

電車はどうやって曲がるか

Asaks

1. まず地面を走る車について考える。

2 輪 1 軸の^{だいはちくるま}大八車やリヤカーは、ハンドルを引く方向に随意に引いていくことができ、最も曲がりやすい車である。曲がるときの旋回中心は必ず車軸の延長線上のいずれかの位置にあり(図 1)、緩やかに曲がるときは遠くに、シャープに曲がるときは近くにある。人力車や、平安貴人の乗った^{ぎっしゃ}牛車も同様である。

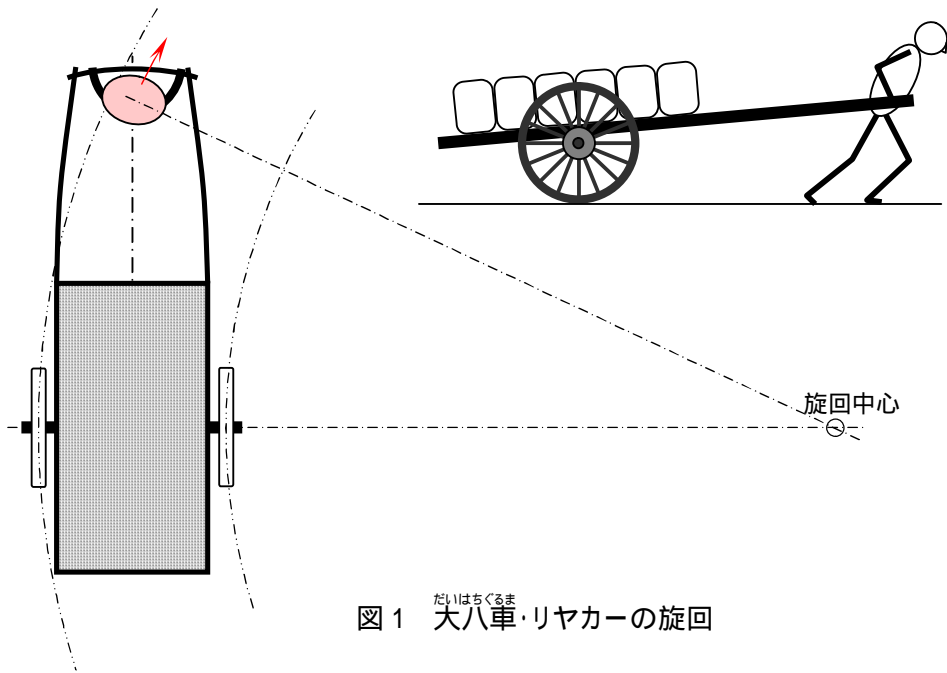
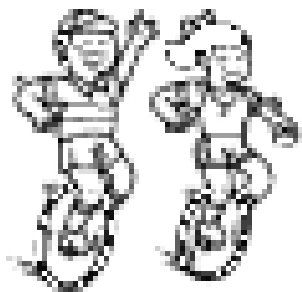


図 1 ^{だいはちくるま}大八車・リヤカーの旋回

一輪自転車や、作業用一輪車もこれらと類似しているが、1 輪では自立しないので常にバランスを取りながら操作しなければならない点が上記と異なる。



一輪自転車



作業用一輪車

次に3輪車について考えよう。子供の**三輪車**や**三輪自動車**は、前が1輪、後ろが2輪1軸である。前輪を人が操向できるようになって好きな方向に車を走らせることができる(図2)。そのさいの旋回中心は、後車軸の延長線上に前車軸の延長線が交わる点になる。

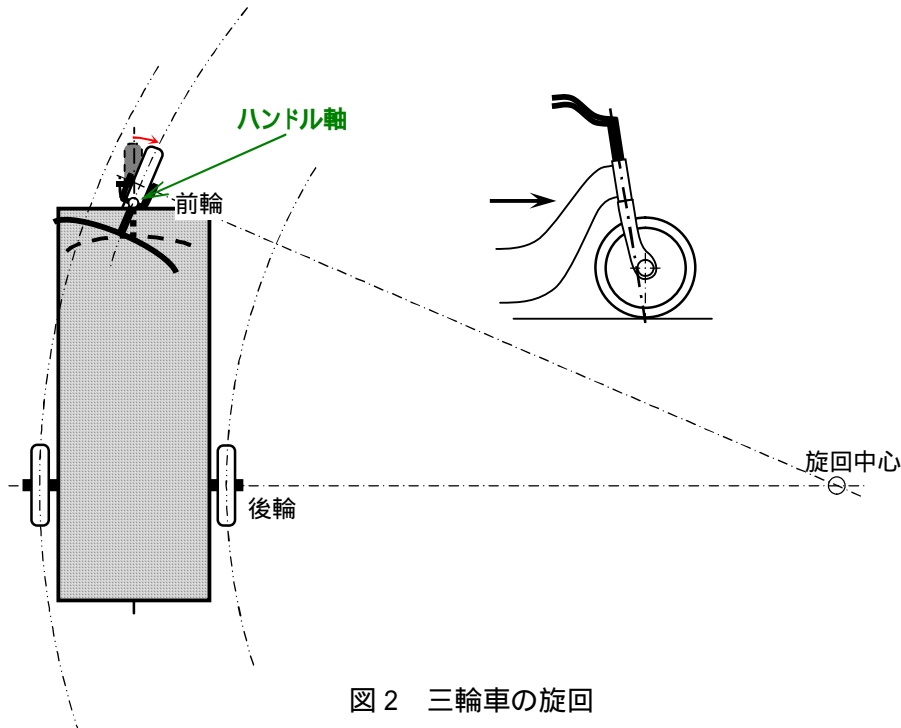


図2 三輪車の旋回

次に4輪車である。**乳母車**や**山車**(だし、やま、銚、屋台)は、車軸が前後双方とも台枠に固定されているため、そのままでは曲がることできない(図3)。向きを変えるには**舵棒**を持ち上げるか押し下げるかして前後いずれかの車輪を浮かせ、一時的に2輪状態にして行なうしかない。重い山車などはそれもできないので、舵棒を横方向に押しして無理矢理向きを変える。そのさい、割いた



図3 車軸が固定された4輪車

青竹を地面に並べて水を撒き、その上を滑らせるようにして向きを変える光景も見られる(「辻まわし」)。

馬車や**牛車**^{ぎゅうしゃ}は、前輪軸が舵棒と一体に中心ピン周りに転向することができるように作られており、人が馬(牛)の進む方向を御せば、車をスムーズにその方向に曲ることができる。そのさいの旋回中心は、固定軸である後車軸の延長線上に、前車軸の延長線が交わる点になる(図4)。

この機構では、片方の前輪が物に乗り上げたときや窪みに落ちたときに前車軸の向きが大きく振れるため、方向安定性が悪いという欠点がある。

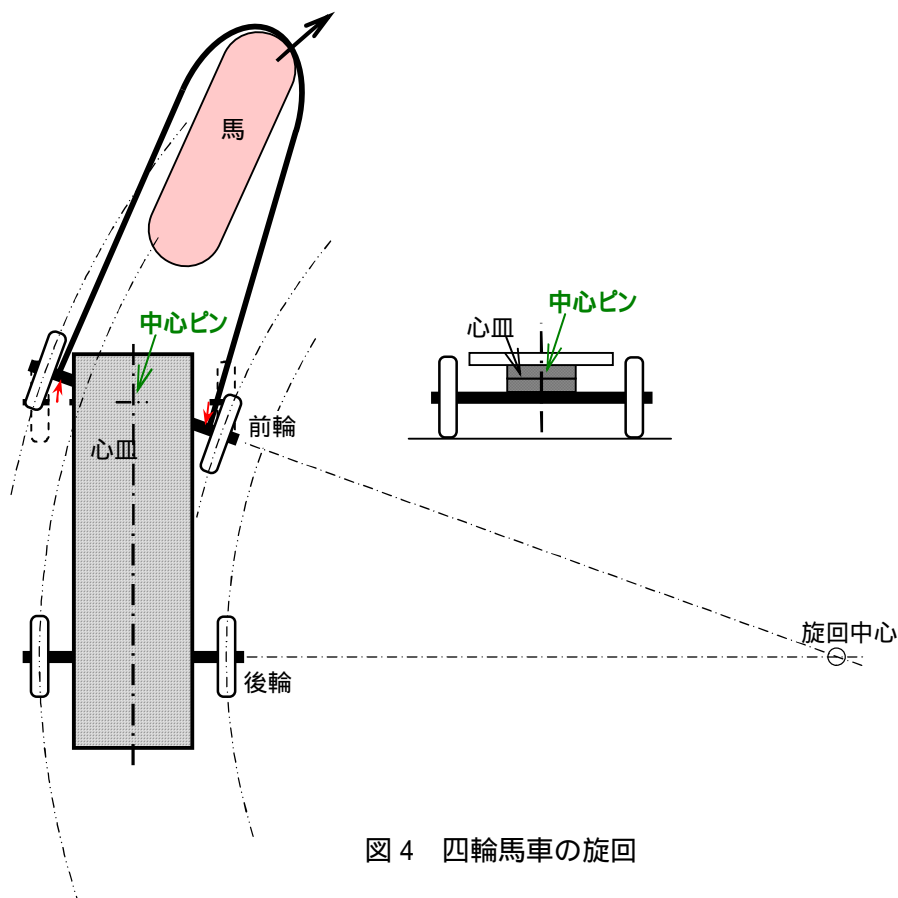


図4 四輪馬車の旋回

同じ4輪車でも、前輪がカスター式になっている**カスター台車**はどうか。カスターというのは、車輪の中心からオフセットした位置に、垂直な首振り軸(カスターピン)を持ち、車輪がカスターピン周りに自在に転向できるもので、走行時は常に車輪がピンよりも後ろになる。

手押し車では、通常、前輪をカスター、後輪を固定とするが、曲がるときは、固定された後車輪の延長線上の旋回中心くるまいすに各前輪軸の延長線が交わる形になる(図5)。ベビーカーや車椅子くるまいすも同

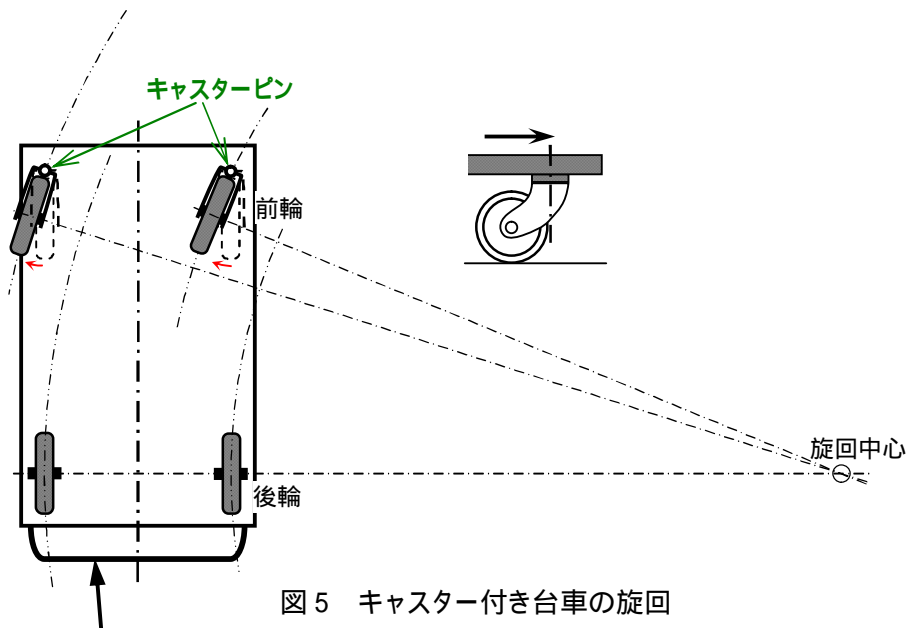


図5 キャスター付き台車の旋回

様である。

キャスター台車は軽く方向が変えられる点はいいが、路面の傾斜に流されるなど、操作性は必ずしもよくない。よくある4輪全てをキャスターにしたショッピングカートは車体の向きとは無関係にどんな方向にも進むことができる。これはレジ台などに横付けするときは都合がよいが、一般通路では進行方向を定めにくく、しかも曲がりにくい。傾斜に流されるのも欠点である。

次に**自動車**はどうか(4輪車)。

自動車は一般に前輪で操向するようにしており、各車輪のほぼ中心に垂直な転向軸(キングピン)を持っていて、そのピンを中心にして車輪の向きを変えることができる(次ページ 図6)。キングピンの延長線が地面に達する点と車輪の接地点とができるだけ近接するようにレイアウトしてあるので、地面の不整にハンドルが取られることが少ない。図示のものは軸梁式であるが、独立懸架式でも考え方は同じである。



図では省略してあるが左右スピンドルはリンクで結ばれ、直進時は左右輪が平行を保ち、旋回時は内輪のほうの切り角がやや大きくなるように設計されている(アッカーマン機構)。旋回時は内輪のほうの方が前方に進んだ形になるので、こうしないと各車軸の延長線が1点に集まらないからである。

以上のように、路上を走る車が旋回するときは、“全ての車輪の軸線が1点に集まる”形になる(旋回中心)。もし1輪でもこの条件から外れるときは、何れかの車輪が少しずつ横滑りしながら走る

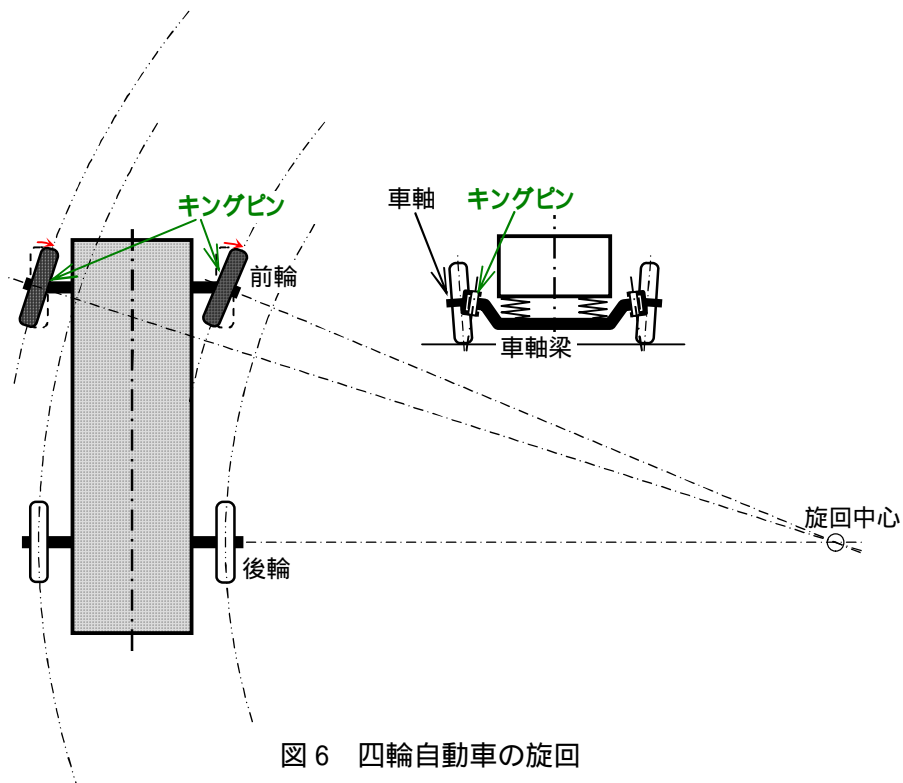


図6 四輪自動車の旋回

ことになり、走行抵抗が急増する。このときどの車輪が横滑りするかは荷重分担により変わり、1点集中条件から外れる車輪だけとはかぎらない。

2. さて、ここからいよいよ鉄道車両の話に移ろう。

はじめに、最も簡単な2軸車の場合である。鉄道の2軸車では、通常、各軸が互いに平行を保つように車体に**固定**されているため(緩衝のため上下は可動)、曲線走行の場合でも車軸の延長線が交わることがない。そのため図7のように、各車輪が転動する方向と、レールにガイドされて実際に進行する方向とに食い違いが生じる。

この食い違い角度を「アタックアングル」といい、図では省略してあるが4輪全てでこの現象が生

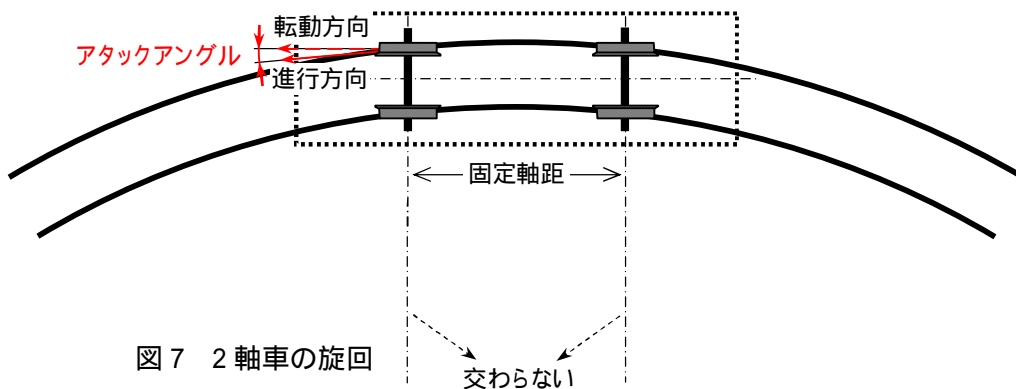


図7 2軸車の旋回

じている。したがって、車輪はレール上を横滑りしながら転動していることになる。線路の曲率に比べて固定軸距(ホイールベース)が大きいほど、アタックアングルが大きくなり走行抵抗が増え、極端な場合は脱線する。

ただ、鉄道線路は道路のようなシャープな曲がり方はないから、固定軸距のかなり大きな機関車や2軸の客貨車でも何とかできるのだが、やはり固定軸距の小さいほうが無理が少い。

そこで長い車両では 図 8 のように、「ボギー台車」を用いて曲線をスムーズに通過できるようにする。ボギー台車は一般に軸距が小さく、かつ車体にたいして自由に転向できるようになっているので曲線の通過が非常にスムーズになる。

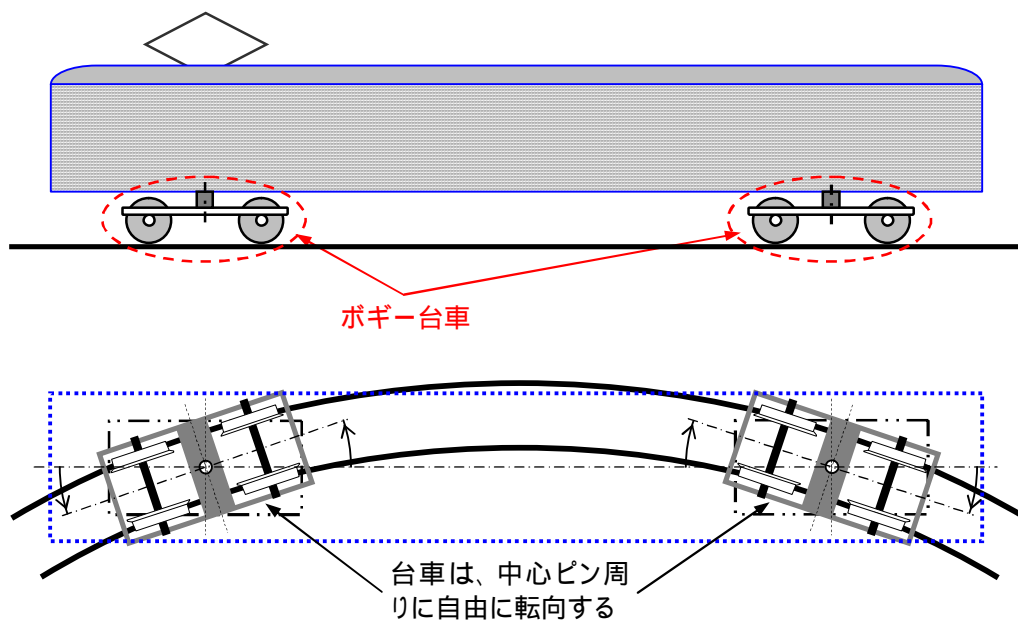


図 8 ボギー車の旋回

台車は2軸のものが圧倒的に多いが、3軸のものもある。また、車体を2つの台車で支えるものが多いが、3つ またはそれ以上の多くの台車で支える車両もある。

3. 鉄道車輪の特徴

ところで、一般に曲線走行するときは、外側の車輪が内側の車輪よりも若干多く進まなければならないが、路上を走る車の車輪は一般に「独立回転車輪」である(駆動輪であっても差動装置を持つ)ことから自然に回転差に対応できるのにたいし、鉄道の車輪は車軸に固定されている「左右一体回転車輪」であることから、左右の進み方が同一である。この問題にたいし、永い鉄道技術の発達過程で、車輪踏面(レールに接する円周部)をテーパ(円錐形)にすればよいことを見いだした。

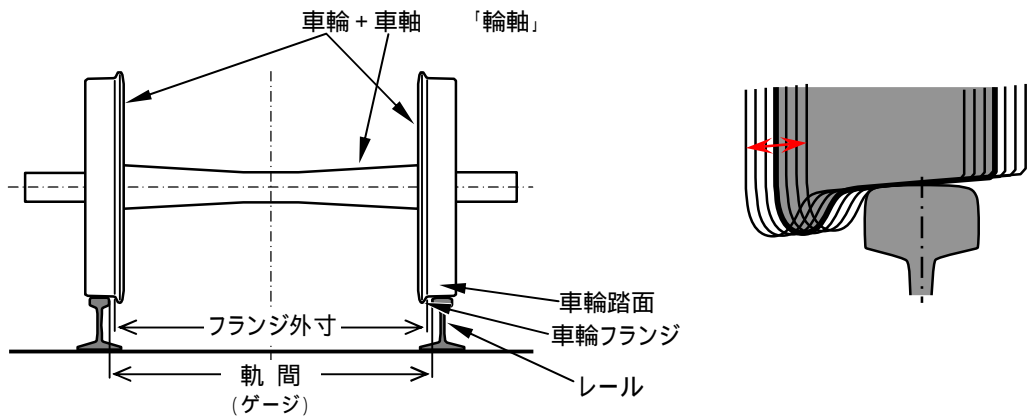


図9 鉄道車輪

テーパの程度は、従来、1/20 が多く採用されてきたが、高速化に伴って複合テーパや円弧のものが賞用される傾向にある。

ご承知のように鉄道車輪にはフランジ(外縁)があるが、フランジ外寸は軌間よりもやや小さくしてあって、走行に伴って図9右のように左右にシフトできる余裕を持っており、車輪が外側へシフトしたときは、上記テーパの作用によって直径の大きいところがレールに接し、反対に内側へシフトしたときは直径の小さいところがレールに接する。

今、左右の車輪の踏面だけに着目すると、図10(上)のように輪軸は円錐体を底面どうし接合し

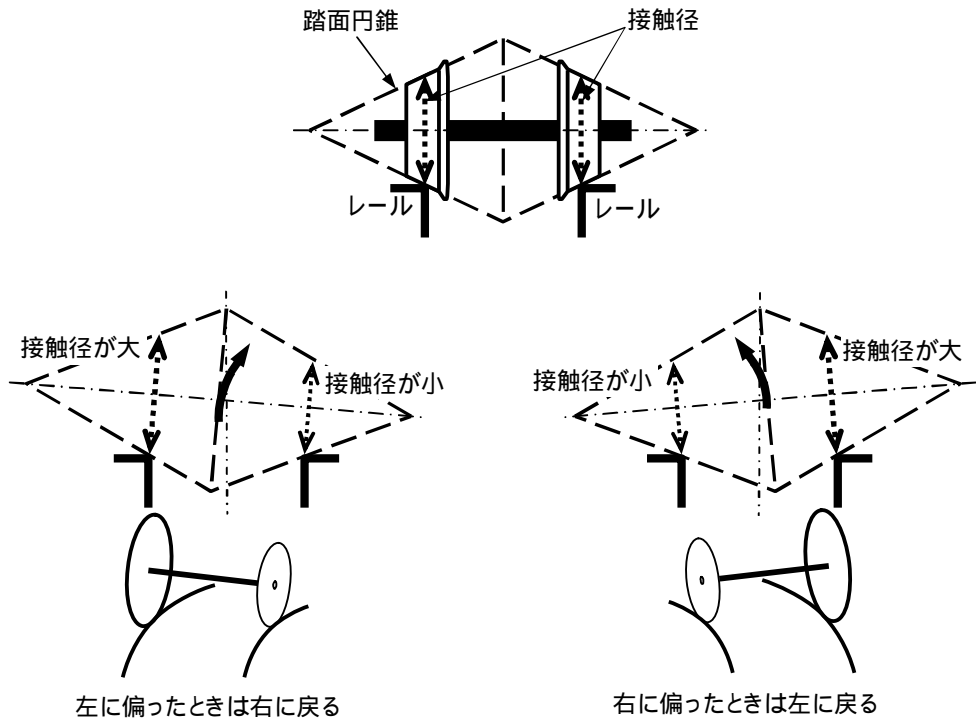


図10 輪軸の旋回

たものであると見做すことができる。これがもしも右カーブに差し掛かると、直進してきた輪軸は 左側が直径の大きいところで転動し、右側が直径の小さいところで転動する。その結果、左側が進み、右側が遅れることから、自然に進行方向が右に曲がる。左カーブに差し掛かったときはそれと反対で、自然に左に曲がる(図 10 下)。

このようにして、鉄道の車輪は踏面テーパーに基づく周長の差によって、フランジの引っ掛かり作用に期待しなくても曲線をスムーズに通過することができるのである。車輪の厚みの関係から輪軸が左右にシフトできる範囲は限られており、したがって周長差だけによって旋回することができる曲線の程度も限られるが、鉄道の曲線は概して緩やかであるからこれでよいのである。

しかし、急曲線や分岐器のところでは周長差だけでは追従することができず、フランジがレールに当たって誘導される状態になる。こういう状態では、いずれかの車輪が前後方向に滑りながら転動し、キーキーとかチーチーというきしり音を発する。内外輪どちらが滑るかは荷重分担状況による。

曲線走行時の周長差を大きくするため、曲線部ではその曲率に応じて軌間を若干広げてある。これを「スラック」という。

鉄道の車輪にテーパーが付けてあることは、時として高速時に左右に行ったり来たりする「蛇行動」を起こす原因にもなっており、これを避けるため、単純なテーパーではなく、複合テーパーや円弧の踏面も採用されている。台車が転向するときにある程度の摩擦抵抗を与えたり、揺動を抑えるヨーダンパーを取り付けたりしたものもある。

また、車軸の軸線を交わらせるため、自己操舵作用による輪軸単独の転向を許容すべく、各軸受部をXリンクで結んだり、軸受支持部にある程度の前後方向の自由度を与えた台車(図 11)も実用化されている。

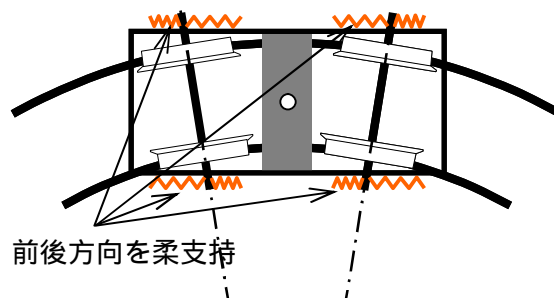


図 11 自己操舵台車