

## 第4章 基本的な機械要素演習

## 第4章

### 基本的な機械要素演習

学習のねらい  
各種のメカニズムを理解することを目標とする。  
メカニズムの構造だけでなく運動特性などの面から  
理解を深める。

- 第1節 機械、機構とは
- 第2節 機械の運動
- 第3節 機械システムの特性
- 第4節 基本機構システムのメカニズムとその実例

4-1

#### 【章全体のねらい】

各種のメカニズムを理解することを目標とする。  
構造の理解だけでなく運動特性などの面から理解を深める。

#### 【章全体の解説】

各種メカニズムの構造及び運動特性の観点から理解することを目的とする。

- 第1節 機械、機構とは
- 第2節 機械の運動
- 第3節 機械システムの特性
- 第4節 基本機構システムのメカニズムとその実例

## 第1節 機械、機構とは

学習のポイント  
メカニズム設計を進めるにあたって、機械、機構の定義や  
基本的用語を再考する。

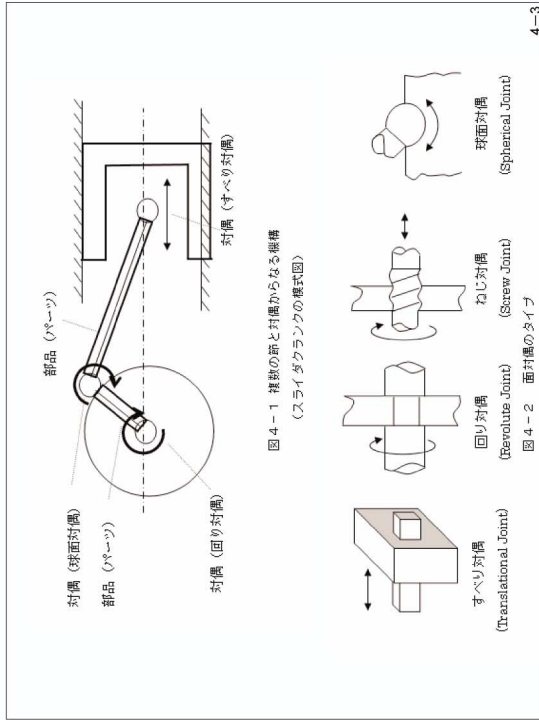
4-2

#### 【節全体のポイント】

これから、メカニズム設計を進めていくにあたって、基本的な定義の意味を考えてみる。

#### 【節全体の解説】

機械とは何か？ 機構との違いなどを基本に戻って考えてみる。



4-3

**【ポイント】**

機構とは、2パーツ以上から構成され、入力を何らかの有益な形に変換して出力するシステムと考えられる。そして、それを実現する手段がメカニズムまたは機構であると考えられる。

**【解説】**

具体的には、機構は2パーツ以上の部品（剛体でも弾性体でもよい）が抵抗し得る物体の結合体であり、各部品は接続部で相対的に拘束されている必要がある。機構の世界では、各部品（パーツPartsまたはボディBody）のことを節（リンクLink）といい、部品間の相対拘束部を対偶（ジョイントJoint）と呼ぶ。代表的なスライダランク機構を例に示す（図4-1）。

また、部品同士は面で接触し、力を伝達したり拘束し合っている。面対偶としては大きくこの4種類がある（図4-2）。

## 第2節 機械の運動

学習のポイント  
メカニズム設計を進めるにあたって、運動の分類、自由度の概念を理解する。

### 運動の分類

4-4

**【節全体のポイント】**

運動の定義を再確認する。具体的なイメージは3節以降で表機を使って理解する。

**【節全体の解説】**

運動の分類はいろいろな観点から定義できる。自由度の違いによる分類もある。

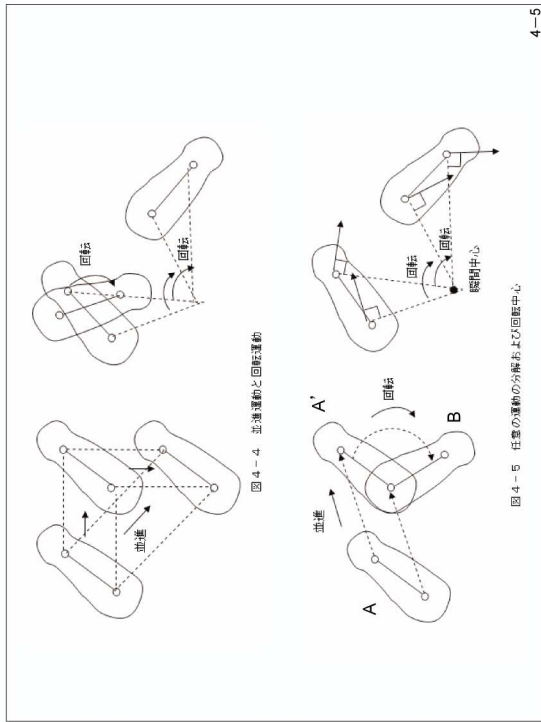


図 4-4 並進運動と回転運動

図 4-5 任意の運動の分解および回転中心

【ポイント】  
解説参照

【解説】

一見複雑に見える動きも運動部分を分解してみると、実は比較的単純な運動の組み合わせであることが分かる。部品自体の運動は、並進運動(translation)と回転運動(rotation)に分解できる。逆に言えば、任意の運動は並進運動と回転運動の組み合わせで表現可能である(図4-4)。

例えば、図4-5で、Aの状態からBの状態への運動は一度、A'に並進移動後に回転をすれば得られることが分かる。また、回転運動を伴うものには、瞬間中心(instantaneous center)が存在し、部品内の2箇所の運動方向が分かればその速度ベクトルと直交する線の交点として求めることができる。

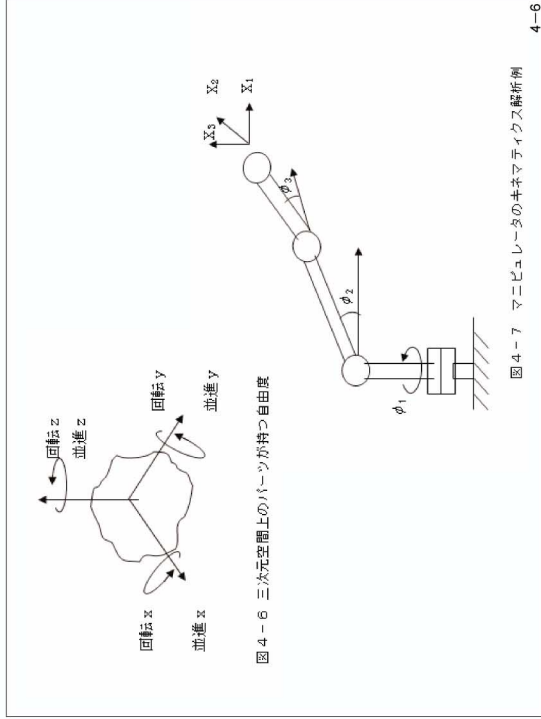


図 4-6 3次元空間上のパーツを持つ自由度

図 4-7 マニピュレータのキネマティクス解析例

【ポイント】

自由度の意味と自由度による運動の分類を理解する。

【解説】

前述のように、部品の任意の運動は平面内の運動であれば、並進2方向(紙面上での左右方向と上下方向)と回転1方向(紙面に法線方向軸回りの合計3方向の動き)に分解できる。この運動できる各方向成分の数を自由度(degrees of freedom)という。3次元空間上にあるフリーな部品は、並進3方向(X軸,Y軸,Z軸方向)と回転3方向(X軸,Z軸回りの合計6方向の動き成分があるので、6自由度を持つことになる(図4-6)。

機構を自由度という観点から見ると、以下の分類がある。システムの自由度0の状態を扱うのが、キネマティクス解析(Kinematics Analysis)または機構学(Mechanism)と呼ばれる。自由度0とは、必ずしも静止状態ではないことに注意が必要である。自由度が1以上の問題をダイナミクス解析(Dynamics Analysis)または動力学(Dynamics)と呼ぶ。ダイナミクス解析の特別な場合として、運動が静的に釣り合い状態にあり慣性力や減衰力を無視できる問題を静的釣り合い解析(Static Analysis)と呼ぶ。

ロボットマニピュレータの場合、各関節の回転角が決まっており、その際アーム先端の運動を求める問題が順解析(順問題)という。逆に、アームの先端の運動を規定した際の各関節角度を求めるのが逆解析(逆問題)という(図4-7)。

## 第3節 機械システムの特性

**学習のポイント**  
 メカニズムを評価するための指標について理解し、その評価指標の一つである運動特性の観点から速度特性と力特性の概要について理解する。

- 3-1 機械の運動学
- 3-2 メカニズムの特性
- 3-3 速度特性と力特性

4-7

## 3-1 機械の運動学

メカニズムとは、入力された動力を変換し何らかの力で出力をする変換部分のこと。入力と出力を時間の関係式であらわすと、変位、速度、加速度になる。

直進運動の関係式

変位 (mm)	$s = s(t)$
速度 (mm/s)	$v = v(t) = \frac{ds}{dt} = \dot{s}$
加速度 (mm/s <sup>2</sup> )	$a = a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \ddot{s}$

回転運動の関係式

角変位 (rad)	$\theta = \theta(t)$
角速度 (rad/s)	$\omega = \omega(t) = \frac{d\theta}{dt} = \dot{\theta}$
角加速度 (rad/s <sup>2</sup> )	$\dot{\omega} = \dot{\omega}(t) = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$

4-8

### 【節全体のポイント】

第4節の様々なメカニズムを理解するために運動特性(特に速度特性と力特性)を理解する。

### 【節全体の解説】

運動特性からメカニズムの特徴を理解するために、速度特性と力特性について理解する。

### 【ポイント】

運動特性を理解するために運動学の関係式を理解する。

### 【解説】

スライド参照

## 運動学の関係式

カ・トルクの関係式

運動方程式	$m \times a = F$ $m$ : 質量、 $a$ : 加速度、 $F$ : 力
角運動方程式	$I \times \omega = T$ $I$ : 慣性モーメント、 $\omega$ : 角速度、 $T$ : トルク

接線速度、接線加速度、法線加速度の関係式

接線速度	$v = r\omega$ $v$ : 接線速度、 $r$ : 半径、 $\omega$ : 角速度
接線加速度	$a_t = r\alpha$ $a_t$ : 接線加速度
法線加速度	$a_n = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$ $a_n$ : 法線加速度

4-9

### 【ポイント】

運動特性を理解するために運動学の関係式を理解する。

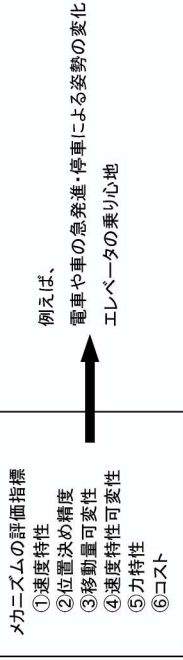
### 【解説】

スライド参照

## 3-2 メカニズムの特性

設計とは？

何らかの目的を達成するために、具体的な手段や方法を考えながら全体構成を考えること  
その構成するメカニズムの判断材料として...



メカニズムの持っている速度特性は、加速度特性や力特性に影響を与える

4-10

### 【ポイント】

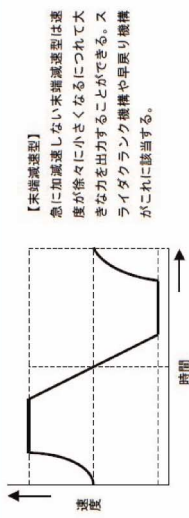
メカニズムを分類する評価指標について理解する。

### 【解説】

機械の運動は前述のように並進運動や回転運動および揺動運動に分類することができ、これらを組み合わせさせてメカニズムを設計を行う。メカニズムの設計で考慮する点は、これらの組み合わせだけでなく、①機構学、②機械運動学、③機械動力学などを統合した知識が必要となり、特に自動化機械などの設計ではその評価指標として6つの項目が挙げられる。

この6つの指標の中で重要な項目は、速度特性である。これは速度特性は加速度や力特性に影響を与え、例えば高激な速度の変化などは電車やエレベータの乗り心地などに影響を与えることになる。

### 3-3 速度特性と力特性



4-11

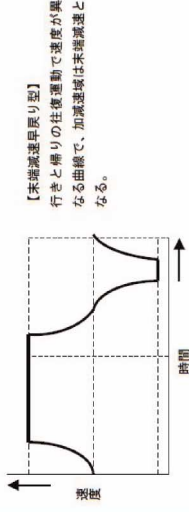
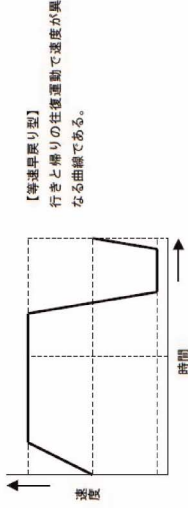
#### 【ポイント】

速度特性とメカニズムの分類について理解する。

#### 【解説】

等速型速度特性は、加減速域では急激な変化を伴う(加速度が大きい)が、等速運動時には加速度は0になる。

末端減速型は、速度が徐々に小さくなるにつれて大きい力を得ることができる。スライダクランク機構や早戻り機構、トグル機構などが該当する。トグル機構は 26ページを参照すること。



4-12

#### 【ポイント】

速度特性とメカニズムの分類について理解する。

#### 【解説】

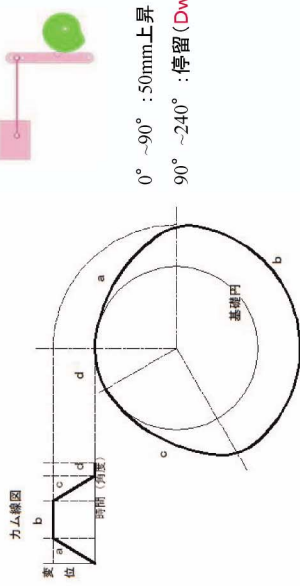
等速早戻り型は、行きと帰りで速度が異なる曲線である。

末端減速早戻り型は、行きと帰りで速度が異なる曲線である。加減速域は末端減速となり力が大きくなる。

## カム線図とカムの輪郭

カムを設計するには、従動節が原動節に対してどのような運動をするかを定義する。

→カム線図 横軸：時間(角度)、縦軸：従動節の変位 であらわした図  
 スライダの並進運動にカム線図にある運動を与え、その始端と終端を滑らかに結ぶことでカムの輪郭を導く



4-29

### 【ポイント】

従動節の運動を表したカム線図とカムの輪郭形状の関係について理解する。

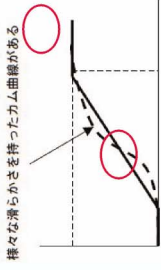
### 【解説】

カムを設計するには、機構を選択した後に従動節の運動を定義する必要がある。これをカム線図、あるいはタイミング線図と言う。横軸に時間(角度360度)、縦軸に従動節の変位をとり、運動を定義する。定義した運動を原動節の360度の円に巻きつけることでカムの輪郭形状が出現する。

図は従動節であるスライダの運動を定義し、動きをリフト、動きのある箇所(aとc)を滑らかに結ぶことで輪郭形状をあらわしている。aの動きをリフト、bの停留状態をDwellと呼んでいる。

## カム曲線と運動の特性

カムはカム線図の始端と終端を滑らかに結ぶことでカムの輪郭形状を得る



速度が急に変化し、加速度が大きく変動しカムからフォロアが浮くことがある  
 運動特性に配慮して滑らかさを決める→カム曲線の検討

- ① 高速運転を行う
- ② 位置決め精度を良くしたい
- ③ 加速度を小さくしたい
- ④ フォークが重荷重である
- ① 等加速度曲線
- ② 正弦曲線
- ③ サイクロイド曲線
- ④ 変形台形曲線
- ⑤ 変形正弦曲線

4-30

### 【ポイント】

カム曲線の必要性和その種類及び用途について理解する。

### 【解説】

カムのリフト部分はその両端を滑らかに結ぶことでカムの輪郭形状を定義する。図のように運動の急激な変化は、速度や加速度に影響を与え、カムとカムフォロアの跳躍現象を代表に、目的の運動を再現することができない。厳密にはその滑らかさを具体的に運動曲線として定義しなければならぬ。この従動節の運動曲線を表したものを「カム曲線」と呼んでいる。

カム曲線は従動節の運動の状態(速度、加速度)によって様々に分類することができ。運動の状態としては、①高速運転を行う、②位置決め精度を良くしたい、③加速度を小さくしたい、④フォークが重荷重である、などがある。



## 4-1 リンク機構 リンク機構とグラスホフの定理

リンク機構とは？

複数の節と対偶によって構成される機構のうち、細長い棒状の節と回転対偶及び滑り対偶によって構成される機構のこと。

各節の長さや原動節、固定節の組合わせにより運動の形態が異なる。

その組合わせを整理した考え方として**グラスホフの定理**がある。

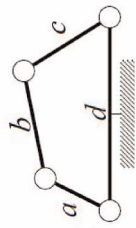
【グラスホフの定理】

最も短い節と他の一つの節の長さの和が残りの二つの節の長さの和より小さいか等しくなければならぬ

$$a + b \leq c + d$$

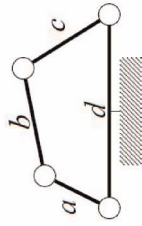
$$a + c \leq b + d$$

$$a + d \leq b + c$$



4-15

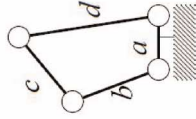
## グラスホフの定義とリンク機構の種類(1)



【てこクランク機構】

(crank-rocker mechanism)

節 a が回転運動すると、節 c は揺動運動を行なう。



【両クランク機構】

(double crank mechanism)

節 a を固定すると、節 b、節 d 共に回転することができる。

4-16

### 【ポイント】

リンク機構が成立するためのグラスホフの定理を理解する。具体例は次ページを参照する。

### 【解説】

代表的なメカニズムとして、リンク機構を取り上げる。リンク機構は、複数の節と対偶によって構成される機構のうち、細長い棒状の節と回転対偶及び滑り対偶によって構成される機構のことで、各節の長さや原動節、固定節の組合わせにより運動の形態が異なる。その組合わせを整理した考え方として**グラスホフの定理**がある。

グラスホフの定理は、「最短節と他の1つの節の長さの和が残りの二つの節の長さの和より小さいか等しくなければならぬ」というもので、組み合わせとして次頁の「てこクランク機構」、「両クランク機構」、「両てこ機構」がある。

### 【ポイント】

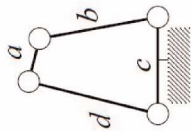
グラスホフの定理とリンク機構の種類について理解する。特に固定節、回転節などに注意する。

### 【解説】

てこクランク機構は、節 a が回転運動すると節 c は揺動運動を行う。足踏ミシンなどに応用されている。

両てこクランク機構は、節 a を固定し節 b、節 d 共に回転させることができる。回転ポンプなどに応用されている。

## グラスホフの定義とリンク機構の種類(2)



【図てこ機構】  
(double rocker mechanism)  
節 c を固定すると、節 b、節 d 共に揺動運動を行なう。

4-17

### 【ポイント】

グラスホフの定理とリンク機構の種類について理解する。特に固定節、回転節などに注意する。

### 【解説】

図てこ機構は、節cを固定すると節b及び節dが揺動運動を行う。扇風機の首振り機構などに応用されている。

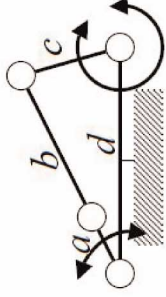
## 思案点と死点

### 思案点

てこリンク機構において、節cを原動節として回転させ、節aと節bが図のようになった場合、どちらも回転することができる状態になる。

### 死点

てこリンク機構において、節cを原動節として回転させ、節aと節bが図のように一直線字となった場合、節aはどちらにも回転することができずロックされる。



4-18

### 【ポイント】

節がどのような構成のときに思案点や死点が出現するか理解する。

### 【解説】

#### 思案点

てこリンク機構において、節cを原動節として回転させ、節aと節bが図のようになった場合、どちらも回転することができる状態になる。

#### 死点

てこリンク機構において、節cを原動節として回転させ、節aと節bが図のように一直線字となった場合、節aはどちらにも回転することができずロックされる。

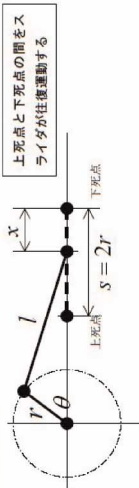
死点はてこリンク機構の他にスライダリンク機構やトグル機構で見ることができる。

## スライダクランク機構のメカニズム

てコクランク機構の①節dを固定し、②回転対偶を並進対偶に置き変えると、**回転運動と並進運動を交換するスライダクランク機構**になる。



- 節a: クランク(原動節)
- 節b: コネクティングロッド
- 節c: スライダ(従動節)
- 節d: 固定



応用例: エンジンのピストンやクランクプレス機構

4-19

### 【ポイント】

スライダクランク機構の運動(特に上死点や下死点などの単語やスライダ運動の定式化)について理解する。

### 【解説】

スライダクランク機構は、てコクランク機構の①節dを固定し、②回転対偶を並進対偶に置き変える構成で、**回転運動と並進運動を交換する機構**となる。応用例としてエンジンのピストンやクランクプレス機構などに使用されている。構成は、節aが原動節で回転運動を行い、並進運動を行う節cスライダに節bコネクティングロッドを介して運動を伝達する。

スライダの並進運動の限界点を死点と言い、最もクランク側を上死点、最も下がった点を下死点と言いこの間を運動する。

## スライダクランク機構の特性(1)

$\lambda = 1/2$

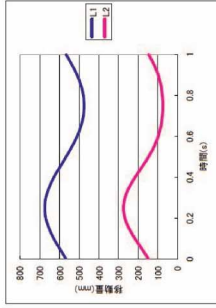
凡例L1:  $\lambda = 1/6$ , L2:

$$\lambda = r/l$$

### 【スライダの変位曲線】

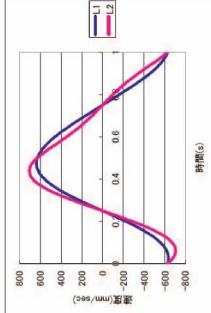
コネクティングロッドと固定節の角度により上死点側と下死点側で特性が異なる。

$$x = r(1 - \cos \theta)$$



### 【スライダの速度曲線】

$$v = r\omega \sin \theta$$



4-20

### 【ポイント】

スライダクランク機構の運動特性(変位、速度、加速度)について理解する。

### 【解説】

凡例の $\lambda$ は、クランク(r)とコネクティングロッド(l)の長さの比である。

スライダの変位曲線

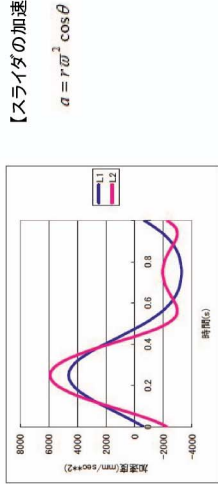
理論的にはコネクティングロッドと固定節の角度が0(ゼロ)であれば、サインカーブを描くが、角度がついているので上死点側と下死点側で特性が異なる。これは円を内接させてみると確認することができる。

スライダの速度曲線

図中の数式で表すことができる。L1はサインカーブに近くなるが、L2はうねりを伴っている。速度特性は加速度特性に影響を与えるので次ページのグラフから加速度特性の大きさの違いを見て取ることができる。

## スライダクランク機構の特性(2)

【スライダの加速度特性】



クランク回転速度に対するスライダの運動特性は...

$$x = r(1 - \cos \theta)$$

$$v = r\omega \sin \theta$$

$$a = r\omega^2 \cos \theta$$

4-21

【ポイント】

スライダクランク機構の運動特性(変位、速度、加速度)について理解する。

【解説】

スライダの加速度特性

速度特性は加速度特性に影響を与えるので次ページのグラフから加速度特性の大きさの違いを見て取ることができる。

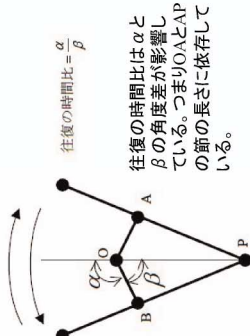
クランク回転速度に対するスライダの運動特性

「 $\omega=1$ 」と「 $\omega=2$ 」を代入してみると、速度は1倍、2倍と増加するが、加速度は二乗倍することになる。加速度はニュートンの法則 ( $F=ma$ ) により力の源になるので、駆動力の計算や機械の剛性に影響を与えることになる。

## 早戻り機構のメカニズム

スライダクランク機構から①スライダcと回転対偶をなす節bを固定し、②節aを回転させると、③スライダdに対して並進運動し、④節dは揺動運動を行う。

節aを一定回転させると、スライダ往復運動の行きと帰りで運動が異なる。これを**早戻り機構(クイックリターン機構)**と言う。



応用例: 形削り盤

4-22

【ポイント】

早戻り機構の運動(特に往復の時間比と角度、節の長さの関係)について理解する。

【解説】

早戻り機構は、スライダクランク機構から①スライダcと回転対偶をなす節bを固定し、②節aを回転させると、③スライダcに対して並進運動し、④節dは揺動運動を行う。

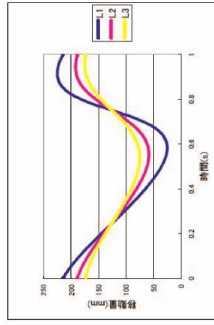
節aを一定回転させると、スライダ往復運動の行きと帰りで運動が異なる。これを**早戻り機構(クイックリターン機構)**と呼んでいる。応用例として形削り盤などで見られる。往復の時間比は、 $\alpha$ と $\beta$ の角度差が影響を与えており、つまりOAとAPの長さに依存していることになる。

## 早戻り機構の特性(1)

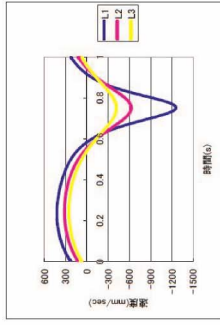
凡例L1:OP/OA=2, L2:3, L3:4

【早戻り機構の変位曲線】

上死点と下死点付近の曲線に注目

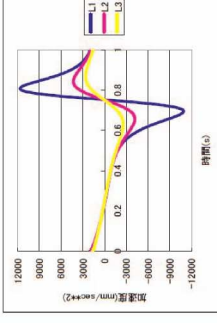


【早戻り機構の速度曲線】



4-23

## 早戻り機構の特性(2)



【早戻り機構の加速度曲線】

4-24

### 【ポイント】

早戻り機構の運動特性(変位、速度、加速度)について理解する。

### 【解説】

スライダの変位曲線

スライダの速度曲線

OAが長いほど、戻る距離が長いので速度が大きくなる。

### 【ポイント】

早戻り機構の運動特性(変位、速度、加速度)について理解する。

### 【解説】

スライダの加速度曲線

OAが長いほど速度の変化が大きいので加速度も大きな変化をもたらす。

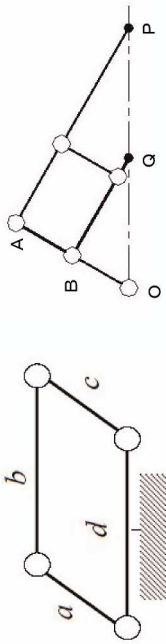
## 平行運動機構

各リンクがお互いに平行で、相対しあうリンクの長さが等しいリンク機構を平行運動機構という。クランクaまたはcが原動節として回転するとき、リンクbは固定された節dに対して平行状態を保ったまま運動を行う。(特に下の機構を平行クランク機構と言う)  
 応用例として、バンタグラフ機構があり、電車の梁線から電氣を得る集電装置(バンタグラフ)や製図機(トラフター)の平行定規機構などがある。

平行クランク機構の大きな特徴→バンタグラフの拡大・縮小機構

OAとOBの長さの比=OPとOQの長さの比

上述の関係からそれぞれ拡大・縮小の関係を得ることができるとともにOQPは同一直線にある。



4-25

### 【ポイント】

平行運動機構の特徴であるバンタグラフの拡大・縮小機構について理解する。

### 【解説】

平行クランク機構の大きな特徴→バンタグラフの拡大・縮小機構

これは三角形の相似条件から確認することができる。

「2つの三角形は、対応する2組の辺の比とその間の角がそれぞれ等しいときに相似になる。」

OAとOBの長さの比=OPとOQの長さの比

$\angle AOP = \angle BOQ$

上述の関係から、①拡大・縮小の関係及び②OQPは同一直線にあることを確認することができる。

## トグル機構による直線運動機構

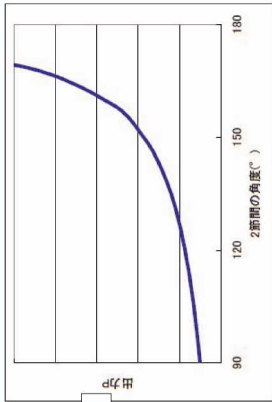
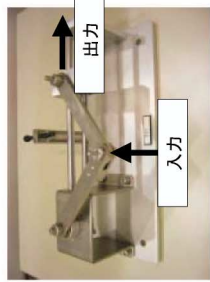
トグル機構は、2つのリンクと1つのスライダから構成される機構で、2つのリンクの結合点を空気圧シリンダなどで押す(入力側)とスライダが出力点となる。

大きな特徴として、2つのリンクの角度により出力特性が大きく変わる。(グラフを参照)

角度が小さい場合: 出力の力も小さい

角度が大きい場合: 出力が高激に大きくなる

角度が180度の場合: 理論上、無限大の力を得る



4-26

### 【ポイント】

2つのリンクの角度の大きさにおいて力の出力が大きく異なることを理解する。

### 【解説】

大きな特徴として、2つのリンクの角度により出力特性が大きく変わる。(グラフを参照)

角度が小さい場合: 出力の力も小さい

角度が大きい場合: 出力が大きくなる

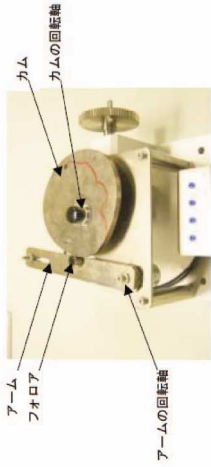
角度が180度の場合: 理論上、無限大の力を得る

電車などのドア開閉機構に応用されていた時、ドアが大きく開いている時2つのリンク間角度は小さいが、ドアが閉まりかけの時2つのリンク間の角度は大きく180度近くになる。人間の力では押し返すことができ無い力であることが、グラフからも見て取ることができる。

### 4-3 カム機構

原動節の回転運動や並進運動を従動節に運動を伝達し、並進運動や揺動運動に変換することができる。一つ一つの運動に対してカムが必要となり可変性は良くないが、

- ①カム形状によって複雑な運動を実現することができる
- ②高速運動にも遅れることなく運動を実現することができる
- ③安定性がある



4-27

#### 【ポイント】

カム機構の特徴について理解する。

#### 【解説】

カム機構は、原動節の回転運動や並進運動を従動節に運動を伝達し、並進運動や揺動運動に変換することができる。

一つ一つの運動に対してカムを製作しなければならず可変性は良くないが、メリットとして次の3点が挙げられる。

- ①カム形状によって複雑な運動を実現することができる。この運動は動きだけでなく速度や加速度なども考慮することができる。
- ②高速運動にも遅れることなく運動を実現することができる
- ③安定性がある

### カム機構の分類とカムの種類

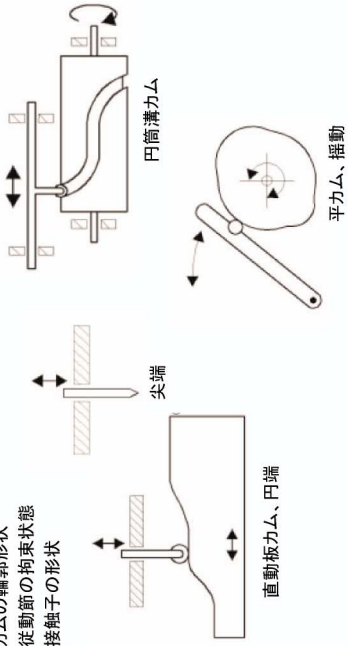
①原動節の運動とその特性

②従動節の運動とその特性および動作範囲

③カムの輪郭形状

④従動節の拘束状態

⑤接触子の形状



4-28

#### 【ポイント】

カム機構の特徴について理解する。

#### 【解説】

カムはその形状から平面カムと立体カムに分類することができ、更に原動節であるカムや従動節の種類や特性、接触子の形状から様々な種類に分けることができる。

## カム曲線の種類

曲線名	特徴	Vm	Am	Om
等加速度 (PB) parabolic	加速度が最も小さいという特徴がある反面、加速度が不連続であるので振動の原因となる。	2.000	±4.000	8.000
正弦 harmonic	加速度が不連続な曲線のため振動を起こしやすい。	1.571	±4.935	3.876
サイクロイド (CY) cycloidal	速度、加速度等が表中で最も大きい。加速度の連続性が保たれている。古くからある曲線	2.000	±6.283	8.162
変形台形 (MT) modified trapezoid	標準的な曲線である。加速度が低く連続性が保たれているので、高速度向きに向いている。	2.000	±4.888	8.090
変形正弦 (MS) modified sine	さいのでトルクを抑えることができる。最もよく使われる曲線である。	1.760	±5.528	5.458

4-31

### 【ポイント】

カム曲線の種類について理解する。

### 【解説】

Vm: 無次元最大速度

Am: 無次元最大加速度

Om: 無次元最大トルク

## 4-4 歯車機構

特徴 動力伝達の大きさでは、...

- 回転摩擦車などによる摩擦伝動機構→小さい
- 歯車機構→大きい【メリット】

回転車の周辺に歯を付け、お互いを歯でかみ合わせながら動力を伝達する機構で、摩擦伝動機構より大きな動力を伝達することができる。

歯車の分類

歯車は回転軸の向きから3つに分類することができる。

- 円筒歯車
- かさ歯車
- 食い違い歯車

4-32

### 【ポイント】

歯車機構の分類について理解する。

### 【解説】

歯車機構は、摩擦車などでは動力の伝達が十分にないときに用いる。

歯車は回転軸の向きから、2軸が平行な「円筒歯車」と軸が垂直に交わる「かさ歯車」、2軸が平行で交わることの無い「食い違い歯車」に分類することができる。



## 歯車機構の種類(1)



### 【平歯車】(spur gear)

- 2つの平行な軸間で使用する。
- 歯すじが軸に対して垂直である。
- スラスト方向への力は生じない。

### 【はすば歯車】(helical gear)

- 2つの平行な軸間で使用する。
- 歯すじが弦巻状になっている。
- 滑らかにかみ合うので大きな力を伝達可能。
- スラスト方向への力が生じる。

写真の出典:小原歯車工業株式会社ホームページ  
<http://www.khigears.co.jp>

4-33

### 【ポイント】

歯車の種類と特徴を理解する。

### 【解説】

平歯車

2つの平行な軸間で使用する。

歯すじが軸に対して垂直である。

スラスト方向への力は生じない。

はすば歯車

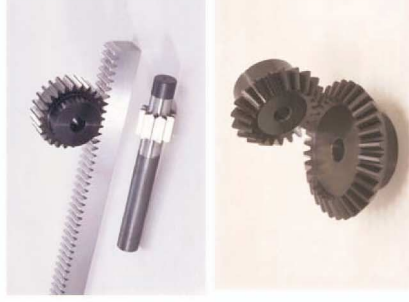
2つの平行な軸間で使用する。

歯すじが弦巻状になっている。

滑らかにかみ合うので大きな力を伝達可能。

スラスト方向への力が生じる。

## 歯車機構の種類(2)



### 【ラックとピニオン】(rack & pinion)

- 回転運動を直線運動に変換する。
- 均等変換機構である。

### 【すぐばかさ歯車】(bevel gear)

- 歯すじがピッチ円すいの母線と一致する。

写真の出典:小原歯車工業株式会社ホームページ  
<http://www.khigears.co.jp>

4-34

### 【ポイント】

歯車の種類と特徴を理解する。

### 【解説】

ラックとピニオン

回転運動を直線運動に変換する。

均等変換機構である。

すぐばかさ歯車

歯すじがピッチ円すいの母線と一致する。

### 歯車機構の種類(3)



【まがりばかさ歯車】(spiral bevel gear)  
 ● 歯すじが曲線でねじれている。

【ウォーム歯車】(worm gear)  
 ● 回転運動を直角に変換する。  
 ● 減速比が大きい。  
 ● ウォームが原動車、ウォームホイールが従動車で、その逆は動かない。

写真の由来:小原歯車工業株式会社ホームページ  
<http://www.khkgears.co.jp>

#### 【ポイント】

歯車の種類と特徴を理解する。

#### 【解説】

まがりばかさ歯車

歯すじが曲線でねじられている。

ウォーム歯車

回転運動を直角に変換する。

減速比が大きい。

ウォームが原動車、ウォームホイールが従動車でその逆には動かない。

### 歯車の各部名称

名称	計算式
ピッチ円直径 pitch circle	$d_1 = z_1 m, d_2 = z_2 m$
歯先円直径 tip circle	$d_a = (z_1 + 2)m, d_{a2} = (z_2 + 2)m$
基礎円直径 base circle	$d_b = z_1 m \cos \alpha, d_{b2} = z_2 m \cos \alpha$
円ピッチ circular pitch	$f_c = \pi m$
全歯たけ whole depth	$h = 2m + c_2$
中心距離 center distance	$a = \frac{z_1 + z_2}{2} m$

$m$ : モジュール  
 $Z$ : 歯数

#### 【ポイント】

歯車の各部名称及び計算式について理解する。

#### 【解説】

各部名称の用語説明は次のとおり。

ピッチ円: 2つの歯車が接触する点と中心点を結んだ円の大きさ

歯先円: 歯先を含む円

基礎円(歯底円): 歯底を含む円

円ピッチ: ピッチ円上での歯の間隔

全歯たけ: 歯底から歯先までの歯の高さ

中心距離: 2つの歯車の中心点間を結ぶ距離

## 第4節 基本機構システムのメカニズムとその実例

学習のポイント  
各種メカニズムを特徴を構造及び運動特性の観点から説明を行い、その使用例もあわせて示す。

- 4-1 リンク機構
- 4-3 カム機構
- 4-4 歯車機構
- 4-5 間欠運動機構
- 4-6 ねじ機構

4-13

## 基本機構システムの種類

機構システムは5種類に分けることができる

- ①リンク機構  
いくつかの比較的長い棒状の節を回転対偶やすべり対偶で組合わせた機構
- ②カム機構  
特殊な形をした原動節が回転・直線運動することで、それに沿って従動節が複雑な運動を行う
- ③巻き掛け伝動機構  
離れている原動節と従動節の間にベルトやチェーンを渡して動力を伝達する機構
- ④回転車機構  
原動節と従動節が転がり接触して動力を伝達する機構
- ⑤歯車機構  
回転車につけた歯をかみ合わせることで動力を伝達する機構

4-14

### 【節全体のポイント】

各種メカニズムを特徴を構造及び運動特性の観点から説明を行い、その使用例もあわせて示す。

### 【節全体の解説】

機構システムは大きく5分野に分類することができる。

①リンク機構、②カム機構、③巻き掛け伝動機構、④回転車機構、⑤歯車機構  
このうち、自動化機械や省力化機械などのセミナー講習などで取り上げることの多い機構について説明を行う。

### 【ポイント】

解説を参照。

### 【解説】

機構を構成するメカニズムは5つに大別することができる。いずれも並進運動と回転運動からなる構成である。

①リンク機構は、いくつかの比較的長い棒状の節を回転対偶やすべり対偶で組合わせた機構で、回転運動を並進運動や揺動運動、回転運動する動きをし、力(モーメント)の伝達などに使用される。エンジンピストンなどのクランク機構などがこれに分類される。

②カム機構は、特殊な形をした原動節が回転・直線運動することで、それに沿って従動節が複雑な運動を行う機構である。機構の特徴として力の伝達のほか、変位や速度を変化させることもできる。

③巻き掛け伝動機構は、離れている原動節と従動節の間にベルトやチェーンを渡して動力を伝達する機構で、摩擦で動力が転がり接触して動力を伝達する機構で運動の種類を変える機能と力やトルクなどを伝達する機能を持つ

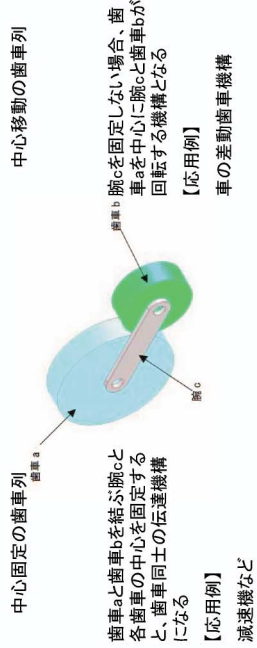
④回転車機構は、原動節と従動節が転がり接触して動力を伝達する機構で運動の種類を変える機能と力やトルクなどを伝達する機能を持つ  
⑤歯車機構は回転車につけた歯をかみ合わせることで動力を伝達する機構で、回転車機構より精度良く動力や力を伝達することができる。

## 歯車列(遊星歯車と差動歯車)

歯車列とは...

2つ以上の軸間で動力を伝達するために歯車を組み合わせること

回転軸の動きによって2つに分類



4-37

## 速度比

モータの回転数を下げる場合を考える。  
速度比1/10とは 歯車1が10回転する間に  
歯車2が1回転することを意味するので、  
速度比nは...

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{10}$$

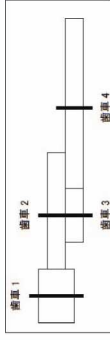
$$n = \frac{M_2}{M_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_1}{z_2}$$

$M_1$ : 歯車1の回転数、 $M_2$ : 歯車2の回転数

$\omega_1$ : 歯車1の角速度、 $\omega_2$ : 歯車2の角速度

$z_1$ : 歯車1の歯数、 $z_2$ : 歯車2の歯数

この場合はどうなる?



38

### 【ポイント】

中心固定の歯車列と中心移動の歯車列の特徴について理解する。

### 【解説】

2つ以上の軸間で動力を伝達するために歯車を組み合わせることを歯車列と呼ぶ。  
歯車列は図中の各部分を固定することによって「中心固定の歯車列」と「中心移動の歯車列」に分類することができる。

図は歯形を省略し、ピッチ円のみで歯車を描いている状態である。  
中心固定の歯車列は、各歯車の中心軸と腕cを固定することで歯車同士のかみあみ運動になる。

図は歯車が外接しているため、回転方向は逆回転になる。  
中心移動の歯車列は、歯車aの回転中心を固定し、歯車bと腕cが歯車aの周りを回転し、歯車bの中心が、移動しているように見えるのでこの名前がついた。  
特に図の場合、「遊星歯車列」と呼び、歯車aを「太陽歯車」、歯車bを「遊星歯車」、腕cを「遊星腕」という。

### 【ポイント】

速度比をあらわす関係式について理解する。

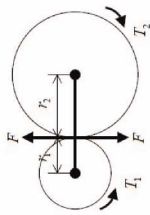
### 【解説】

歯車機構の重要な設計指標として速度比とトルクの伝達がある。

速度比は減速装置などの設計で減速比として出てくるが、速度比1/10とは 歯車1が10回転する間に歯車2が1回転することを意味するので、速度比nは上述の式であらわすことができる。速度比は歯車の回転数、角速度、歯数から同様の式を得ることができる。

## トルクの伝達

速度比とともに重要な検討項目として、**トルクの伝達**がある。  
2つの歯車に働くトルクの関係式は...



$$\begin{aligned} \text{歯車1の回転トルク} &: T_1 = Fr_1 \\ \text{歯車2の回転トルク} &: T_2 = Fr_2 \end{aligned}$$

Fの値が等しいので歯車2が歯車1から受けたトルクは...

$$T_2 = \left( \frac{r_2}{r_1} \right) T_1$$

F=歯車1が歯車2を押す力  
T=歯車を回転させるトルク  
r=歯車の半径

減速機の場合、回転数は減少するが、トルクの伝達は拡大することがわかる

4-39

### 【ポイント】

トルク伝達の関係式(回転数とトルクの関係)について理解する。

### 【解説】

歯車1が歯車2を押す力をF、歯車を回転させるトルクをT、歯車の半径をrとすると、**[T=Fr]**の式で表すことができる。歯車1及び2のFの値は等しいので、**[T2=(r2/r1)T1]**で表すことができる。これらの数式からもわかるようにトルクの伝達は回転数の減少と異なり、拡大する方向に作用することになる。

## 4-5 間欠運動機構(ゼネバ機構)

原動節の一定した運動に対して、従動節が運動と停止を繰り返す機構を間欠運動機構と言う。  
代表例として、ゼネバ機構やローラーギヤカムなどがある。



原動節の回転に対する従動節の割り出し数は、割り出し角で決まる。  
割り出し数が6の場合、割り出し角  $\rho$  は60度、原動節の振り角  $\theta$  は120度になる。

$$\rho = 2\pi/n \quad n: \text{割り出し数}$$

ゼネバ歯車の場合、割り出し数によって運動特性も大きく異なる。割り出し数が小さくなると最大加速度が大きくなる。また、割り出しの始終端付近では加速度が不連続になる。

4-40

### 【ポイント】

ゼネバ機構の特徴及び割り出し数と割り出し角度の関係について理解する。

### 【解説】

原動節の回転に対する従動節の割り出し数は、割り出し角で決まる。  
割り出し数が6の場合、割り出し角  $\rho$  は60度、原動節の振り角  $\theta$  は120度になる。  
ゼネバ歯車の場合、割り出し数によって運動特性も大きく異なる。割り出し数が小さくなると最大加速度が大きくなる。また、割り出しの始終端付近では加速度が不連続になる。

ゼネバ機構による間欠運動装置はあまり見かけなくなっており、ローラーギヤカムなどの市販の割り出し装置が多く出回っている。

理由の一つとして、始終端の運動特性が不連続になることが挙げられる。

## 4-6 ねじ機構

ねじによる送り機構にはボールねじ機構が良く使用されますが、運動特性を求める関係式には一般的なねじの力学計算式を適用することができる。

ねじの回転トルク

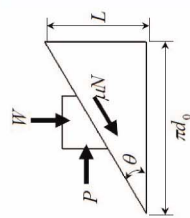
$$T = \frac{d_0}{2} P$$

T: 回転トルク、 $d_0$ : ピッチ円直径、P: 水平力

ねじの効率

$$\eta = \frac{WL}{P \pi d_0} = \frac{W L}{P \pi d_0} = \frac{\tan \theta}{\tan(\rho + \theta)}$$

$\eta$ : ねじの効率、W: 荷重、 $\rho$ : 摩擦角



4-41

### 【ポイント】

ねじ機構を設計検討するための関係式を理解する。

### 【解説】

ねじ送り機構は、ボールねじによる送り機構が一般的であるが、関係式は一般的なねじの力学計算式を適用することができる。

ねじの回転トルクとねじの効率は、ねじ送り機構の設計において必要な検討事項であり、計算式は上述のようにあわせることができる。

ねじの効率は、仕事量の変換前と変換後の比(変換効率)をあらわしたものである。大きいほど、効率よく仕事が行きわたることになる。ボールねじの場合90%以上の効率があるが、一般的なねじは50%未満となる。