

# レゴを用いた機構製作

## －観覧車から扉の開閉運動への発展－

榮 和朗

### 1. 観覧車の製作

#### 1.1. 製作動機

まず始めに、「遊園地のアトラクションの機構をLEGOブロックで再現しよう」という課題が出たとき、僕は観覧車の機構の再現に挑戦することにした。これは遊園地のアトラクションを頭に浮かべながらLEGOを眺めていたとき、ゴンドラを常に下に向けていく方法を思いついたからだった。

#### 1.2. 試作品とその問題点

図1が最初に製作した観覧車である。モーターからの観覧車本体への力の伝達は、本体を回転する軸まですべて歯車のみで行った。この時、観覧車本体の重量がモーターの回転速度に対して重すぎて、そのままではうまく回転が伝わらなくなるので、歯車を用いて回転速度の減速を試みた。これは「KMODDL」で紹介されている図2の機構を用いた。



図1



図2

<http://kmoddl.library.cornell.edu/model.php?m=14>

歯車の数に限度があったので、これによってできた減速は、

$(8 \div 40) \times (24 \div 40) \times (16 \div 24) \times (40 \div 24) = 2/15$   
にすることしかできなかった。

また、ゴンドラを作る際、乗客が回転せず常に下向きになるよう、軸を通して作った。



図3

減速により回転はするが、実際の大きさにして考えてみると中に乗る人が目を回す程度ではすまないと考えられる回転速度になった。それと観覧車本体が重すぎたためその重さに耐えられず、これを支える唯一のものである

軸がしなってしまった。このため歯車のある支柱に本体が引っかかってうまく回転しにくくなってしまった。

### 1.3. 改良品と改良点

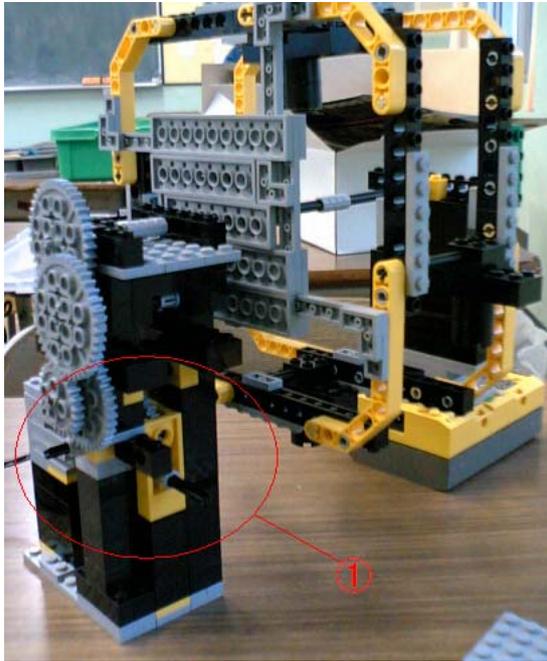


図 4

図 4 が改良品である。まず始めに、重すぎて軸がしなってしまう問題の改良について説明する。この問題は、観覧車の本体が軸の先端にあり、その軸を支えるものが 1 本の支柱だったためしなったのが問題だった。これを改善するために支柱を 1 本から 2 本に増やし、両側から支えることによってしなりはおさめることができ、この問題は一応の解決を見ることができた。

次に、今回の改良の主要目的となった回転速度の減速について説明する。これはウォームギアと呼ばれる機構を用いて改善することにした。これは円柱にらせん状に連続して歯を刻んだようなギア「ウォーム」と「はす歯車」を組み合わせることによって、回転軸を 90 度回転させ大きな減速比を得ることができる機構である(図 5)。この機構はもとから LEGO にそのためのパーツがあり、それ(図 6)を図 4 の①部分に組み込んだ。



図 5

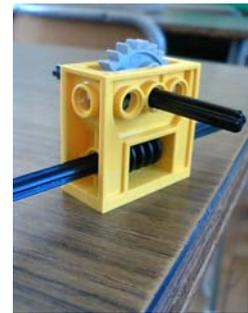


図 6

この図 5 の機構は「KMODDL」でも紹介されている。

(<http://kmoddl.library.cornell.edu/model.php?m=14>)

図 6 のウォームギアの減速比は約  $1/15$  であった。これらのことから、この改良した観覧車ではギアの回転速度を元のモーターの回転速度に対して

$(1 \div 15) \times (8 \div 40) \times (24 \div 40) \times (16 \div 40) = 2/625$  まで遅くすることができ、これは先の試作品の  $3/125$  という大幅な減速に成功したことになる。また、回転速度は目標の原寸大にしても大丈夫、とまではいえないものの、その速度自体は観覧車が一番下で乗り降りするときに出す速度程度にはすることができた。

### 1.4. 観覧車についての考察・反省

今回やった観覧車の製作は、それ自体は観覧車として回転速度もしっかりと落とすことはでき、ゴンドラもうまく再現することができた。また、他の人があまり手間をかけられなかった安定性や頑丈さは相当向上させることに成功した。しかし、そもそものこの観覧車の製作が、機構の再現の手段の 1 つであったことを考えると、この観覧車はあまりよい作品ではなかったといえる。

その原因は、この観覧車の製作の成功の一因でもある、含まれる動きの少なさにある。このため、この観覧車の製作は必然的に必要となる機構の数が少なくなってしまった。しかも再現すべき唯一の運動でもある回転運動は、モーターの基本の動きであり、このため製作において主に考えなければいけないことは力の伝達方法となった。つまり、この観覧車には考察できる動きや機構が極端に少ないという欠点があった。

## 2. 自動ドアの製作 1-扉部分の製作

### 2.1. 動機

前回の観覧車の製作では、機構の少ないことにより深い考察ができず、行き詰ってしまった。そのため、その次に製作するものを自分でも難しいと思えるものにすれば、十分な考察ができると考えた。そこで、自動ドア、つまり扉の自動開閉の再現を試みることにした。

また、これを思いついたのには観覧車も少なからず関係している。観覧車の製作が一応の完成を見たとき、あまりにも簡単な仕組みしかなかったため、もう少し動きを増やそうと回転速度の変化とゴンドラの扉の自動開閉ができないかと考えた。これは実際の観覧車では乗降の際には動きが少し遅くなり、また扉を開けたり閉めたりする必要が出てくるからである。しかし、これは最初から失敗してしまった。それらを付けるスペースが足りなかったのである。私の製作した観覧車にはもともとゴンドラを再現するため枠組みが二重であり、またゴンドラをぶら下げるための軸が枠の外のほうまで達していた。このため、新たな機構をつけるには観覧車の土台を持ち上げ、新たに下につけなければならなかった。しかし、これにはブロックが足りなかった。また、枠の安定性を考えると間にはさむゴンドラを大きくすることもできず、機構を組み込む余地はなかった。これらのことから観覧車におけるこれらの動きは再現することはできなかったが、次に生かすことはできた。

### 2.2. 構想

まず、ドアをどう開閉させるかではなくドアをどのような形にするかについて考えた。自動ドアによくあるスライド式のものや最も身近に多くある蝶番を用いた開き戸、再現が難しそうなお回転扉なども考えたが、今回はバスや一部の電車などに見られる折り戸を再現してみようと思った。

再現する時の難しさや必要な部品の数などを考慮して、折り戸の中でも片側が固定されていて2枚折りになるものを再現することにした。

### 2.3. 製作

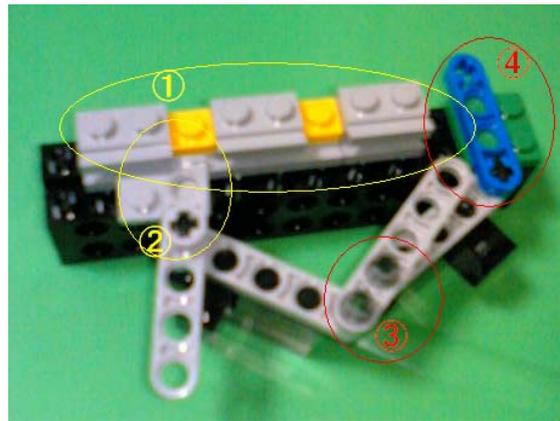


図7

まず、図7の①②の部分がこの機構の要である。これらは図8の部品の組み合わせで成り立っている。①の部分は上と下の両方にこの部品を使うことによりレールの役目を果たさせ、②の部分にあるこのパーツを挟み込ませることでスライドさせるようにした。これで折り戸の「動き」として最も難しい部分を再現することができた。

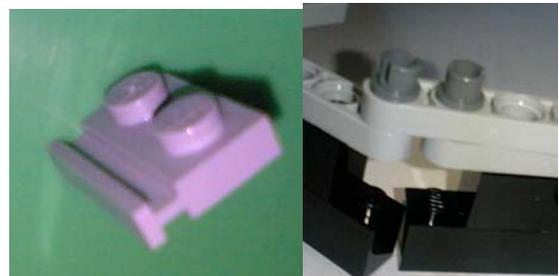


図8

図9

③の部分は扉同士の接合部分である。図9のように2つのパーツを穴を通してパーツでつなぎ、それぞれひとつ分の穴しか固定しないことにより動きに大きく自由を持たせ、扉部分を折り曲げられるようにした。

④の部分は扉の固定部分である。また、これは②にも共通することだが、②の部分が左右に移動することにより扉の部分とスライド部分のなす角度が変化する。そのままでは壊れるどころかぴくりとも動かないので、③の部分と同じくスライド部分と扉部分、それぞれを穴ひとつ分ずつ棒を通してつなげて角度が変わっても大丈夫なようにした。

## 2.4. 問題点



図 10

まず、図9に示したように、図7の②③④の回転の自由度が高すぎて変な角度まで曲がるようになった。しかも厄介なことに、毎回こうなるのではなくそのときそのときによって角度が変わってしまい、いい対処法を考え付くことができなかった。

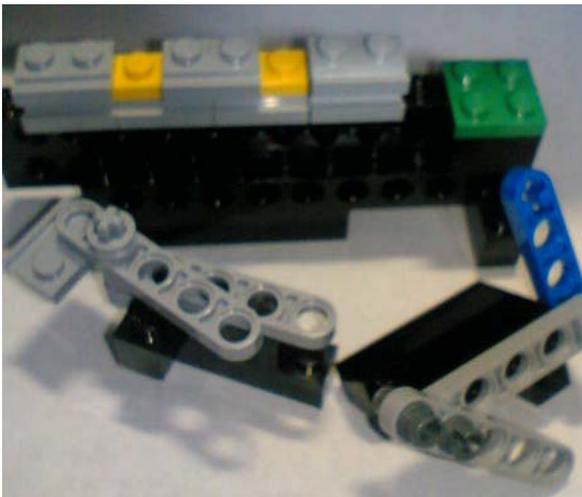


図 11

次に、強度の問題だった。先と同じく②③④の部分に問題が発生してしまった。穴を通した連結は、LEGO 本来のブロックをはめることによる結合とは異なるので、かなり外れやすくなってしまったのだ。さらに、レールとして用いたあのパーツも、本来の用途と異なったのか安定してスライドせず、その結果慎重に動かさないとすぐに図11のように壊れてしまった。

さらに、もうひとつ見逃せない問題点がある。図8のレール用のパーツにあった。

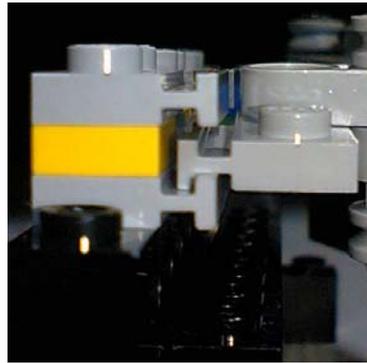


図 12

図12を見ればわかるが、右と左の高さの差が中途半端になってしまうのである。このせいで、左のレール部分を固定して同時に右側のスライドする部分を何らかの動力源とつなごうとすると、それらを同じ高さに固定することがどうしてもできなかったのだ。このとき、無理にくっつけるとレールの起動が水平に対して斜めになってしまうのだ。このため、たださえ不安定なレールの移動が引かかって、うまく滑らないようになってしまった。また、この引かかったとき無理に動かそうとすると今度は先に言ったように分解してしまう。他にも、この部分は高さだけではなく水平方向にも長さが不安定であり、ブロック部分から出っ張っている分の長さは、ブロック1つの半分というかなり不便な長さになってしまった。

## 2.5. 改良案の考察

今回の政策ではいくつかの問題点を抱えたここまでのものしか造ることはできなかったが、その過程で考え付いたが、実現までには至らなかったいくつかの改良案について考察してみたいと思う。

まず、図8のパーツによって生じる中途半端な長さの内、高さの問題。これは固定や安定にかかわる部分が大きかった。そこで、対処療法に過ぎないが、全体としてのゆがみを小さくすればいいと考え、固定する部分のパーツを長くすることにした。これにより、機構の部分にかかる負荷を減らすことができた。

次に、水平方向のずれの問題。これは、運よく自分の家にあるLEGOのパーツの中から良いものを見つけられた。2ブロック分の長さで下は2ブロック、上は1ブロックというパーツで、ちょうどよく問題を解決することができた。また、これと先にあげた方法で何

とか扉部分を板状のパーツとつなげることはできた。

最後に、図 11 のように壊れてしまう強度の問題について。これは構想だけで実行に移せなかったが、扉部分のパーツ上下にレールをつけてしまうというものだった。私は個人でやっていたため図 8 のパーツが足りなくなかったが、これはかなりいい方法だったと思う。これなら先にあげた 2 つの問題も、扉部分が支えの部分と独立できるので一気に解決したはずだ。

### 3. 自動ドアの製作 2—水平移動の再現

#### 3.1. 指針

3. で製作に挑戦した自動ドアの扉部分の機構は何とかできたので、今度はその開閉を行う動きを生み出す機構を製作することにした。まずドアの開け閉めをするにはどのような動きが必要か考えた。これは手で持って動かしてみればわかりやすく、扉の固定されていないほうの端をレールに沿って前後(左右)にスライドさせればよかった。他にもレールのスライドする部分を直接動かすという方法もあったが、扉のほうが大きく接合にも自由性があったので、今回は扉の端を前後に移動させることにした。この動きを再現するためにまず必要な事を考えた。このとき必要な動きは直線状に往復する運動だったが、モーターの動きは基本的に円運動である。そのため、円運動を直線運動に変換する機構が必要となった。それを KMODDL で探していて見つかったのがクランク機構(図 13)である。

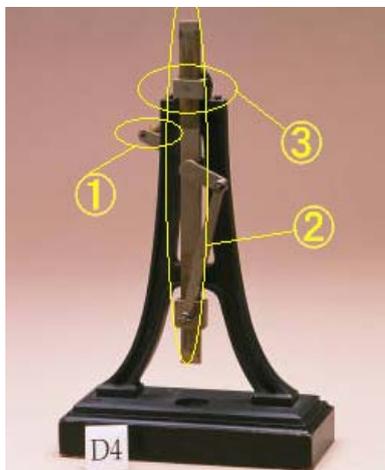


図 13

(<http://kmoddl.library.cornell.edu/model.php?m=20>)

図 13 に示したクランク機構では①のハンドルを回す回転運動が②の棒を動かし、その動きの方向を③の部分で制限することによって上下に直線的な往復運動を生み出させている。

#### 3.2. 試作

まず、クランク機構がどのような動きをするか調べるために簡単なものを作りその動きを分析してみた。

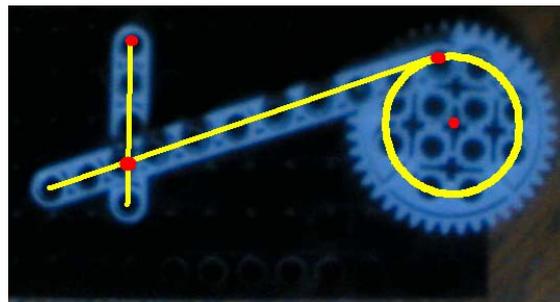


図 14

#### 3.3. 製作

試作品ではだめだったので、今度は違う方向から挑戦してみた。試作では、円運動する 1 点から常に同じ距離を保つ点の動きに、もうひとつの定点からも常に一定距離であるという条件を加えた。しかし、定点から等距離という点はそのまますべてを描くので、これから完全な直線運動を生み出すのは困難だった。そこで、もうひとつの条件として、自動ドアの機構の製作でも用いた、レールのような定められた所しか動けなくするような方法を用いることにした。そのままでは円運動によって LEGO の向きがずれて動かなくなるので、右のパーツを使ってそういうずれを無視できるようにした。また、斜めになると引っかかってうまく動かなくなるが、ぴったりとし高さを同じにすると今度はレール部分に使った LEGO の突起に引っかかり動かなくなる。そのため、僕は土台部分の高さを同じにしながらかつ引っかからないようにするため、表面に突起が無い LEGO を用いてレール部分を作った。

#### 3.4. 数学的考察

3.3. で作った機構において往復運動する部分の動きを数学的に分析してみた。

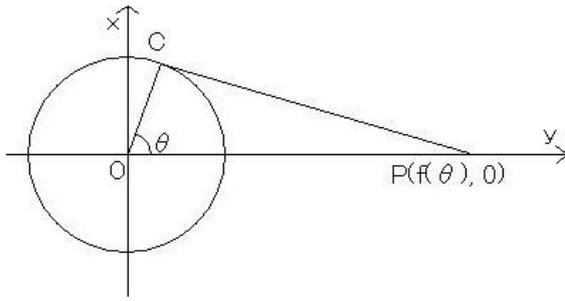


図 15

分いろいろと考えることができ興味深かった。だからこの研究は、将来の進路の決定にもつながったと思う。

歯車の中心を原点  $O$  とし、往復運動する部分に乗っているレール部分を  $x$  軸とした  $xy$  座標系を考える。このとき、棒の歯車に固定されている点を  $C$ 、 $x$  軸上を往復運動するもう一方を  $P$  と定める。 $OC$  と  $x$  軸がなす角を反時計回りを正として  $\theta (0 \leq \theta < 2\pi)$ 、この円の半径を  $r$  とすると、 $C(\cos \theta, \sin \theta)$ 、 $P(f(\theta), 0)$  ( $f$  は関数)、と表すことができる。このとき、 $CP$  の長さは一定なので、これを  $R$  とする。

このとき、 $C$  から  $x$  軸におろした垂線の足を  $H$  とし、三角形  $CHP$  に三平方の定理を用いると、

$$R^2 = r^2 \sin^2 \theta + \{f(\theta) - r \cos \theta\}^2$$

$$R^2 = r^2 (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta) - 2r \cos \theta \cdot f(\theta) + f(\theta)^2$$

$$f(\theta)^2 - 2r \cos \theta \cdot f(\theta) + (r^2 - R^2) = 0$$

$$f(\theta) = r \cos \theta - \sqrt{r^2 \cos^2 \theta - (r^2 - R^2)}$$

$$f(\theta) = r \cos \theta - \sqrt{r^2 (\cos^2 \theta - 1) + R^2}$$

$$f(\theta) = r \cos \theta - \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \theta}$$

となる。一見したところこれは単振動の式に似ているが、単振動の式になるなら  $\sqrt{\quad}$  の内部に変数である  $\theta$  が入らないはずなので、似ているが異なる運動だと考えられる。

#### 4 おわりに

私は昔から LEGO など遊ぶのが好きだった。だから将来は何か工学系の仕事に進みたいと考えていた。そして、この LEGO での機構の研究で、いくつかの機構を作ったり考察したりして、この考えを再び強めることができた。この研究は、思っていたよりも複雑で、なかなか思い道理にはいかなかったが、その