

自由度

自由度とは、数式モデルにおいて、ある物体を動かすことができる方向の数を表す。

自由度を簡単に説明すると、1本の軸の上で左右問わず回転だけ動作できる場合、「1つの自由度を持つ」といいます。また、1本の軸の上で回転できずに前後にスライドする場合も「1つの自由度を持つ」といいます。

ここで、1本の軸の上で、回転とスライドの2つの動きができる場合を「2つの自由度を持つ」といい、動く方向や種類が増えるごとに自由度が増えていきます。

リンク機構は、3次元的なXYZ座標系を横断する動作も可能ですが、2次元平面での動作を考えるシチュエーションが多いため、本書では基本的に2次元動作について解説を進めます。

最も基本的な動作をするリンク機構を図1-1に示します。このリンク機構は1自由度を持ちます。

「回転」っていう
1つの自由度を持つ
リンク機構やな!

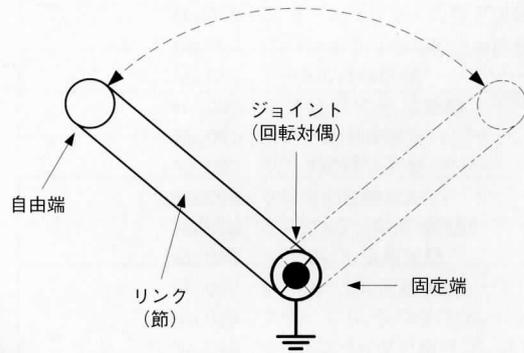


図1-1 基本的なリンク機構

下記グループラーの式からリンク機構の自由度を求めることができます。

$$F = 3(n - 1) - 2J$$

F : 自由度

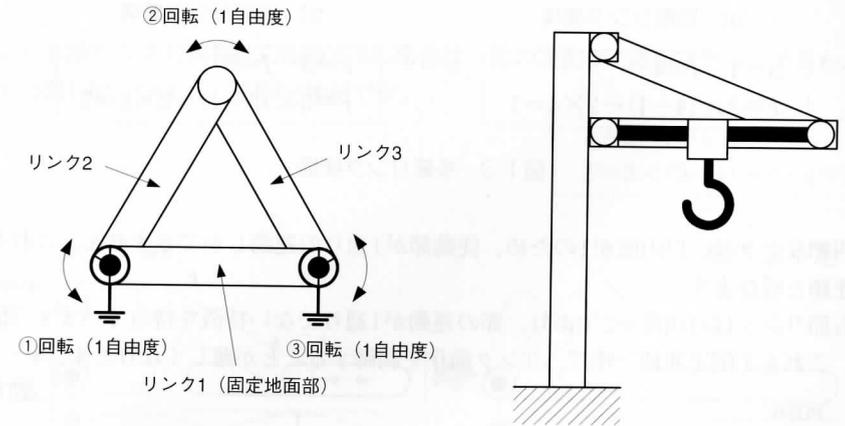
n : リンク (節) の総数 (可動リンクに加えて固定地面部、スライド部を含む)

J : ジョイントが持つ1自由度の総数

それでは、様々な構造の自由度を確認してみましょう。

●トラス構造

図1-2に示す三節リンクは自由度がゼロになり、機構として動かない、つまり構造物として利用することがわかります。これを固定連鎖と呼びます。



自由度 $F=0$

$$n=3 \quad J=3$$

$$F=3 \times (3-1) - 2 \times 3 = 0$$

図1-2 三節リンクとその応用例 (小型クレーン)

(▽▽) いまさら聞けない?

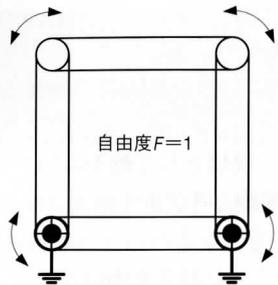
トラスとラーメン

トラスとは、すべてのジョイントが自由に回転できる回転対偶で構成した骨組み構造です。ジョイントは回転できますがモーメントが伝達されないため、圧縮応力や引っ張り応力のような内力が働くことで外力に抵抗します。

ラーメンとは、ジョイントを溶接などによって回転できないよう構成した骨組み構造です。剛体となることで、曲げモーメントに抵抗する作用によって外力に抵抗します。

●多節リンク

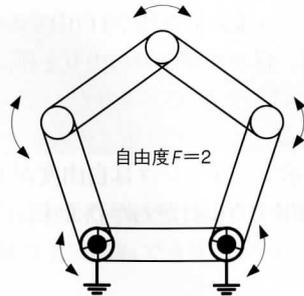
図1-3に示す四節リンク・五節リンクは自由度がそれぞれ1と2になり、機構として動くことがわかります。



a) 四節リンク機構

$$n=4 \quad J=4$$

$$F=3 \times (4-1) - 2 \times 4 = 1$$



b) 五節リンク機構

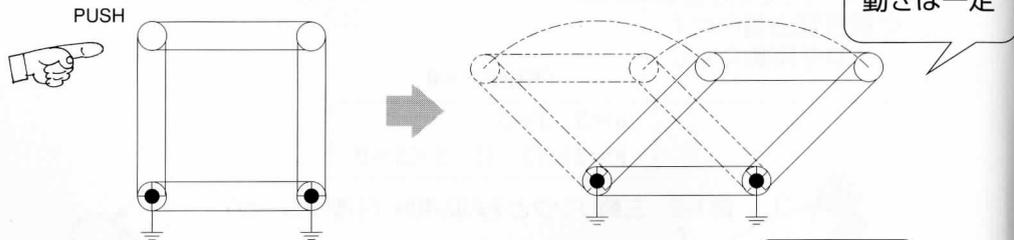
$$n=5 \quad J=5$$

$$F=3 \times (5-1) - 2 \times 5 = 2$$

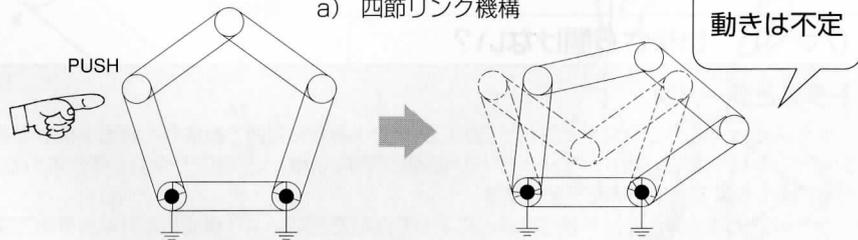
図1-3 多節リンク機構

四節リンクは、自由度が1のため、従動節が1通りの運動しかできません。これを限定連鎖と呼びます。

五節リンクは自由度が2であり、節の運動が1通りでない特徴を持っています(図1-4)。これを unlimited連鎖と呼び、リンク動作を制御することが難しくなります。



a) 四節リンク機構



b) 五節リンク機構

図1-4 多節リンク機構の特徴

●スライダリンク

図1-5に示すスライダリンク機構は自由度が1となり、従動節が1通りの運動しかできません。つまり限定連鎖です。

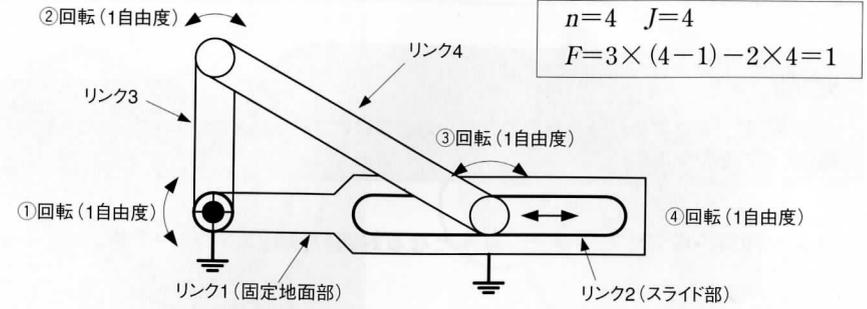


図1-5 四節スライダリンク

$$n=4 \quad J=4$$

$$F=3 \times (4-1) - 2 \times 4 = 1$$

また多節リンクと同様に自由度が2の場合は、節の運動が1通りでないことがわかります(図1-6)。つまり、 unlimited連鎖です。

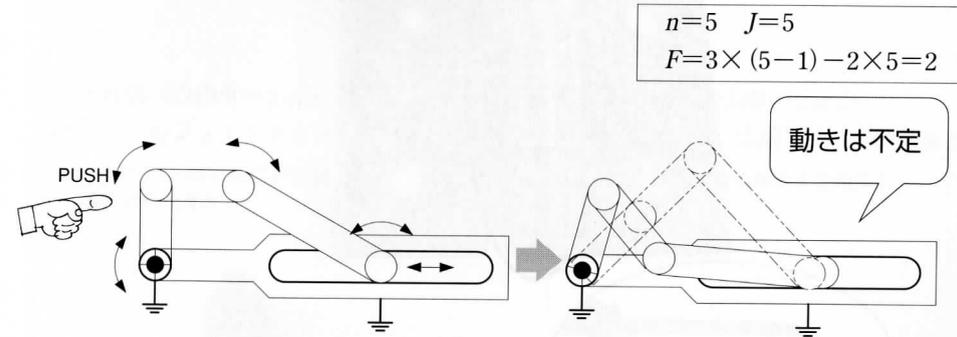


図1-6 五節スライダリンク

$$n=5 \quad J=5$$

$$F=3 \times (5-1) - 2 \times 5 = 2$$

やっぱり、五節になると、動作の自由度がありすぎて思うように制御だけへん...

そうや! だから一般的に平面のリンクは四節リンクって呼ばれることが多いんや!

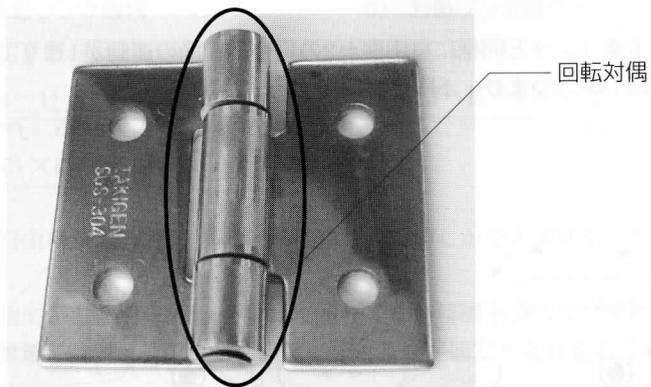


対偶

対偶とは、構成するリンク機構のうち、対となる2つのリンクが相対的な運動の自由度を残して結合したものをいう。

リンク機構を構成するうえで、基本となる対偶の種類は次の6つです。

①回転対偶 (自由度=1) 例: チョウバン、転がり軸受けなど



②すべり対偶 (自由度=1) 例: ガイド溝、リニアガイドなど

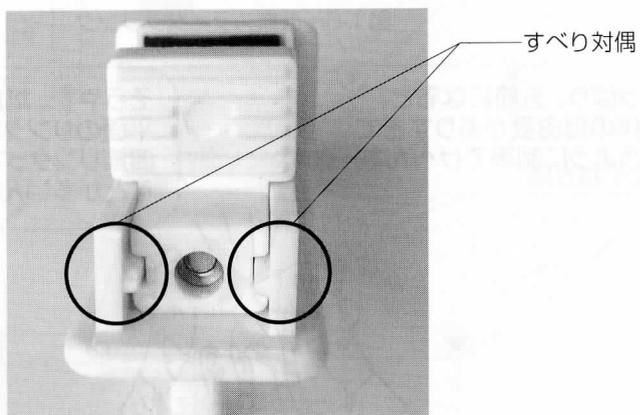
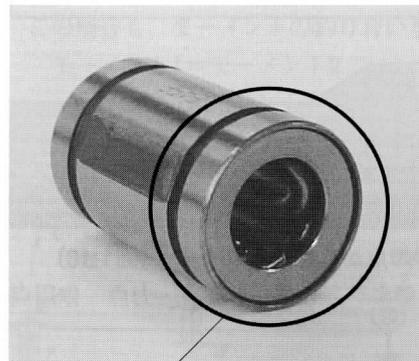


図1-7 対偶の種類(1)

③回転+すべり対偶 (自由度=2)

例: ボールプッシュなど



④ねじ対偶 (自由度=1)

例: ねじ機構、ボールねじなど

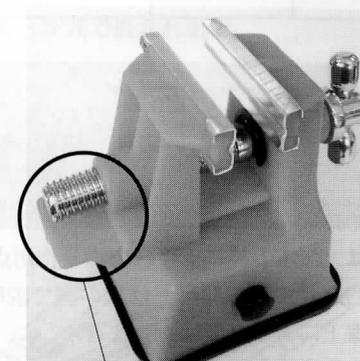


図1-8 対偶の種類(2)

⑤球対偶 (自由度=2 or 3)

例: ボールジョイントなど

※ ジョイント部でねじり回転できる場合は自由度3



⑥移動対偶 (自由度=2 or 3)

例: ドラフター、広域ワイパー機構など

※ 平面上で回転できる場合は自由度3

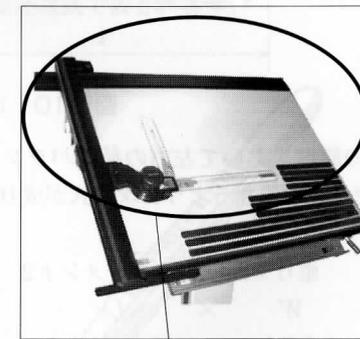


図1-9 対偶の種類(3)

リンク機構を構成する場合、上記6種類の対偶を組み合わせることで、2次元平面上の動きから、立体的な3次元空間上の動きまでを実現させます。

“てこ”と“てこの原理”

てこ(挺子)とは、固い棒状のものをいう。てこの原理とは、てこの支点から力点(力をかける部分)の距離の長短によって、作用点(力点で生まれた力がかかる部分)において小さな力を大きな力に変えたり、大きな力を小さくすることができる原理をいう。

てこは、一本の棒に支点、力点、作用点の3つの点から構成されます。(図1-10) 一般的な「てこの原理」は次の図で説明されますが、必ずしも支点・力点・作用点が一直線上にある必要はありません。

てこの代表的な構造として、次の3つの種類があります。

1) 荷重バランスを考慮する場合

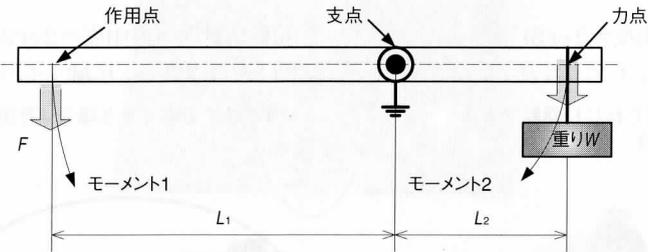
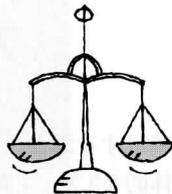
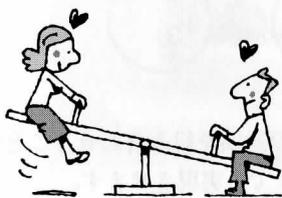


図1-10 てこの原理(1)

てこの原理において左右の荷重バランスをつり合わせる場合、モーメント1とモーメント2が等しくなるよう、次の式が成り立ちます。

$$\begin{array}{ccccccc}
 \text{重りで回転するモーメント2} & = & & \text{モーメント1} & & & \\
 W \times L_2 & = & & F \times L_1 & & & \\
 \text{力点の力} & \times & \text{支点から力点} & = & \text{つりあいに必要な} & \times & \text{支点から作用点} \\
 & & \text{までの距離} & & \text{作用点の反力} & & \text{までの距離}
 \end{array}$$



身の回りのてこの原理(1)

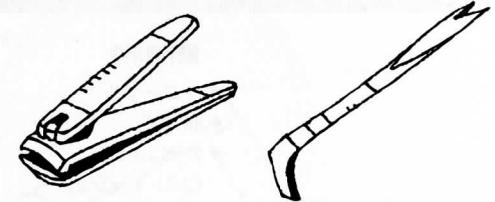
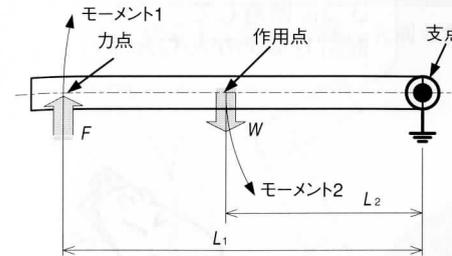
2) 小さな力で大きな力を受ける場合

支点に対して、力点が作用点より遠い場合、力点に加えた力が作用点では距離の比(L_1/L_2)だけ大きくなります。

この場合も、モーメントの釣り合いを考えると次式で表されます。

$$\text{モーメント1} = \text{モーメント2}$$

$$F \times L_1 = W \times L_2$$



爪きり

釘抜き

図1-11 てこの原理(2)

身の回りのてこの原理(2)

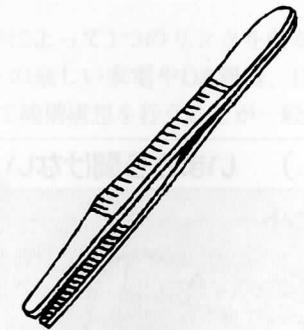
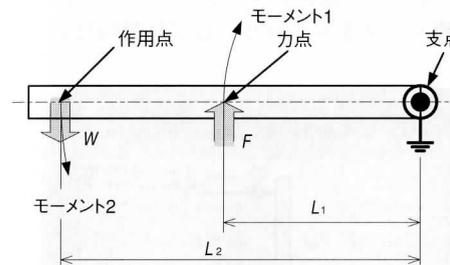
3) 大きな力で小さな力を受ける場合

支点に対して、力点が作用点より近い場合、力点に加えた力が作用点では距離の比(L_1/L_2)だけ小さくなります。

この場合も、モーメントの釣り合いを考えると次式で表されます。

$$\text{モーメント1} = \text{モーメント2}$$

$$F \times L_1 = W \times L_2$$



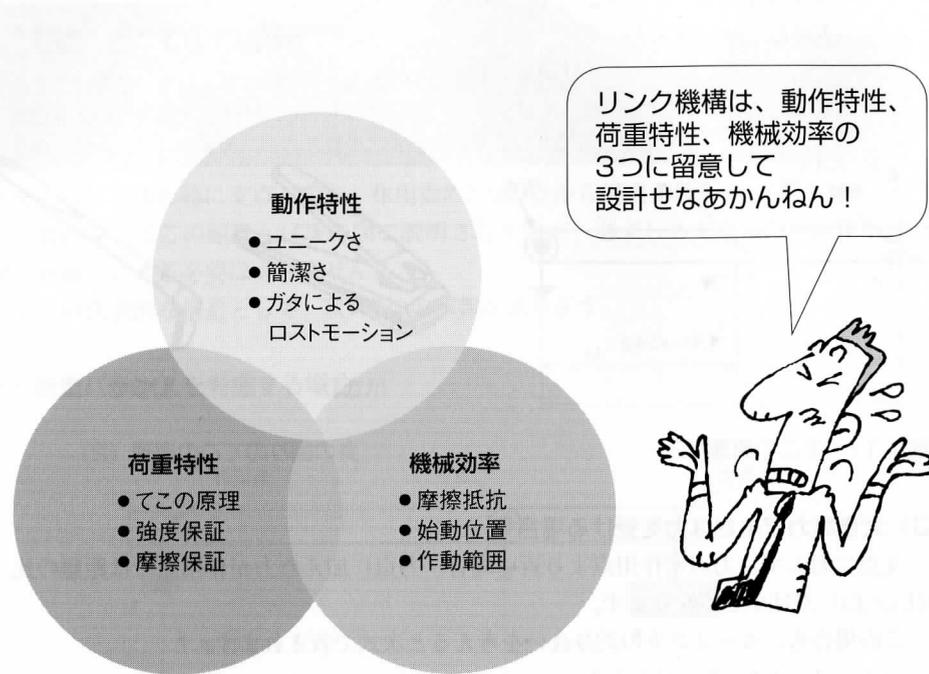
ピンセット

図1-12 てこの原理(3)

身の回りのてこの原理(3)

このように、てこの原理を利用したものは、身の回りにたくさんあります。

リンク機構を設計する際のポイントの一つに、てこの原理によって力の増減を考慮する必要があることを失念しないでください。



リンク機構は、動作特性、荷重特性、機械効率の3つに留意して設計せなあかんねん！



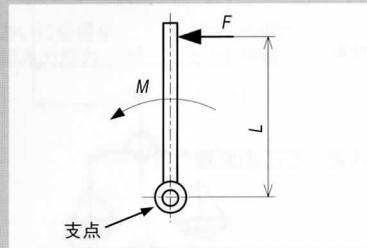
(/▽\) いまさら聞けない？

モーメント

モーメントとは、物体を回転させる能力の大きさを表す量をいい、回転軸まわりのモーメントをトルクともいいます。

モーメント (M) = 力 (F) × 距離 (L) で表されます。

リンクや歯車を設計する場合に、必ずモーメントを計算して力のかかり具合や強度計算を実施します。



リンク機構

リンク機構とは、複数の細長い板（棒）状の剛体を回転対偶やすべり対偶などで結んで動作をさせる機構である。一般的にアクチュエータを介してリンクを動かして、センサなどを用いて設計者の思い通りに制御して利用される。

リンク構造は、次の2種類に大別されます。

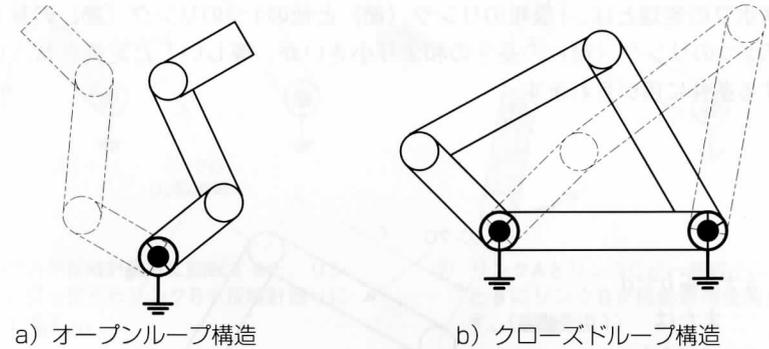


図1-13 リンク構造

オープンループ構造では、それぞれのジョイントにアクチュエータやセンサを取り付け、多自由度の動作を行ないます。産業用ロボットのマニピュレータなどに活用されています。

クローズドループ機構では、アクチュエータによって1つのリンクを動かすことで他のリンクが追従する構造となります。コストの厳しい家電やOA機器、自動車部品などの製品では、クローズドループ機構を用いて機構構想を行うことが一般的です。

■D(ー*) コーヒーブレイク

マニピュレータ

マニピュレータとは、人間の手や上肢と同等の機能を持たせ、遠隔操作により人間の作業を代替させるロボットアームやその作業をいいます。

