

第 10 章

クラッチ・ブレーキ

- 1 - クラッチ
- 2 - ブレーキ

○ 原動軸と従動軸をつないで回転や動力を伝達し、原動軸と従動軸を切り離して回転や動力をしゃ断する機械要素がクラッチである。また、機械の運動部分のエネルギーを吸収して熱に変え、減速させたり停止させる装置がブレーキである。最もよく用いられているクラッチ・ブレーキは、摩擦力を利用した摩擦クラッチ・摩擦ブレーキである。

この章では、クラッチやブレーキはどのようなしくみになっていてどのような所に使われているのだろうか、クラッチやブレーキの設計はどのようにすればよいだろうか、などについて調べる。

近代の工業化は、蒸気機関の発明によって可能となった。工場には蒸気機関が1台置かれ、その動力を伝えるカウンタシャフト(中間軸)を天井近くに設置し、これにプーリを取りつけ、ベルトによって各機械に回転を伝達した。図にみられるベルトと並ぶ棒は、ベルトの運動を止めるために、軸に対して空回りするプーリにベルトをかけかえるためのものである。

カウンタシャフトによる旋盤の駆動
(日本工業大学工業技術博物館)

機械では、原動軸と従動軸を連結して動力を伝えたり、両軸を切り離して動力をしゃ断するなどの要求がある。このような要求にこたえるものがクラッチ^①である。

ここでは、クラッチの種類や特徴などについて調べる。

① clutch

1 クラッチの種類

5

しくみの違いによって、かみあいクラッチ・摩擦クラッチ・自動クラッチなどがあり、作動方式により表 10-1 のように分類される。

表 10-1 作動方式によるクラッチの分類と特徴

名 称	特 徴
機 械 クラッチ	カム・レバー・リンクなどで人の手や足による力を拡大し作動させる。したがって、力の大きさ、断続の回数、連結時間などが限定される。最も安価である。
油 圧 クラッチ	油圧を利用して押付け力を大きくすることができるので、クラッチの単位体積あたりの伝達トルクは最大で、連結時間も短い。油圧ポンプ・配管・制御弁などが必要である。
電 磁 クラッチ	制御が簡単で遠隔操作に最も有利である。連結時間は最小で、断続回数も多くとることができる。爆発の危険のあるところでは注意が必要である。

1 かみあいクラッチ

② claw clutch

かみあいクラッチは、図 10-1 のようにつめをかみあわせて 2 軸の連結と切り離しを行い、動力の伝達・しゃ断を行う。このクラッチは、滑りがないので、確実に回転を伝えたい場合に用いる。図 10-1 では、原動側のクラッチ本体を軸に固定し、従動側は滑りキーあるいはスプラインの上を移動させて、つめをかみあわせる。

③ 140 ページ。

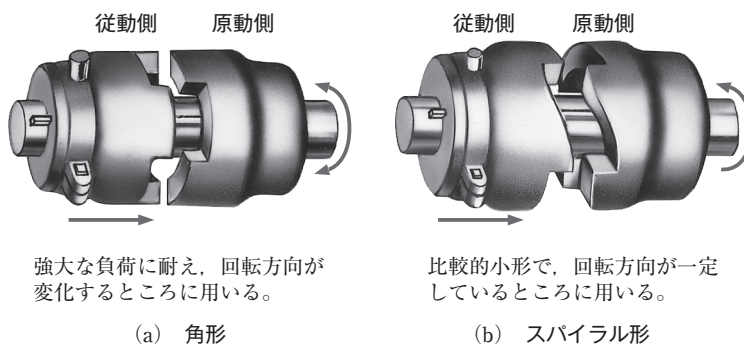


図 10-1 かみあいクラッチの例

かみあったときは、両方のつめは一体となって回転するので、両者のつめの回転中心がよく一致している必要がある。つめが摩耗したり、かみあいはずれたりするからである。また、回転中の急激なかみあわせは、衝撃がともなうので、停止中か低速回転のときにだけ行う。

2 摩擦クラッチ

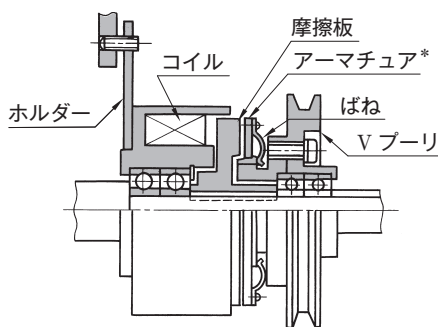
摩擦クラッチは、原動側と従動側に取りつけた摩擦板を押しつけて接触させ、摩擦力によって動力を伝えるクラッチである。摩擦クラッチは、摩擦板を押しつける力を加減することができるので、原動側が回転していても、衝撃が少ない滑らかな連結ができる。また、過大な負荷に対しては、摩擦面が滑って安全装置にもなる。

図10-2に電磁クラッチの例を示す。図(a)のように摩擦面が1枚のものを**単板クラッチ**といい、図(b)のように2枚以上のものを**多板クラッチ**という。

単板クラッチは、摩擦面を乾燥状態で使う乾式で用いる。連結やしゃ断にかかる時間が短い、熱放散がよいなどの長所がある。一方、摩擦部分の摩耗が大きいという短所がある。

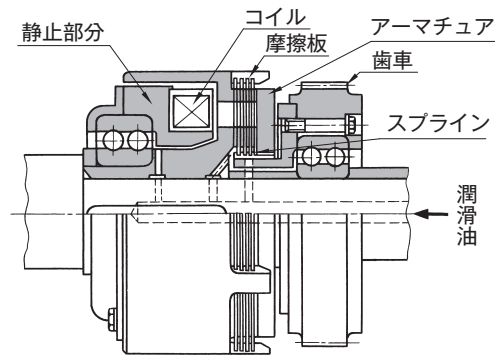
多板クラッチには、乾式と摩擦面を潤滑する湿式がある。湿式クラッチは、連結やしゃ断が滑らか、コンパクトで伝達トルクが大きい、摩耗が少なく寿命が長いなどの長所がある。短所として、熱放散の対策が必要であること、連結・しゃ断時間が長いことなどがあげられる。

① friction clutch



* 電磁石で引き付けられる円板

(a) 単板クラッチ



(b) 湿式多板クラッチ

図10-2 電磁クラッチの例

3 自動クラッチ

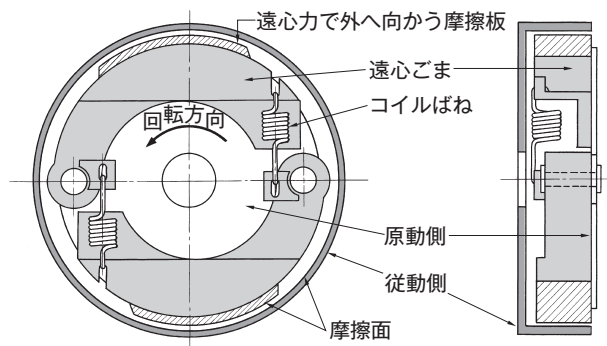
自動クラッチは、回転状態があらかじめ定められた条件を満たしたとき、自動的に動力の連結・しゃ断を行うものである。自動クラッチには、表 10-2 のような定トルククラッチ・一方向クラッチ・遠心クラッチなどがある。

5

よく使われている図 10-3 に示す遠心クラッチを例に、そのしくみを調べてみる。回転が速くなると、遠心ごまに大きな遠心力が加わり、遠心力がこまを引いているばねの力にうちかつと、摩擦板が摩擦面に接触してトルクが伝達される。

表 10-2 自動クラッチの種類

種類	しくみ
定トルククラッチ	あらかじめ定めたトルクを維持するため、自動的にかみあいはずれたり、摩擦面で滑る構造になっている。
一方向クラッチ	1方向だけに動力を伝達する構造になっている。
遠心クラッチ	ある速度を超えると遠心力の作用で原動側と従動側が連結するようになっている。



原動側がはやく回転すると、遠心ごまが外へ広がり、摩擦板が従動側摩擦面に接触し、動力を伝える。

図 10-3 遠心クラッチの例

2 単板クラッチの設計

単板クラッチは、図 10-4 のように両軸の軸端に摩擦面をもつ円板を取りつけたものである。従動側の円板は、スプラインなどを用いて軸方向に移動して原動側の円板に押し付けられ、連結・しゃ断が行われる。

10

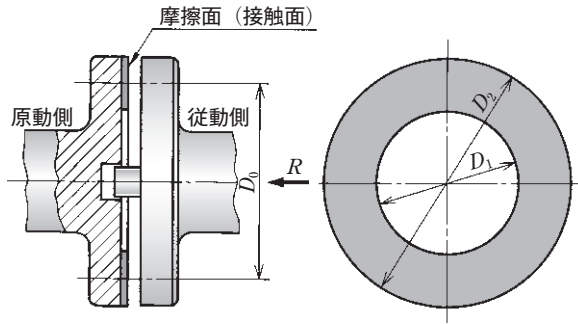


図 10-4 単板クラッチの構造

軸方向に摩擦面を押しつける力を R [N] とすれば、摩擦により伝達できるトルク T [N・mm] は、次のようになる。

$$T = \mu R \frac{D_0}{2} \quad (10-1)$$

ここで、 D_0 ：摩擦面の平均直径で $\frac{D_1 + D_2}{2}$ 、 μ ：摩擦係数(表 10-3) とする。

摩擦面の押し付け圧力(摩擦面の平均圧力) p は、次式により求められるが、表 10-3 の許容押し付け圧力 p_a [MPa] を超えないようにする。

$$p = \frac{R}{\frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)} \leq p_a \quad (10-2)$$

表 10-3 おもな摩擦材の摩擦係数と許容押し付け圧力

摩擦材	摩擦係数 μ		許容押し付け圧力 p_a [MPa]	許容温度 [°C]
	乾式	湿式		
鉄	0.15 ~ 0.25	0.04 ~ 0.12	1 ~ 1.8	300
焼入鋼*	—	0.05 ~ 0.07	0.7 ~ 2	250
焼結合金	0.2 ~ 0.5	0.05 ~ 0.1	1 ~ 3	350
木材	0.2 ~ 0.35	0.1 ~ 0.15	0.2 ~ 0.4	100
皮革	0.3 ~ 0.55	0.1 ~ 0.15	0.05 ~ 0.3	90

注 相手材料は、*印が焼入鋼、そのほかは铸铁または铸鋼である。

(日本規格協会編「JISに基づく機械システム設計便覧」から作成)

10 押し付け力 R が小さいときは、摩擦面間で滑りが生じる。これを利用した操作は、**半クラッチ**とよばれる。

問 1 単板クラッチと湿式多板クラッチの特徴を調べよ。

問 2 図 10-4 の単板クラッチで、 $D_1 = 150$ mm、 $D_2 = 250$ mm のとき、 $R = 40 \times 10^3$ N の力で摩擦面を押しつけている。このとき、

15 伝達できるトルク T を求めよ。ただし、摩擦係数は $\mu = 0.1$ とする。

① 44 ページ。

② クラッチの摩擦面は、原動軸と従動軸の回転速度が同じになるまで滑っているため、動摩擦係数を用いる。摩擦面は強く押しつけられて滑るので、表面が荒れたり温度も上昇する。表 10-3 の摩擦係数はこのような過酷な条件下での動摩擦係数の概略値である。

③ 動力を滑らかに伝達するための操作である。

2 ブレーキ

ブレーキ^①は、機械の運動部分のエネルギーを吸収して熱や電気エネルギーに変え、減速させたり、停止させる装置である。

ここでは、よく用いられる摩擦ブレーキや回生ブレーキについて調べる。

- ① brake
- ② friction brake

1 摩擦ブレーキの種類

5

摩擦ブレーキの作動は、人力によることもあるが、一般に大きな力を必要とするため流体圧や電磁力が用いられる。

表 10-4 におもな摩擦ブレーキの種類を示す。

表 10-4 摩擦ブレーキの種類

種類	用途
ブロックブレーキ	手巻ウィンチや簡単な機械, クレーン, 鉄道車両, 自転車
ドラムブレーキ	自動車, 産業機械
ディスクブレーキ	鉄道車両, 自動車, 産業機械

2 摩擦ブレーキの設計

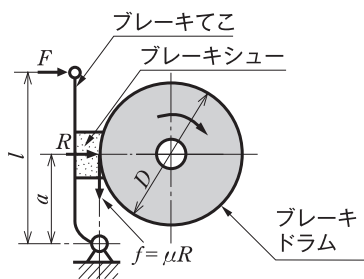
1 ブロックブレーキ

10

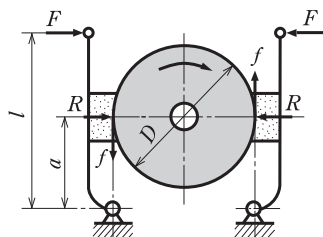
- ③ block brake
- ④ brake drum: ブレーキ胴ともいう。
- ⑤ brake shoe: ブレーキ片ともいう。

ブロックブレーキは、図 10-5 に示すように、回転するブレーキドラム^④に、ブレーキシュー^⑤を押し付けて制動する構造である。シューは、鋳鉄や木材などの摩擦材を用いる。このシューが一つのものを単ブロックブレーキ、二つ以上のものを複ブロックブレーキという。

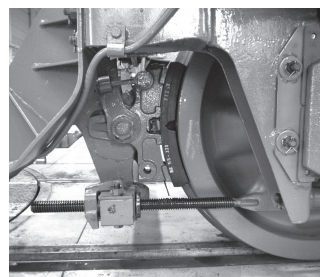
15



(a) 単ブロックブレーキ



(b) 複ブロックブレーキ



(c) 電車に使われている複ブロックブレーキ

図 10-5 ブロックブレーキ

図(a)の単ブロックブレーキにおいて、ブレーキドラムが回転しているとき、ブレーキてこに加える力を F [N]、シューをドラムに押し付ける力を R [N] とすれば、次式がなりたつ。

$$R = \frac{l}{a} F$$

5 摩擦係数を μ とすれば、摩擦係数^① 摩擦係数を μ とすれば、摩擦係数 f [N] は、次のようになる。

$$f = \mu R$$

この摩擦力が、回転方向と逆向きに働き、回転を止めるブレーキ力になる。このブレーキ力によってドラム軸に働くトルクを**ブレーキトルク**という。ドラムの直径が D [mm] のときのブレーキトルク T [N・mm] は、次のようになる。

$$T = f \frac{D}{2} = \mu R \frac{D}{2} \quad (10-3)$$

大きなブレーキ力が必要なときは、摩擦係数 μ の大きな摩擦材を採用するか、この長さ l を長くしてシューを押し付ける力を大きくする。一般に、ドラムとシューの最大すきまは 2～3 mm とし、
15 $\frac{l}{a} = 3 \sim 6$ にする。

単ブロックブレーキでは、ブレーキてこに加わる力 F が大きくなると、ドラムの軸がたわんだり、軸受に大きな負担がかかる。複ブロックブレーキは、図(b), (c)のように、二つのシューにより軸の両側に力を加えてつり合わせるのでこの問題は生じにくい。

20 摩擦ブレーキで使うおもな摩擦材の摩擦係数 μ 、許容押付け圧力 p_a の例を表 10-3 に示す。

図 10-6 のようなブレーキシューでは、シューに働く力を R [N]、押付け圧力を p [MPa] とすれば、 $p = \frac{R}{hb}$ である。押付け圧力 p は、
25 表 10-3 の許容押付け圧力 p_a を超えないようにする。

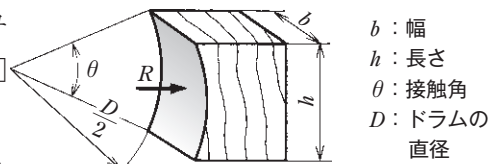


図 10-6 ブレーキシュー

また、ドラムの直径 D に対してシューの長さ h が小さいほど、押付け圧力が均一になるが、一般には接触角 θ が $50^\circ \sim 70^\circ$ 、または $\frac{h}{D} = 0.4 \sim 0.55$ 程度にする。

① ブレーキは、回転しているブレーキドラムが停止するまで、摩擦面は滑っているので動摩擦係数を用いる。213 ページ側注②参照。

2 ドラムブレーキ

① drum brake

図10-7は、複ブロックブレーキと同じしくみで、ドラムブレーキという。ドラムの内側にある二つのシューを外側に広げることによってブレーキ力が働く。シューは、カムや油圧装置などによって広げられる。

5

② brake lining: ブレーキシュー表面に取りつける薄板状の摩擦材をいう。

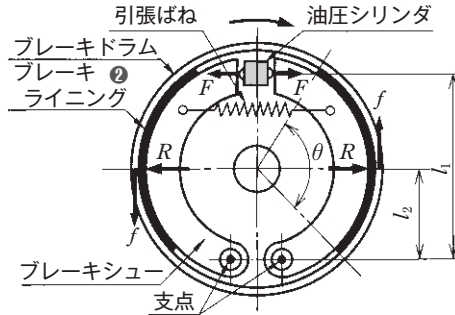


図10-7 ドラムブレーキ

例題 1

直径 $D = 500 \text{ mm}$ のドラムをもつ図10-5(a)の単ブロックブレーキで、ブレーキトルクを $T = 50 \text{ N}\cdot\text{m}$ にしたい。 $F = 200 \text{ N}$, $a = 300 \text{ mm}$, $\mu = 0.35$ とすると、ブレーキでこの長さ l をいくらにすればよいか。また、許容押付け圧力 $p_a = 0.07 \text{ MPa}$ とし、シューの長さ h を 200 mm とすると、幅 b はいくらになるか。

10

解答

ブレーキトルクは $T = 50 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$ であり、式(10-3)により $T = \mu R \frac{D}{2}$ であるので、押付け力 R は、

$$R = \frac{2T}{\mu D} = \frac{2 \times 50000}{0.35 \times 500} = 571.4 \text{ [N]}$$

$$\text{図10-5(a)から, } l = \frac{Ra}{F} = \frac{571.4 \times 300}{200}$$

$$= 857.1 \approx 860 \text{ [mm]}$$

押付け圧力 p は、 $p = \frac{R}{hb} \leq p_a$ であるので、

$$b \geq \frac{R}{p_a h} = \frac{571.4}{0.07 \times 200} = 40.8 \text{ [mm]}$$

よって、 $b = 41 \text{ [mm]}$

15

答 $l = 860 \text{ mm}$, $b = 41 \text{ mm}$

問 3 図 10-5(b) の複ブロックブレーキで、 $l = 1200 \text{ mm}$ 、 $a = 300 \text{ mm}$ 、 $F = 200 \text{ N}$ 、ドラムの直径 $D = 400 \text{ mm}$ 、シューは木材で $p_a = 0.2 \text{ MPa}$ 、 $\mu = 0.2$ 、幅 $b = 40 \text{ mm}$ としたとき、シューの長さ h およびブレーキトルク T を求めよ。

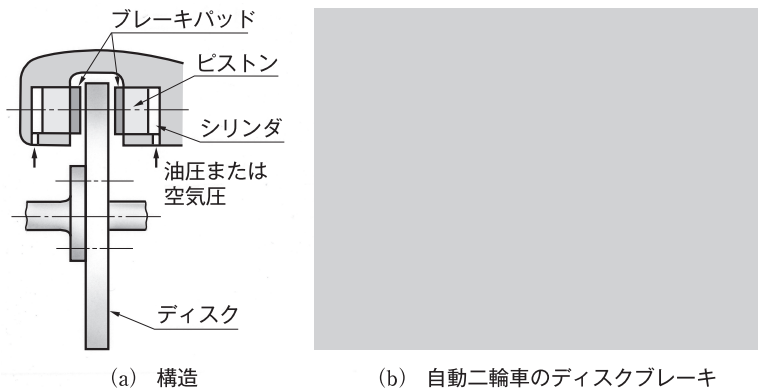
5 3 ディスクブレーキ

ディスクブレーキの例を図 10-8 に示す。車輪とともに回転する円板（ディスク）をブレーキパッドではさむ構造である。

① disc brake

ディスクブレーキは、摩擦面が露出しているので熱の放散がよく、平面どうしの摩擦のために圧力分布が均一で、高速でも安定したブレーキ力が得られるなどの長所がある。このような理由から、乗用車や電車に用いられている。

10

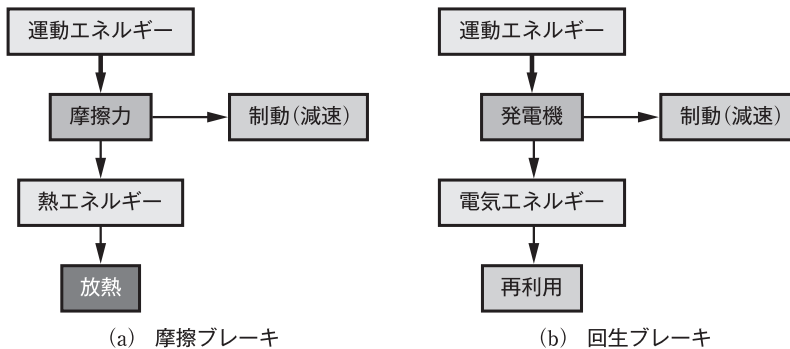


(a) 構造 (b) 自動二輪車のディスクブレーキ
図 10-8 ディスクブレーキ

3 回生ブレーキ

図 10-9(a) のように、摩擦ブレーキは電車などの運動エネルギーをブレーキの摩擦力によって熱エネルギーに変え、空気中に放熱する。

15



(a) 摩擦ブレーキ (b) 回生ブレーキ
図 10-9 ブレーキ作動時のエネルギーの変換

これに対して、電車を駆動するモータは、発電機と同じ構造であるので、ブレーキが必要なときにモータを発電機として使えば、電車の運動エネルギーを電気エネルギーに変えることができ、電車の速度を遅くすることができる。回収された電気は、図(b)のように架線を通してほかの電車に供給されたり、変電所を介して駅やトンネルなどの照明に利用されたりする。これによって、エネルギーの利用効率を向上させることができる。

5

① regenerative brake

② 108 ページ。

このように、運動エネルギーを発電機によって電気エネルギーに変え、減速させるブレーキを^{かいせい}回生ブレーキ^①という。回生ブレーキは、運動エネルギーの一部が再利用されるので、循環型社会^②に対応している。

10

電車以外に、自動車などにも回生ブレーキが利用されている。自動車では、回収された電気は電池に蓄えられる。

問題

1. 電磁クラッチや電磁ブレーキの特徴を調べよ。 15
2. わたしたちの身のまわりにある機械で、クラッチやブレーキがどのように使われているかを調べよ。
3. 本章で扱ったクラッチやブレーキの種類以外にどのような形式のクラッチやブレーキがあるかを調べよ。
4. 図10-4の単板クラッチで、 $D_1 = 150 \text{ mm}$ 、 $D_2 = 250 \text{ mm}$ 、伝達しているトルク $T = 1 \text{ kN}\cdot\text{m}$ のとき、摩擦面を押しつけるのに必要な力 R を求めよ。ただし、摩擦係数 $\mu = 0.25$ とする。 20
5. 図10-5(b)の複ブロックブレーキで、 $l = 400 \text{ mm}$ 、 $a = 200 \text{ mm}$ 、 $F = 200 \text{ N}$ 、 $D = 400 \text{ mm}$ 、シューは焼結合金で $b = 20 \text{ mm}$ 、 $h = 200 \text{ mm}$ 、 $p_a = 1 \text{ MPa}$ 、 $\mu = 0.2$ としたとき、ブレーキトルク T を求めよ。 25