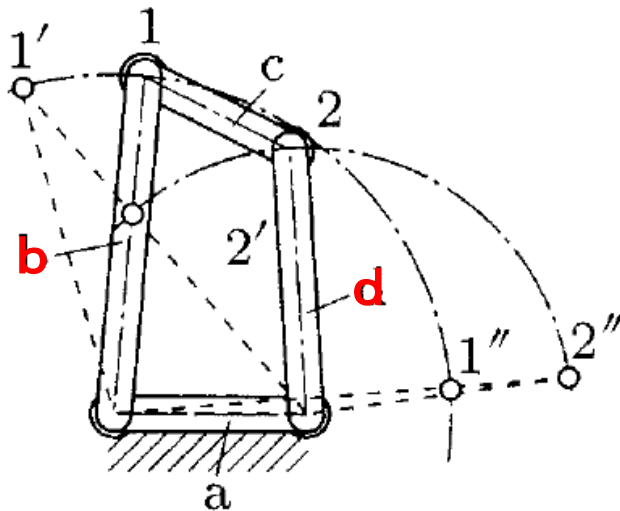


図8 両てこ機構

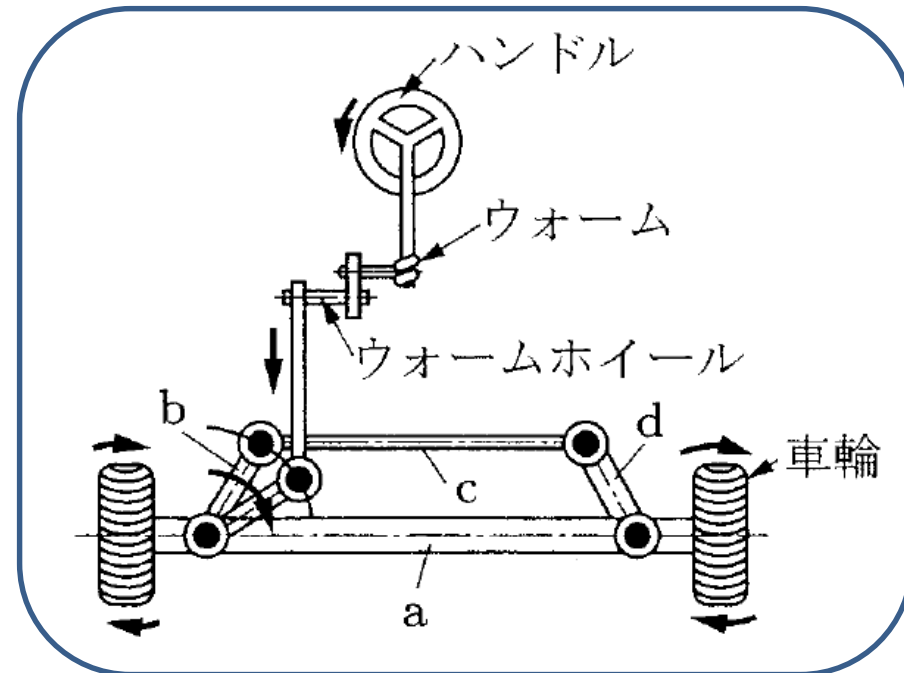


図9 かじとり機構

3. 滑り対偶を持つ4節リンク機構

(a) スライダクランク機構

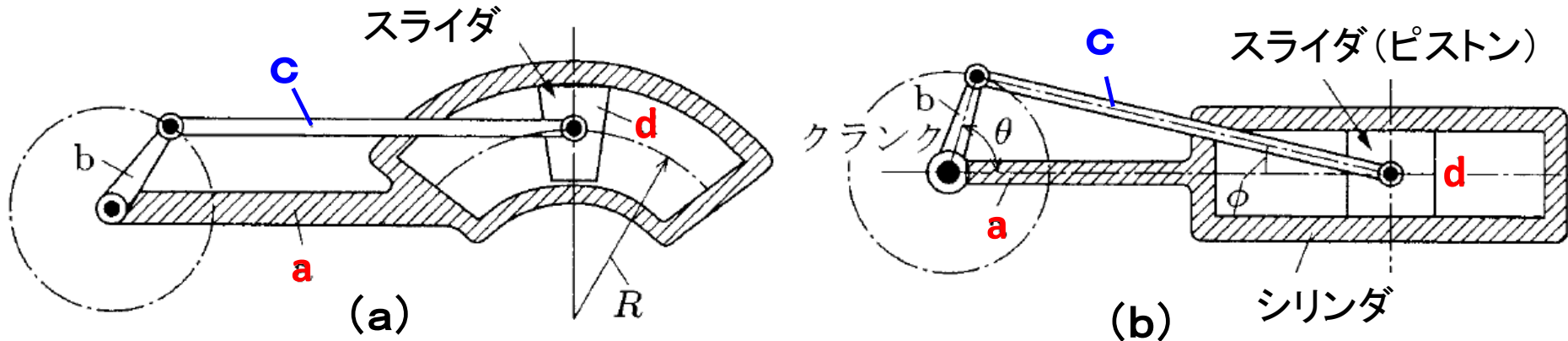


図10 スライダクランク機構

- 4節リンク機構のどれか一つの回り対偶を滑り対偶におきかえた機構をスライダクランク機構(sliding crank mechanism)という。
- 図10(a)でリンクaを固定し、リンクdを滑り対偶にすれば、図10(a)のような動きが得られる。リンクdをスライダ(sliding)という。
- リンクaの溝の半径 R を無限大にすれば、図10(b)のように、スライダは往復直線運動をする。代表的な例が内燃機関の往復動エンジン(reciprocating engine)であり、リンクcは接続棒(コネクティングロッド connecting rod)と呼ばれる。

(b) 揺動スライダクランク機構

- 図11は揺動スライダクランク機構(oscillating slider crank mechanism)であり、早戻り機構の一つである。
- 原動節**b**が時計回りに回転速度一定で回転すると、従動節**d**は **α** の回転角の範囲では**右方向**に動き、 **β** の回転角の範囲では**左方向**に動く。
- **$\alpha > \beta$** であるので、方向の動きが遅くなる。

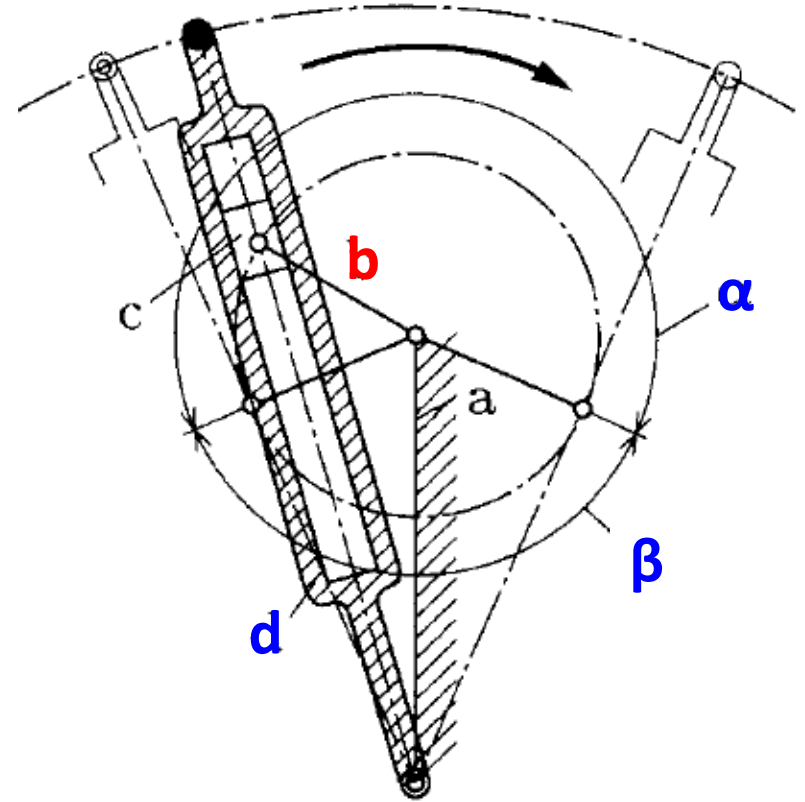


図11 揺動スライダクランク機構

(c) ダブルスライダクランク機構

- 4節リンク機構で、二つの回り対偶を滑り対偶におきかえた機構をダブルスライダクランク機構(double slider crank mechanism)という。
- 図12のように、スライダaとリンクd、スライダcとリンクdは滑り対偶になっている。
- この機構を利用した例が、図13のオルダム軸継手である。これは2軸の中心線が平行で大きくずれている場合に使用できる軸継手である。aを回転させるとdがaの溝に沿って動き、同時に、dはcの溝に沿って滑りながらcに運動を伝える。

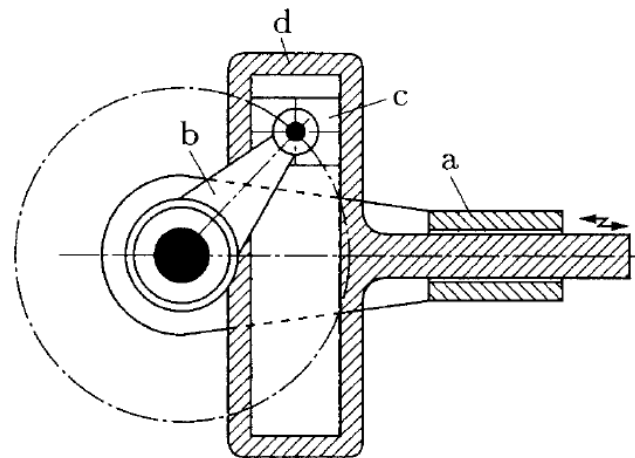


図12

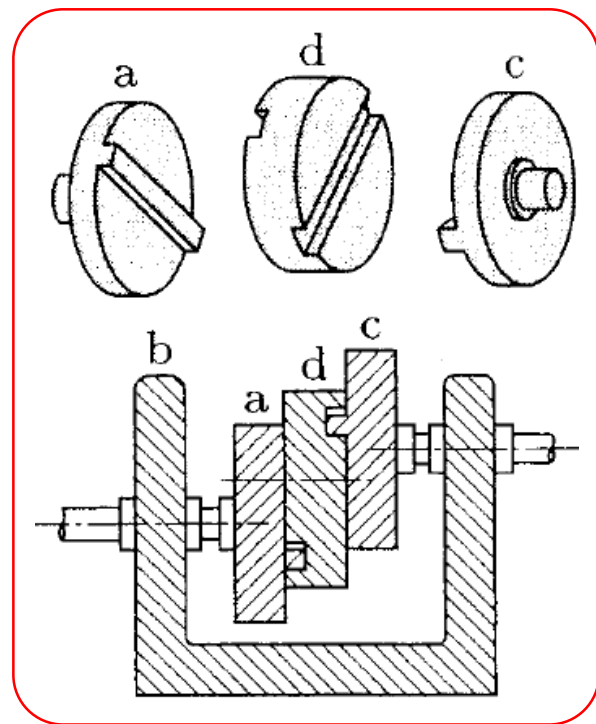


図13 オルダム軸継手

(d) クロススライダ機構

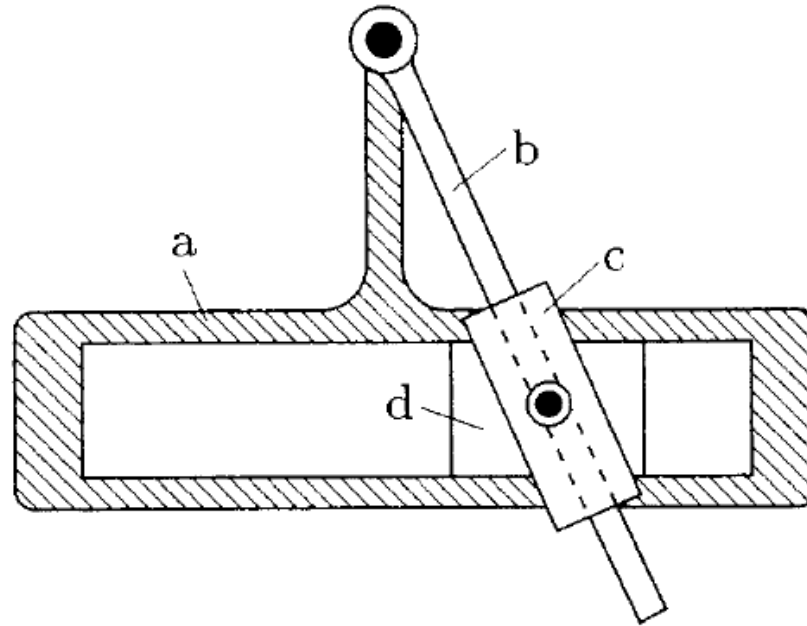


図14 クロススライダ機構

四つのリンクが一つの回り対偶と一つの滑り対偶をもつ図14に示す機構をクロススライダ機構 (cross slider mechanism) という。

4. 平行・直線運動するリンク機構

4節リンクの対向するリンクの長さを同じにした機構は平行クランク機構 (parallel crank mechanism) である。

図15において、リンクaを固定すると、リンクcはリンクaに対して平行に動く。

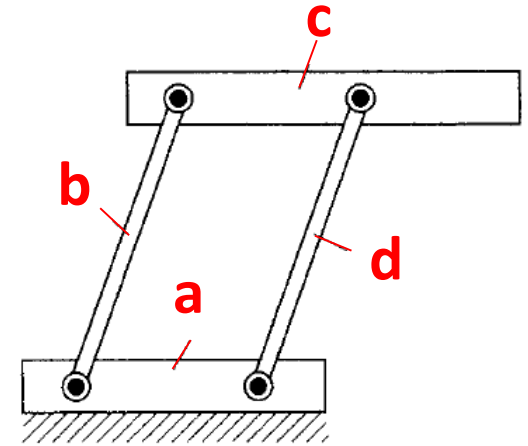


図15

応用例：

図16は製図板上のどこへでも平行線を描くことができるリンク式製図機械 (link type drafting machine) である。

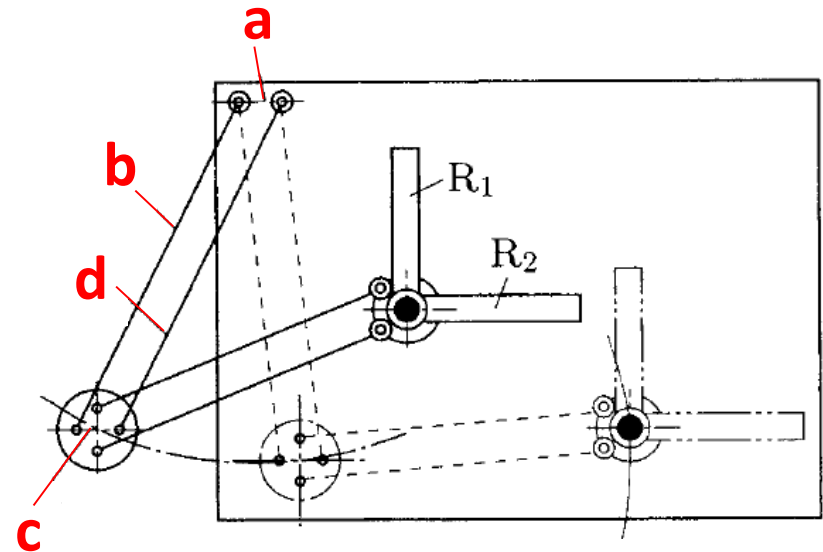


図16 リンク式製図機械

はかり

(a) ロバーバル秤

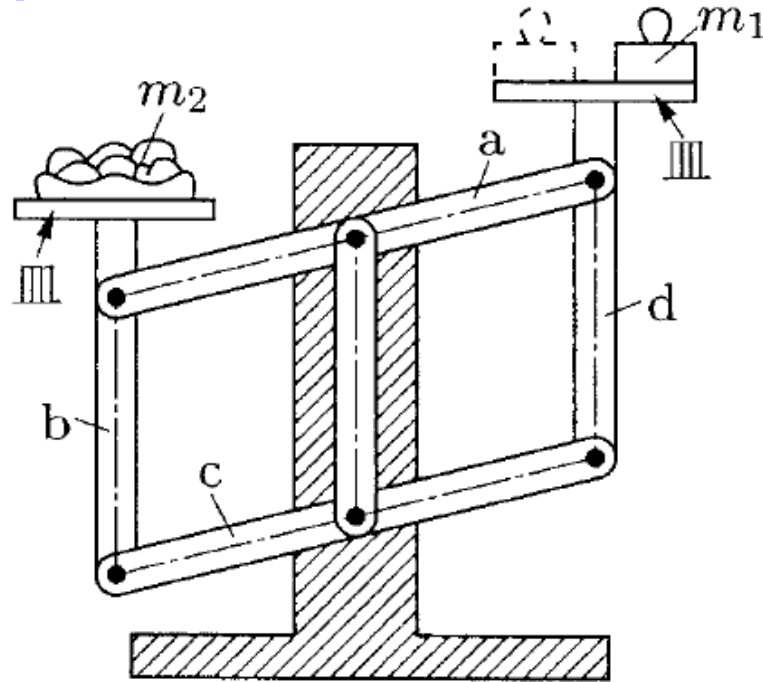


図17 ロバーバル秤

- 図17は平行四辺形のリンク機構の対向するリンクaとcの中央を回転支持して、左右の皿が平行に上下動するロバーバル秤(Roberval's balance)である。
- 図17の右側の皿のように、分銅 m_1 を皿のどの位置に置いてもつりあう。

(b) パンタグラフ

りょうけい

- 電車の屋上に取り付けられた菱形の集電装置や、図を拡大縮小する器具などをパンタグラフ (pantograph) という。図18は電車のパンタグラフの写真である。
- 図19の図を拡大縮小する器具で、 T_1 に取り付けた針で原図をなぞれば、 T_2 に取り付けたベンが $l_2/(l_1 + l_2)$ の割合で縮小された図を描き、 T_2 に針を取り付けて原図をなぞれば、 T_1 に取り付けたペンで $(l_1 + l_2)/l_2$ の割合で拡大された図を描くことができる。

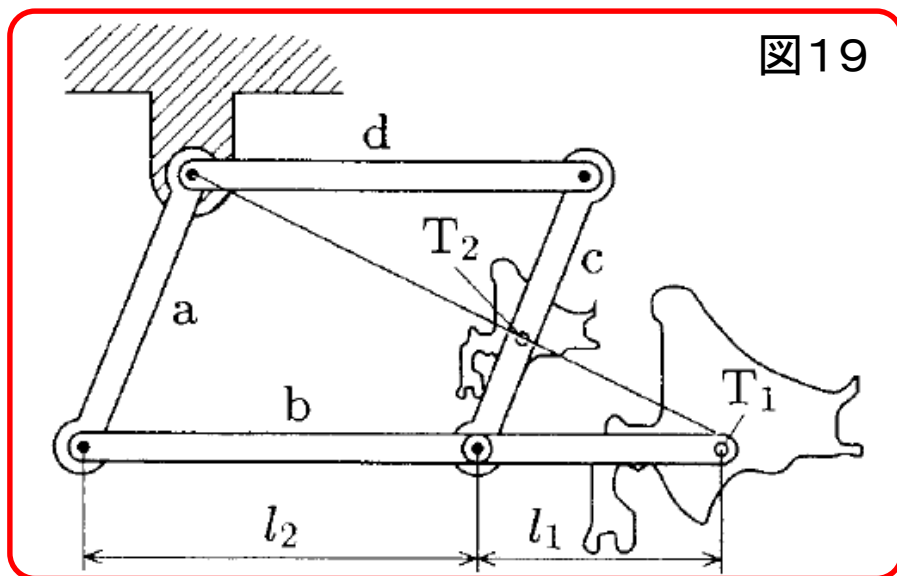


図18 電車用パンタグラフ

(c) 平行ばね機構

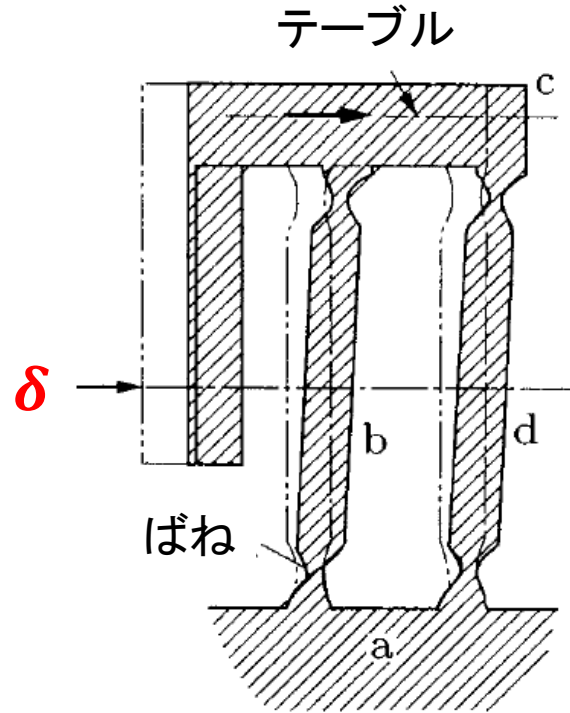


図20 平行ばね機構

図20は、4節リンク機構の回り対偶をばねにおきかえた平行ばね機構(parallel spring mechanism)である。変位 δ を与えると、テーブルは平行運動する。対偶での遊びや摩擦がないので、テーブルを微小変位させる場合に用いられる。

(d) スコットラッセル式直線運動機構

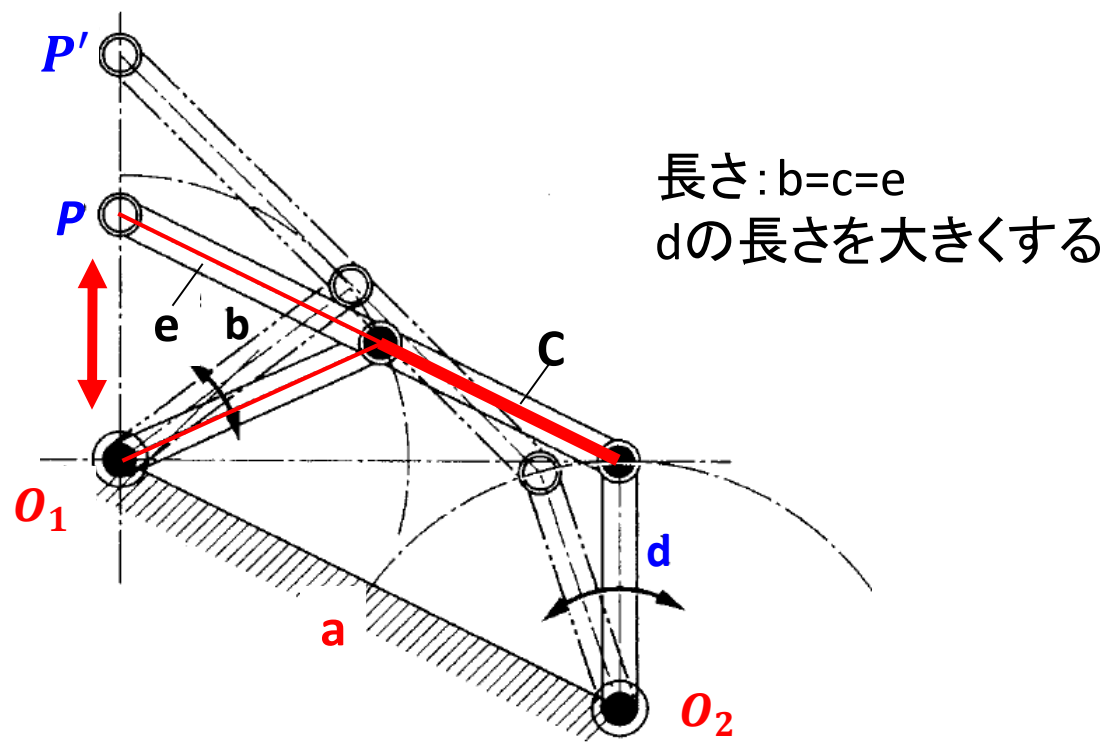


図21 スコットラッセル式直線運動機構

リンク**a**を固定してリンク**b**、**c**と**e**の長さを同じにし、リンク**d**の長さをできる限り大きくする。

リンク**b**を図のような位置を中心に狭い範囲で回転させると、点**P**は点 O_1 を通る直線に近い動きをする。

(e) レーzitong

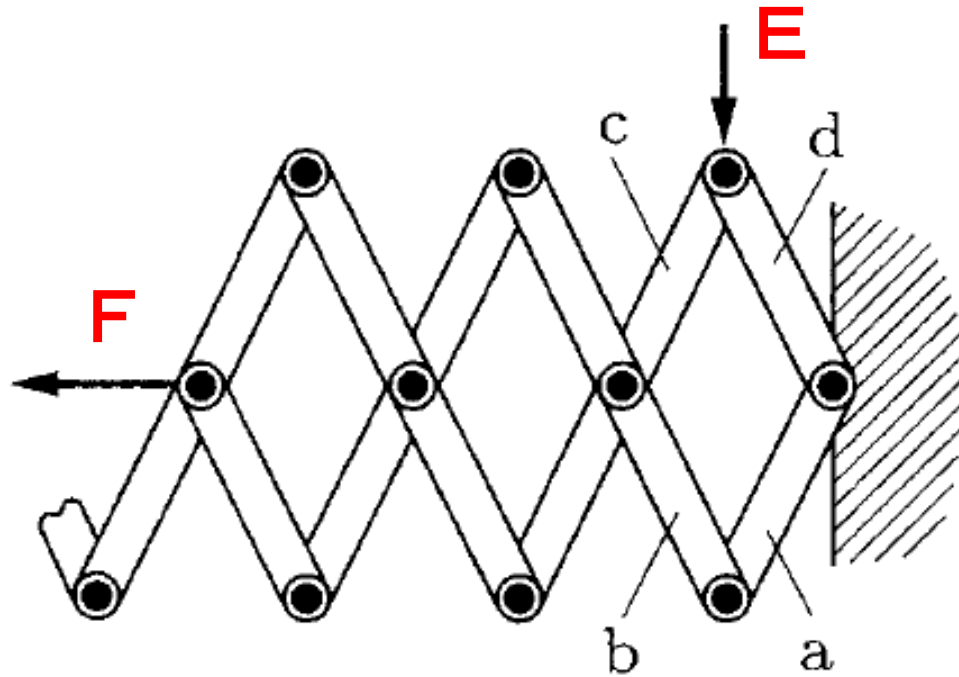


図22 レーzitong

- 図22は平行クランク機構を数多く組み合わせた機構で、レーzitong (lazy tongue) とよばれる。
- 点 E をわずかに動かすと、先端の点 F が水平方向に大きく移動する。門扉などに使われる。

5. 倍力装置

- 小さな力で大きな力を発生させる機構を**倍力装置**といい、トグル装置ともいう。
- 図23において、 θ が小さいとき、リンク**b**が回転すると、回り対偶**a**に働く力**F**のリンク**c**方向の分力 F_2 は非常に大きくなる。この大きな力の垂直分力 F_P をスライダ**d**に伝える。
- この機構は打抜きプレスなどに利用されている。

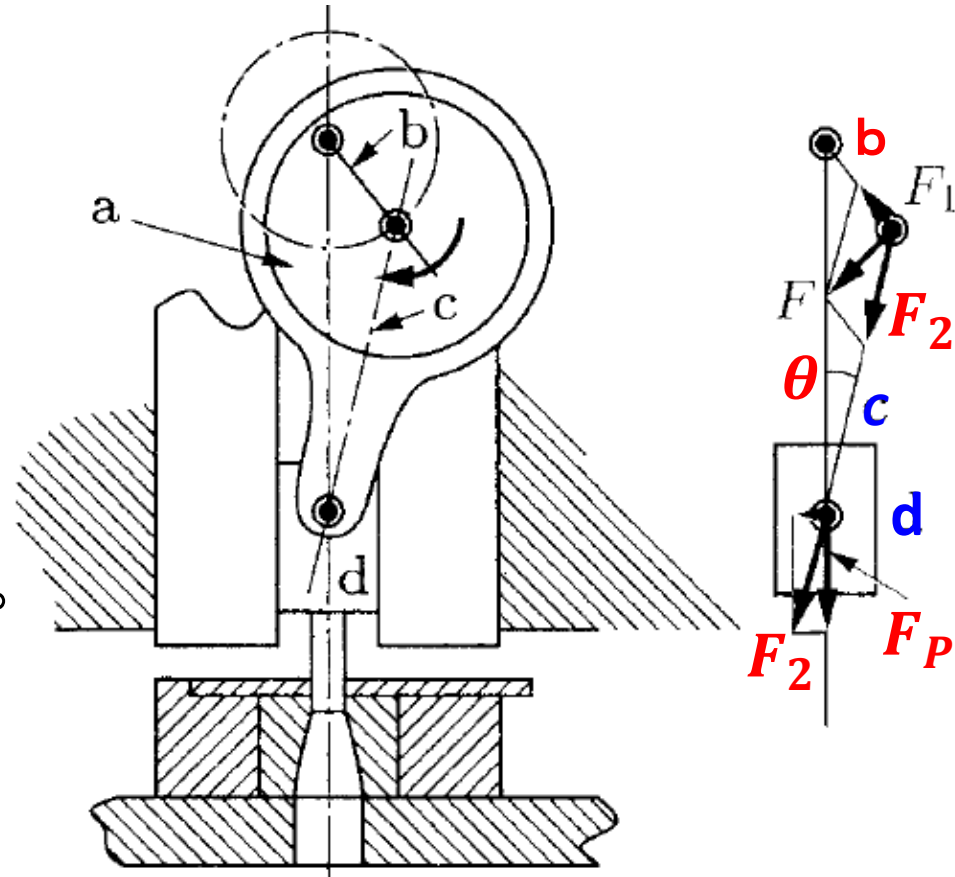


図23 倍力装置

カム機構

- 特定の形状をした板や円筒などを回転や往復動させ、これに接触する部材に決められた動きをさせる機構がカム機構である。

出典：機械設計法 塚田忠夫等 共著 森北出版株式会社

1. カム機構

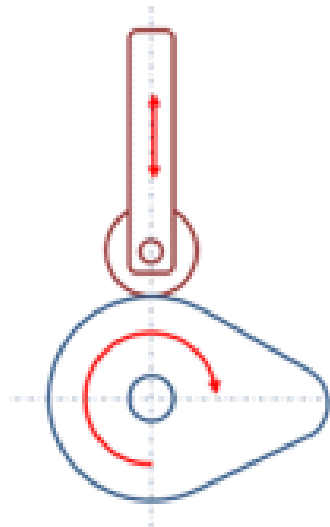
カム機構とは

回転運動を直線運動へ

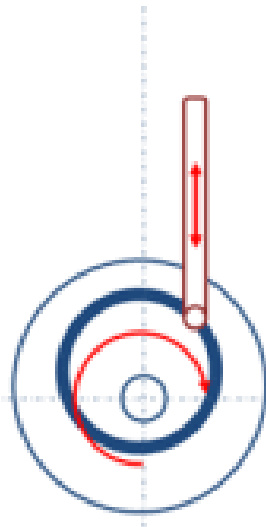
機械によっては、特定の動きをさせたり、ある時間だけ停止させたいという要求がある。

このような動きは、原動節の曲面や溝に従動節を接触させることによって得ることができ、原動節になる部材をカム(cam)という。

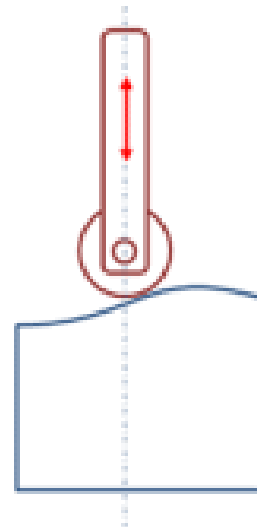
板カム



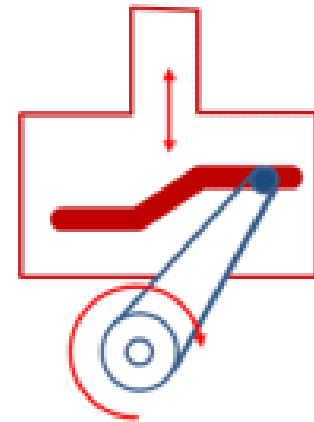
正面カム



直動カム



反対カム



2. カム機構の種類

- (1) **板カム**: 図1のように、板状のカムを板カム(plate cam)という。原動節aが回転すると、従動節bは上下方向に直線運動する。
- (2) **直動カム**: 図2は直動カム(translation cam)であり、原動節aが左右に直線運動すると、従動節bは上下方向に直線運動する。
- (3) **円筒カム**: 図3は円筒カム(cylindrical cam)であり、円筒の原動節aが回転すると、円筒の溝にはまっている従動節bが左右に動く。

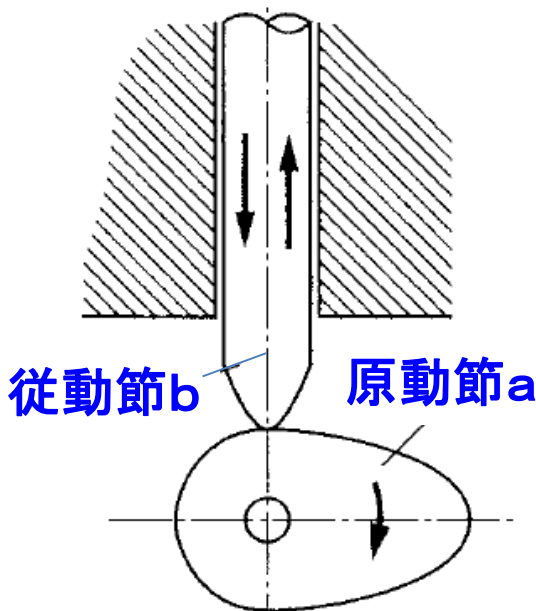


図1 板カム

図2 直動カム

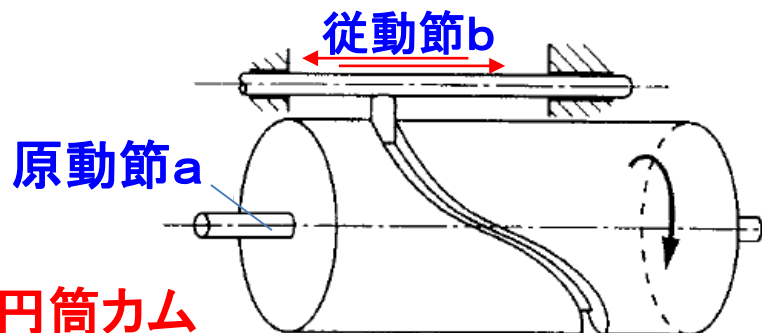
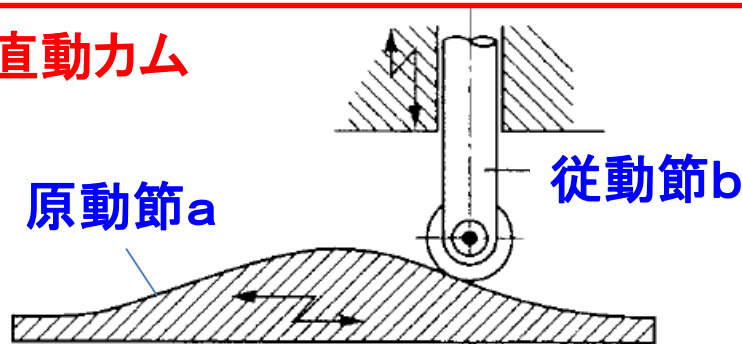


図3 円筒カム

3. カムの使用例

(a) 三角カム (triangle cam) :

- 図4は正三角形の頂点Oを中心
に回転する原動節aによって、従
動節bが上下動する三角カム
(triangular cam)である。
- カムの形は正三角形の三つの
頂点を中心に、半径Rとrの円弧
を接続させた等径ひずみ円であ
る。図のように、回転中心Oから
等距離にあるQSの区間では、従
動節は動かない。

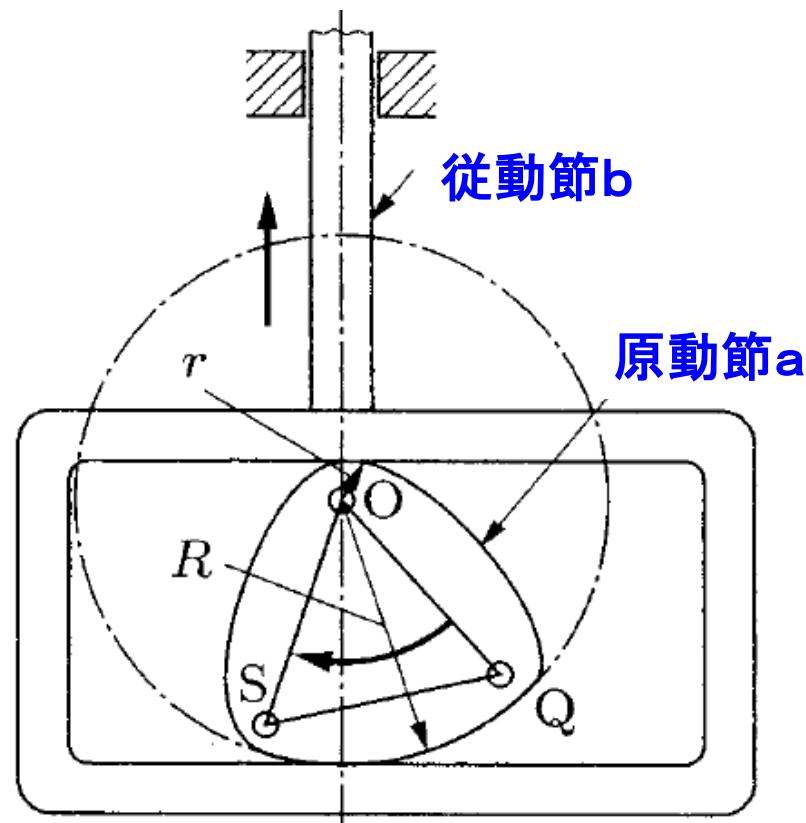


図4 三角カム機構

(b) ハートカム(heart cam):

- 図5のようにOを中心に原動節aを回転させると、従動節bは輪郭1-2-3-4-5に沿って上下方向に動く。カムの形がハート形であるので、ハートカムとよばれる。
- 輪郭をアルキメデス曲線 (Archimedes' spiral) にすれば、従動節bは等速度運動する。
- アルキメデス曲線とは、半径が回転角に比例して増える渦巻線をいう(図学を参照)。

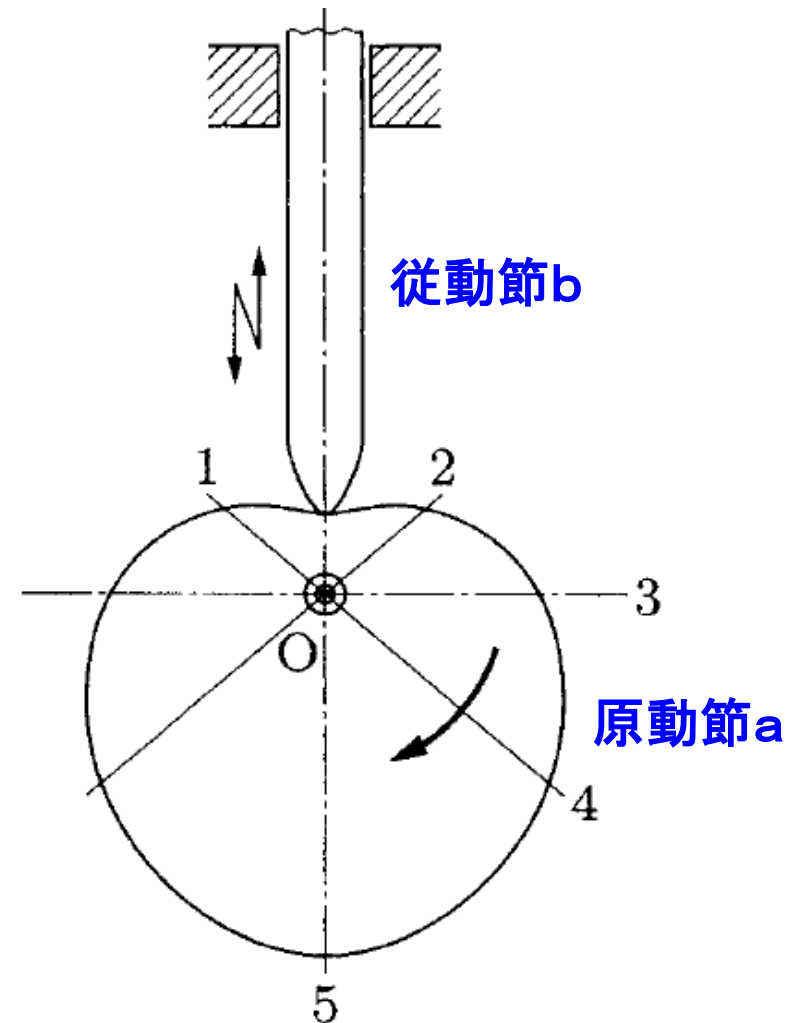


図5 ハートカム

4. 従動節の運動

カムと従動節の運動関係を表す図をカム線図という。

- **等速度運動**(uniform velocity motion):
図6(b)のように、従動節の速度が一定の直線運動をいう。この場合の**変位線図**では、カムの回転角と従動節の変位は比例する。ただし、従動節の加速度線図からわかるように、等速度運動の始めと終わりでは、加速度が非常に大きくなって衝撃が起こりやすくなる。そのため、図9のように、加速度が大きくなる部分の形状を円弧などに修正して加速度をやわらげる。このような修正を施した曲線を**緩和曲線**という。

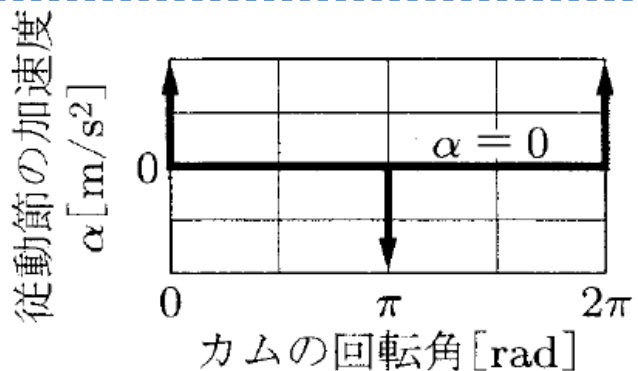
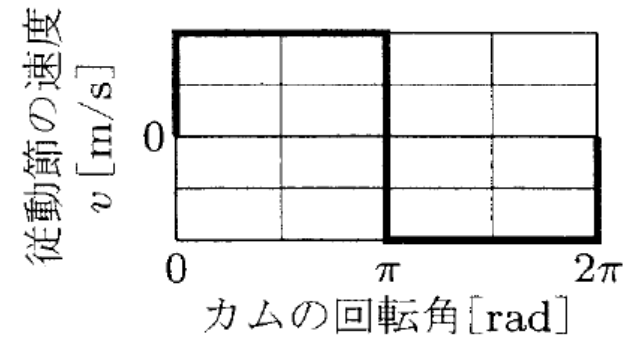
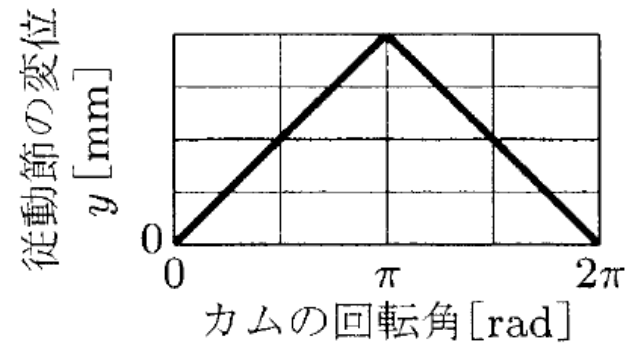
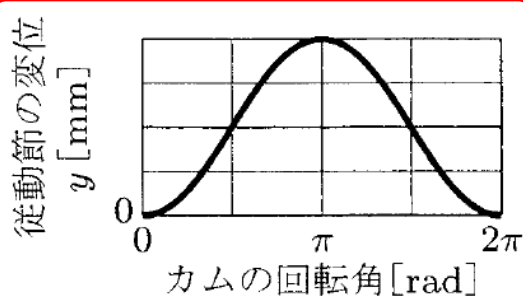


図6 カム線図

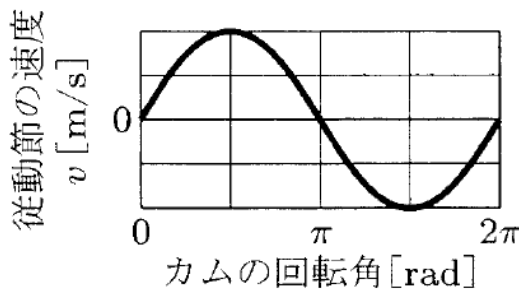
- **調和運動**: 図7のように、変位が正弦波状になる運動を調和運動 (harmonic motion) という。加速度線図からわかるように、加速度の変化がなめらかであるので衝撃は起こりにくい。

- **等加速度運動**: 加速度が一定になる曲線は2次曲線になる。等加速度運動 (uniform acceleration motion) のカム線図の例を図8に示す。回転の前半では等加速度で増速し、後半では等加速度で減速する。

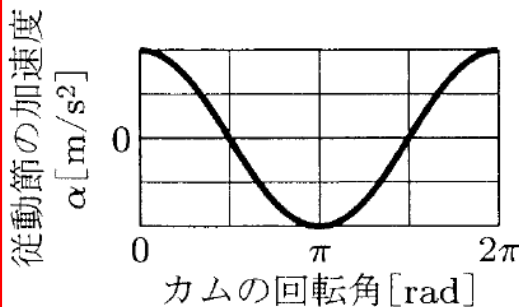
調和運動



(a) 変位線図



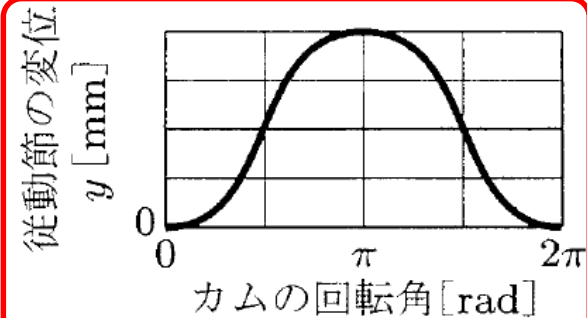
(b) 速度線図



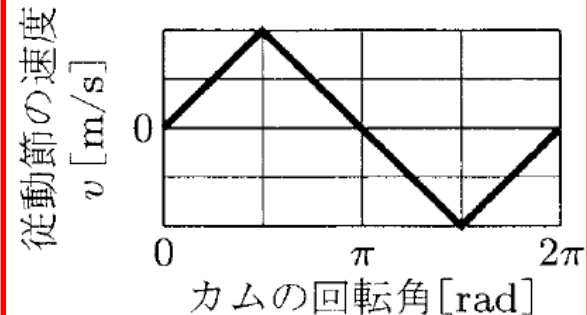
(c) 加速度線図

図7 カム線図

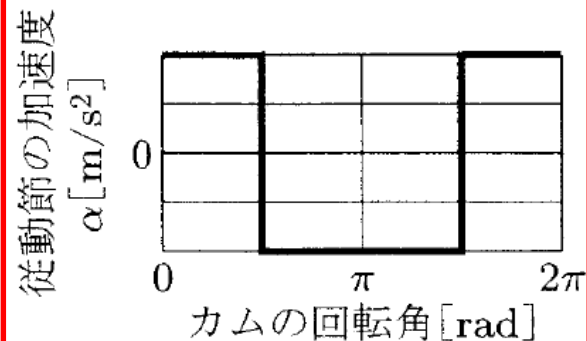
等加速度運動



(a) 変位線図



(b) 速度線図



(c) 加速度線図

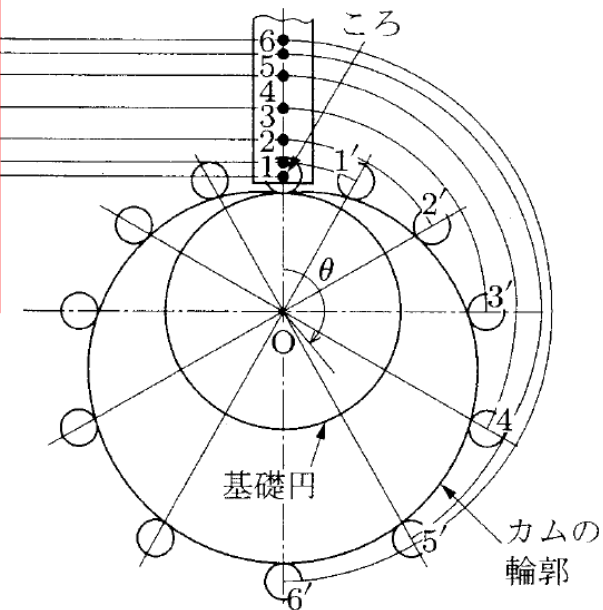
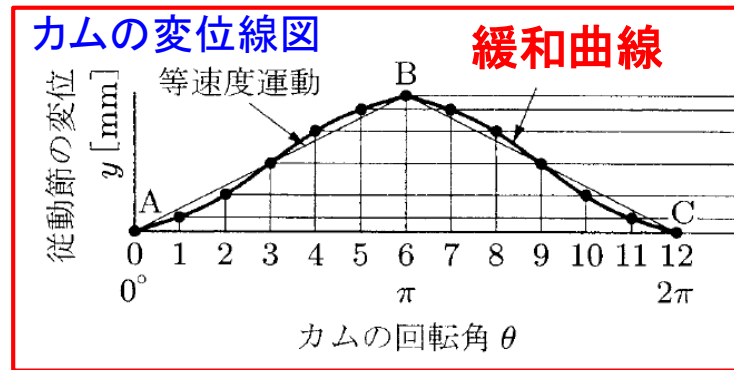
図8 カム線図

5. カムの設計

図9は等速度運動するカム変位線図であり、緩和曲線で示されている。このカム変位線図から、カムの形状を次の手順で決める。

- ① カム変位線図の横軸の1周分を図のように12等分し、各角度に対応する従動節の変位に印(図では●印)を付ける(リカム曲線を細かく分割するほうが正確なカムの形が得られる)。
- ② 従動節の変位をカムの中心Oを通り、横軸に垂直なy軸上に移す。
- ③ この変位をOを中心とする同心円上において、該当する回転角の位置に移す(図では1', 2', 3', ...)。

Oを中心とし、カムの輪郭に内接する円を**基礎円**という。



④ 移動した点に従動節のころの中心がくるようにし、ころに内側で接するなめらかな曲線を描いて、カムの輪郭とする。なお、ころはカムと従動節の間の摩擦や摩耗を小さくするために用いる。

図9 カム形状の設計

6. 例題

[問題] 図9のカム線図で、従動節の変位 y とカムの回転角 $\theta(= \omega t)$ の関係が次のように与えられている。

$$y = \frac{h}{2}(1 - \cos \theta) = \frac{h}{2}(1 - \cos \omega t)$$

従動節の速度 V 、加速度 a を式で表し、 $t = 1s$ における y 、 V 、 a を求めよ。ただし、 $\omega = 5 \text{ rad/s}(=286.5^\circ /s)$ 、 $h = 10\text{mm}$ とする。

[解] 変位 y : $y = \frac{h}{2}(1 - \cos \omega t)$

速度 V : 変位 y を時間で微分して、 $V = \frac{dy}{dt} = \frac{h}{2} \omega \sin \omega t$

加速度 a : 速度 V を時間で微分して、 $a = \frac{dV}{dt} = \frac{h}{2} \omega^2 \cos \omega t$

$t = 1s$ における値:

変位 $y = 0.005 \times 0.716 = 3.58 \times 10^{-3}[\text{m}] = 3.58 \text{ [mm]}$

速度 $V = 0.005 \times (-4.779) = -24 \times 10^{-3} \text{ [m/s]}$

加速度 $a = 0.005 \times 7.1 = 35.5 \times 10^{-3} \text{ [m/s}^2\text{]}$.

7. 間欠運動機構

- 原動節が一定の回転で、従動節に間欠運動をさせたい場合には、間欠運動機構を用いる。
- 図10はゼネパ機構(Geneva mechanism)と呼ばれる間欠機構で、ピンが歯車の歯の役目をし、従動節の溝にはまって従動節を回転させる。ピンが溝から外れる瞬間に外周の円弧がかみあって、従動節の回転を止める。
- 図11は間欠歯車装置(intermittent gear drive)で、原動歯車の一部を円弧にし、従動歯車の円弧部分とかみあって従動歯車の回転を止める。原動歯車の歯の部分があると、従動歯車の歯とかみあって従動歯車が回転する。

