

LEGO を用いた遊園地の再現 ーメリーゴーランドの製作ー

三輪 宗

1. はじめに

今回の研究で、レゴを利用して私が作ろうと思ったのはメリーゴーランドである。たいていの遊園地にあるこの乗り物であり、面白い機構が1つ含まれている。それは馬がそれぞれ中央に連結され、一定の速度で中央に対して円を描いて動き、さらに優雅に上下するという動きを実現している機構、スライダー・クランク機構である。



図1

今回再現を試みたメリーゴーランドの動きは、「ある部品(馬)が上下しながら、中心の周りを円状に回る」という動作である。

2. 機構作り

2.1. 動力源

まず作り始めて発覚した最初の問題点は、動力源の確保ということである。馬が上下する運動は、クランク機構やカム機構で再現できるものの、それがさらに違う平面で円運動をしなければならない。もし、それらを「普通」にモーターを使って実現させるなら、2つの動力源が必要となるはずである。

これが、実際のメリーゴーランドなら、それほど問題にはならない。地中にモーターを埋め込んだり、真ん中に大きなモーターを設置したりしても、隠すことができる。だが、レゴのモーターはかなりかさばる。もし1つ

のモーターによって回転する円盤(土台)を作って、さらにその上にクランク用の別のモーターを設置してしまったら、機構自体がものすごく大きくなることになる。モーターは重いので、回転を安定させるために反対側に重石としてもうひとつモーターを乗せる必要がある。

そこで、私は動力源を1つに限定することにした。つまり、最初に円盤(土台)を回転させ、さらにその回転を利用して、クランク機構やカム機構の、縦の回転を実現しようということである。これは、機構全体の設計上のコンパクト化にも繋がるし、パーツも少なめでいいので便利である。回転数の調整やカム・クランクのうちのどちらを使うのか、などは後で十分改善できるので、とにかく動力源の限定が最優先となった。

2.2. 二重回転

ここで、土台を軸に固定させて、中心に回転させる。つまり、軸が回り(回転1)、それに固定された土台が回る(回転2)状況を作り出す(全く違う回転が別々に存在する)。つまり、1つの動力源から馬が回転する動きと、馬が上下する動きは、別々に作らなければならないということである。そこで、回転している土台に対し、上から(地面から柱をたて、上で板を渡して固定してある)別のギアを降ろした。

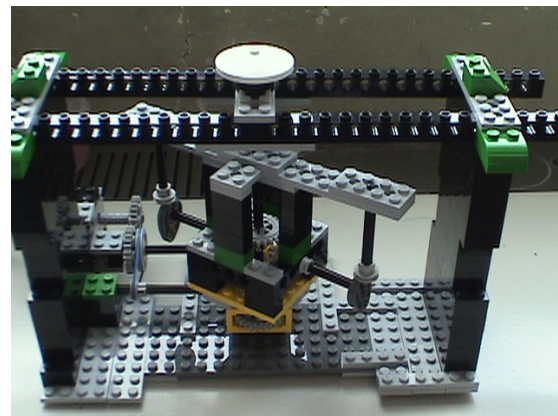


図2

図2で、円盤が一番上にあるが、この部分は完全に左右の柱に渡してある棒に固定されていて、動かない。それに連結した棒(これを棒Aと置く)ももちろん動かない。図2で下の部分(四角い直方体)が回転する部分。

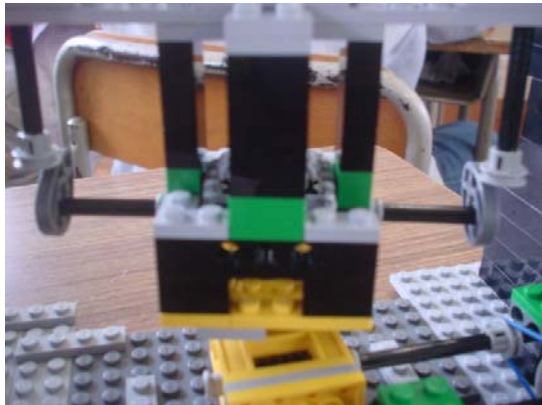


図3

ここが回転する部分。下のボックスから回転方向を変えられた軸に対してすえつけられ、ゆっくりと回転する。

さて、固定された軸とこの回転する部分がかみ合うときに、ギアを入れて回転させる機構が今回の機構。

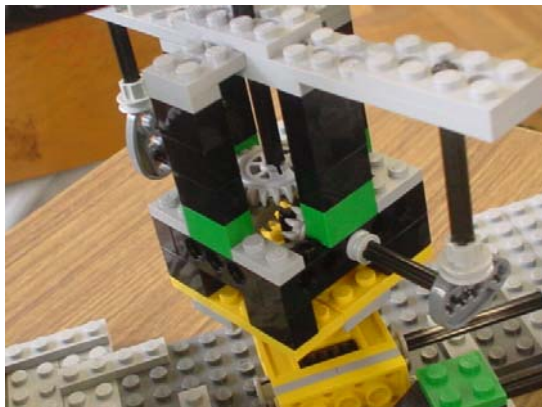


図4

回転する部分から横に突き出している棒を棒Bと呼ぶことにする。これはただ単に通してあるだけで、自由に動く。それに対し、棒Aがかみ合うことで、棒Bは回転部分が動くにつれ、くるくると回転するというわけだ。これで、動力源1つで、地面に垂直な回転と平行な回転2つをそのまま再現した。

2.3. 回転速度

メリーゴーランドのもう2つのポイントは、メリーゴーランドの回転がゆっくりだという

点だ。メリーゴーランドをレゴで縮小して再現するのだから、あまりにもスピードがありすぎでは、動作を正確に再現したことにはならない。

また、下の図5の通り、レゴではモーターは元々地面に対して平行に回転軸が飛び出ている。この回転軸を地面に対して垂直にしなければ、メリーゴーランドにはならない。そこで、まず動力源を設置後、プーリーでつなげた。

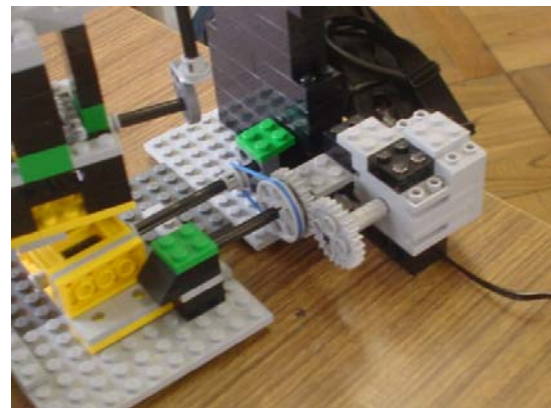


図5

続けて、上の写真の左に見える黄色いボックスに、ウォームギアを入れてある。ウォームギアは、以下の4つの大きな特性を持つ。

- ① 回転の方向を変える。
- ② 回転数を大幅に落とす。
- ③ ②の役割しか出来ない(逆にして、回転数を大幅にあげようとする事はできない)。
- ④ ③と同じことだが、回転を変える方法は一方方向でしかない。(x軸で回転していたものをz軸回転には変えられても、z軸で回転していたものをx軸回転に変換はできない)

今回は、①と②の特性を利用した。まず、ウォームギアのボックスは、平べったいので、それほどスペースを取らずに使うことが出来た。ちなみに、回転数を落とす正確な比率は、

$\frac{1}{16}$ 。つまり、モーターの速度を大幅に落とす

す $\left(\text{角速度を}\frac{1}{16}\text{に}\right)$ することができた。

2.4. 上下運動

回転運動を今度は上下運動に変える必要が

あったので、それを行うため、クランク、またはカム機構を利用しようとした。

クランク機構とは、下のような図である。

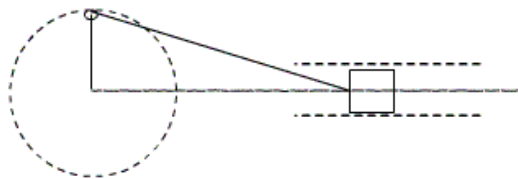


図 6

正確には、往復スライダークランク機構と呼ぶ機構である。円の部分が回転するにつれ、右のシリンダー内に動きを制限されているパーツが往復するようになっている。しかし、これには1つ問題があった。スライダークランク機構は、回転が大きすぎると、スライダーの動きがカクカクしたり、その機構の一部に負荷がかかりひっかかりやすい。また、レゴで作ろうとするとかなり大きくなる。そこで、今回は、カム機構を採用することにした。

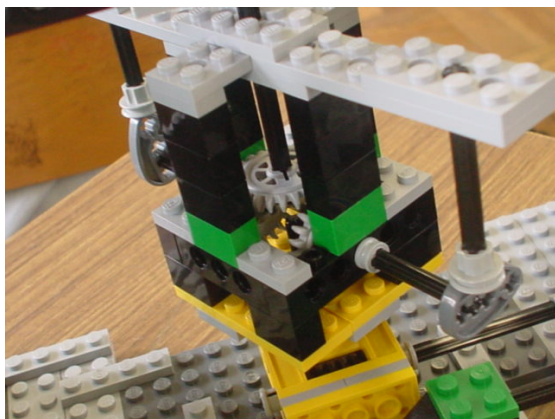


図 7

図7の右下の部分に、軸の先に変な形をしたパーツがカムである。カムとクランクの大きな違いは、クランクは、固定するのにシリンダーとリンクを利用し、動きが完全に縛られているのに対し、カムは固定している点が少ないところだ(今回利用したカムの場合)。

カムは、下の図のように不規則な形をしたプレートを回転させ、プレートが回転するにつれ、その凹凸によって棒が往復する仕組み。棒がプレートに押し付けられるよう、バネや重力を外力として使っている。

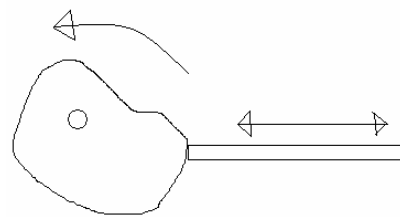


図 8

カムにはクランクと比べての利点が存在する。その1つは、カムプレートの形を変えることができるという点あげられる。クランクの場合、往復運動は、完全に単調な動きになる。しかし、カムの場合、カムプレートの形を変えれば、カムプレートが1周する間の往復運動を自由に変化させられる。つまり、往復運動に関する初歩的なプログラミングができるということである。残念なことに、レゴにはカム専用のパーツはなかったので、今回は写真の卵形のプレートパーツを使用した。

3. 改善点

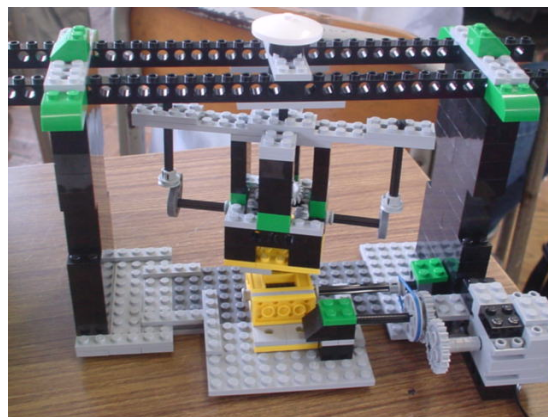


図 9

図9が完成した機構である。しかし、今回作った作品には、色々と改善点があった。

1 点目はコンパクトさである。図9のように、横にある2つの黒い柱によって、わざわざ固定を行っている。これは明らかに効率が悪すぎるし、スペースを取りすぎた。

2 点目は動作の滑らかさである。カム自体はそれほどかくかくしなかったが、回転も若干、ひっかかりたりしていたので、もう少しカム機構を組むときに、機構全体の動作に余裕(自由をゆるくする)を入れて考えておくべきだった。

3 点目として、強度の問題である。この作品は、見た目以上にろい。柱を片側に集中させるかわりに、それを太くして強くする、など強度の補強を行う必要がある。

4. 機構の中の数学

今回利用したカムは卵形であるが、カムによる棒の規則的な往復運動を、カム曲線と呼ばれる曲線にできる。ただ、それを理解するには大学で学ぶ力学などを学ぶ必要があるので、今回は参照程度にとどめておく。変移(カムが回転するにつれて、カムによって教えあげられたパーツの変移)と時間、回転角との変移の変化は、カムの形状によって決まり、その後は一周ごと(2π)の周期を作るので、三角関数、または周期関数で表現できる。

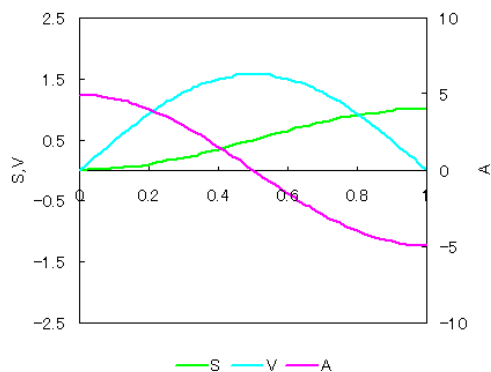


図 10

特定の形をしたカムの曲線は、加速度(A)速度(V)などがすべて三角関数になる。

次に、何故、クランク機構の再現が難しかったかを考える。

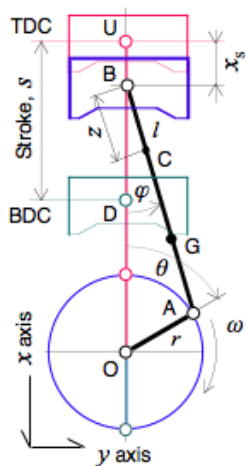


図 11

クランク機構は、図 11 のようなモデルで示される。当然、クランクの回転部分の半径 r とピストンを押す足の長さ l の間には $r < l$ という関係が成り立たなければ成らない。もし、 l のほうが短ければ、ピストンが引かれたとき、回転部分にぶつかってしまうからである。

ここでレゴの標準的な車輪パーツを回転部分に使ったとする。その半径 r は 3 ブロック分。よって、押す部分の長さ l は 3 以上ではなければならない。なので便宜上 4 とする。すると、ピストンが伸びきった状態の機構の縦の長さは $3 + 3 + 4 = 10$ ブロック分になる。

その下にピストンの動きを上下だけの直線運動に限定する装置をつけるとして、さらに 3 ブロック使うので、合計 13 ブロック分の縦の長さが必要となる。これは、車輪部分がわずか 3 しかないのに、4 倍以上の大きさの機構を造らなければならないので、とても非効率だったということが、数学的な面からもわかる。

4. おわりに

今回は、カム機構の中に数学を発見しようとしたが、機構の難易度(製作途中)では、動力源の限定のほうが難しかった気がする。また、カム機構の数学的な考察に完全に踏み込むことができず、三角関数になるようだ、というあいまいな形で終わってしまったことが残念。いつか大学で勉強して、これらの曲線について勉強したいと思う。

参照 Web サイト

図 1 <<http://www.wallpaperlink.com>>

[2007 April 15]

図 6 往復スライダクランク機構

<<http://e-tech.life.hyogo-u.ac.jp/kyouzai/mechanism/file/ohuku.html>> [2007 April 15]

図 10 カム曲線事典

<http://hp.vector.co.jp/authors/VA041064/structure/cam_curve_dic.html#sh> [2007 April 15]

図 11 ピストン・クランク機構

<<http://www.geocities.jp/bequemereise/piston-crank.html>> [2007 April 15]