

LEGO を用いた機構の再現

— これまでの活動記録と機構の数学的考察 —

細井 達矢

増淵 陽介

喜多村章悟

1. はじめに

私たちのグループは、フリーフォールを再現しようと思いました。フリーフォールとはタワー型垂直落下マシンで、その高い加速度と速度による爽快感が人気の絶叫マシンです。1986年に東京サマーランドと姫路セントラルパークに設置されたのが最初で、今ではいろいろな遊園地にありますⁱ。



フリーフォール型



スペースショット型

私たちの作品は、スペースショット型に相当すると思います。

2. フリーフォールに用いる機構

私たちの製作したフリーフォールで用いた機構には大きく分けて、上昇機構・レール変更の機構・人が乗るカゴにつけられた機構の3つがあります。メンバー3人で分担した結果、

私は上下機構を中心に書くこととなりました。

2.1. 上昇するための機構

カゴを上昇させるためには、モーターによる歯車の回転運動を上下の運動に変える必要があります。そこで運動の方向を変えるための機構を使わなくてはならないと分かりました。

最初に考えたのは喜多村君が作ったマジックハンドを応用したものでしたが、持ち上げるには構造上無理があることが分かり、断念しました。



次に、授業中に紹介された KMODEL を参考にしました。



S18 Epicycloid Straight-Line Linkageⁱⁱ

このモデルにおいて、上の歯車が回転するのに合わせて歯車に取り付けられた棒のつなぎ目がサイクロイドカーブを描くように動き

ます。結合部リンクがこの転送ギヤに固定されているとき、棒の先は正確な直線運動を発生させます。原文が英語なので、ここに書いた内容は自分の不正確な訳、動作の様子 of 動画を見た説明、推測とできています。この機構のすばらしさは実際に動画を見てみなければ分かりません。美しいです。



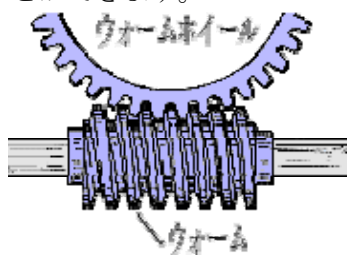
S34 Cartwright Straight-line Mechanismⁱⁱⁱ

このモデルにおいて、上の左右対称な歯車が噛み合って動くことで、対称な位置に取り付けられた棒が上下運動し、センターリンクも上下に直線運動します。

以上のモデルを参考にして、上昇部分を製作しようと試みましたが、1つのモーター回転でカゴの上昇量が少なかったため、歯車を組み合わせて上昇させることにしました。それが、次に紹介するウォームギアです。

2.2. ウォームギアとは

まず、「はす歯歯車」とは、つる巻き線と呼ばれる斜めの歯すじが付けられ、右にねじれた歯や左にねじれた歯を持つ歯車のことです。ウォームギアでは、歯車とはす歯歯車を下図のように組み合わせる事で回転数を大きく落とします。動力の伝達が滑らかで静かな回転をするため、平歯車よりも減速比を少し大きくすることができます。

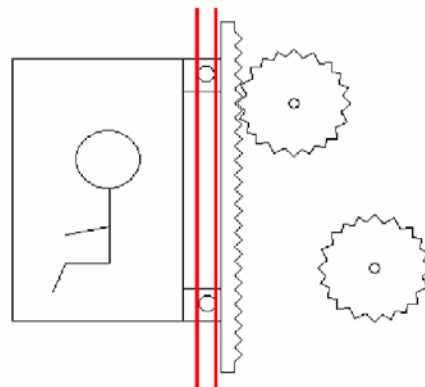


しかし、ウォームギアもよいところばかりではなく、平歯車などと比較して大きめのバックラッシが必要です。バックラッシとは、工作機械などの機械を扱うとき、送りネジ、歯車などの隙間のことですが、この寸法が工作機械の加工では大事だそうです。レゴの製作において多少のずれは問題とならなかったため、あまり関係ありませんでしたが。ギア専門メーカーのものでは、120分の1といった非常に大きな減速比が得られるものがありますが、今回のものは約20分の1でした。

3. 実際のレゴでの活用

3.1. 上昇するための機構

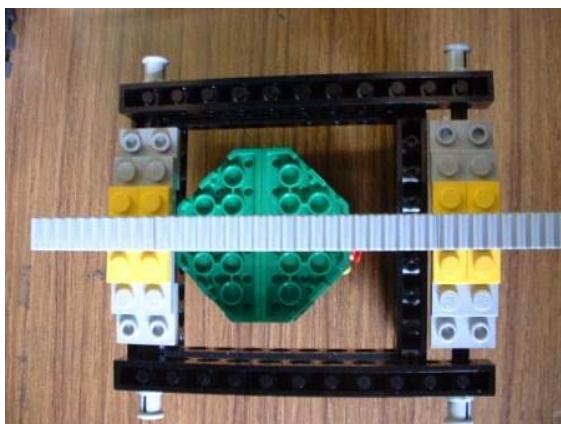
次図のように、カゴにラック(歯車の1種で、まっすぐな棒や板の表面に歯を刻んだもの)を直接つけ、歯車の回転が直接上下運動に変わるようにしました。この仕組みは、ラック・アンド・ピニオンと呼ばれています。



「ラック・アンド・ピニオンの典型的な使用例として、自動車におけるステアリング機構でのステアリング・ギア機構がある。ステアリング・ホイールからのシャフト(軸)先端にピニオン・ギアがあり、ラック・ギアは進行方向90度に取り付けられラック両端に個々の車輪の操舵機構がもうけられる。ステアリング・ホイールの操作によりピニオン・ギアが回転し、ラックが進行方向左右に水平移動することで車輪に伝達され向きを変える^{iv}。」

上は wikipedia の説明です。そして、この仕組みが高速回転で壊れないように、ウォームギアを用いて、回転数を減らしました。

まず、カゴの背面にラックを固定しました。



上のようにそれぞれの歯車は1つのモーターの動力によって、連動して動いています。



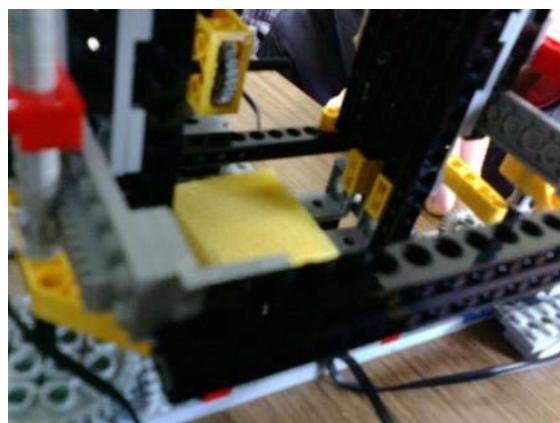
横からの写真です。

そして、フリーフォールのタワー部にウォームギアを用いて回転数を減らした歯車を3つ、次のように配置しました。



上からの写真です。

これがラック・アンド・ピニオンです。このようにして最上部まで到達したカゴは、レールを変更し、自由落下します。自由落下後はスポンジによってその衝撃を吸収されて上昇時と同じレールへ変更され、ラックと一番下に設置された歯車とが噛み合うことで、再び上昇します。



1番下の部分です。



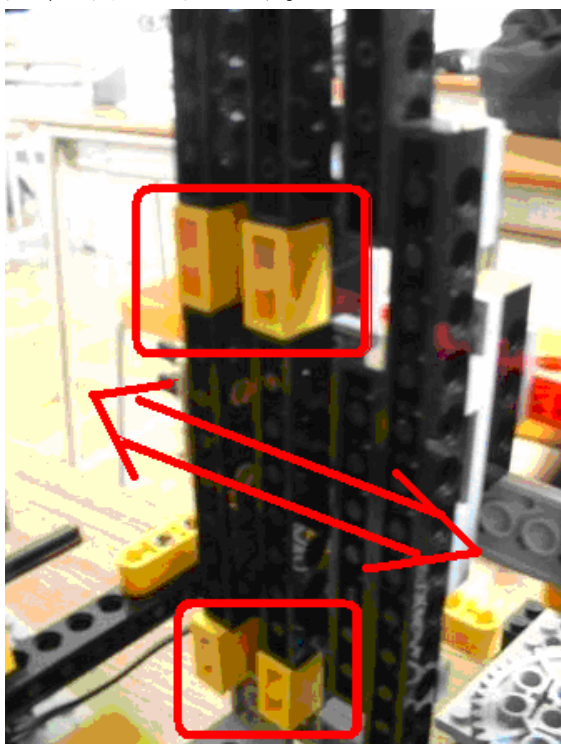
本当は磁石でショックを和らげ、タッチセンサーがそれを感知して自動でレール変更ということを考えていたのですが、それは実現できませんでした。

3.2. レールを変更するための機構

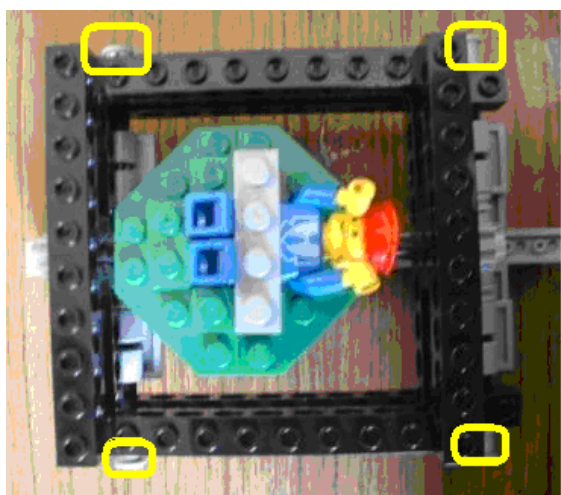
カゴが上下するのは以上で完成したのですが、それをどうやってそれを切り替えるかというのが最も大変でした。最初のうちはカゴではなくレール全体が動くなどの案がありましたが、実用性・耐久性などの観点からカゴがレールの間を動くという方法に決まりました。

た。

まず、レールの上下に下のように可変部を取り付けました。囲まれた部分が可変部で、矢印の向きに動きます。

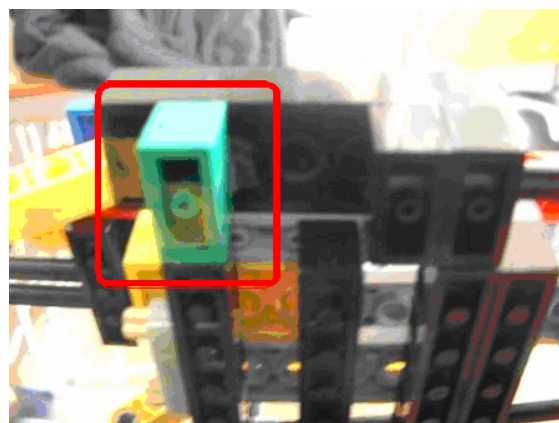


この可変部が下のカゴの囲まれた部分と一致すると、ここが動くことでカゴのレール変更が行われます。

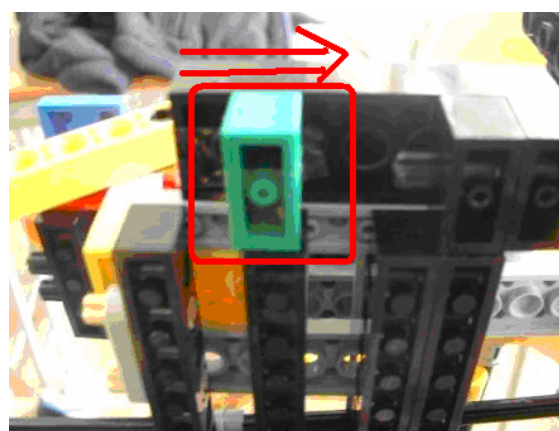


カゴ

また、1番上では、あえて可変部のためのレゴのパーツを1つにすることでフリーフォールの頂点でガクッとくる感じを表現しました。



移動前

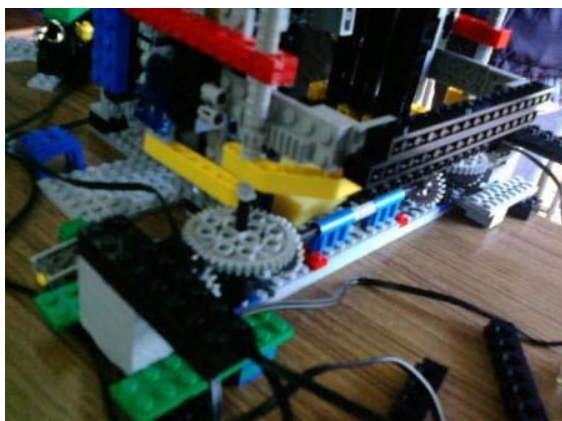


移動後

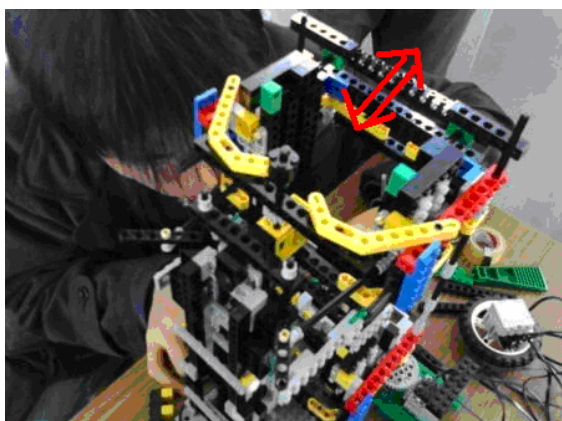
そして、これを上下まとめて動かすのが下に置かれたモーターです。



ここにも、かさ歯車(回転方向を変える)などが使われていますが、詳しくは喜多村君のレポートを参照してください。



これは反対方向から見たモーターです。さすがにモーター1 つでは力が足りませんでした。上から見ると下のようになります。



3.3. カゴのための機構

さて、カゴですが、これが1 番初めに出来上がっていました。



上の写真に写っているように、実はカゴには歯車がついていて、中の人は落下と回転というダブルの恐怖を味わってもらおうと考えていました。しかし、この歯車に回転を伝える場所が取れなかったことから、計画は頓挫しました。もしこの人が回転していたら、この人の手を伸ばしたとき手の先は落下という直線ではなく、回転も加わった螺旋(ヘリックス)を描いていたはずです。

ヘリックスは、 xyz 平面上において、 z 軸を中心とした場合、パラメーターを t とすると、 $x = \cos(t)$, $y = \sin(t)$, $z = t$ と表されます。また、同様に極座標でも表すことができ、ヘリックス上の点は (r, θ, h) と表されます。 r は z 軸からの距離、 θ は x 軸とのなす角、 h は高さです。 $r=1$, $\theta=h$ の時、上と一致します。

ヘリックスは日常のいたるところに存在し、また自然界にも多く存在します。例えば、人工的なもので言えば螺旋階段などがあります。先ほど紹介したはず歯車も実はヘリックス構造です。自然界でも DNA の 2 重らせん構造もヘリックスですし、たんぱく質の構造でもしばしばこの構造が見られます。

4. 完成



これが完成したものです。手前に見えるタイヤは、自家発電用のものです。これを手で回すと、カゴが上昇したり、レールが変わったりします。手動のほうが電動よりも繊細な動きが再現できるのです。



上の製作途中に比べると、かなりごつくなつたのが分かります。

おまけですが、



発表で予告したとおり、券売所にスタッフを配置することができました。券売所の周りにつけている円盤のようなものは、スピーカーをイメージしたものです。

5. おわりに

このゼミを取って本当に良かったです。により、作っていてとても楽しかったです。しばしばレゴの発展性・創造性は本当に偉大だと感じました。作っていると、「あっ、こんな機構は実現できないだろうか?」と次々とアイデアが浮かびました。

このゼミは数学というよりもむしろ物理・工学に近かった気がします。同じグループの仲間の発想は斬新なものが多く、喜多村氏・増淵氏は物理人だなあと思いました。生物選択の私とは格が違いました。ゼミの他の仲間も独創的なものを作っていて、互いに高めあうことができたと思います。数学的考察はあまりできなかったものの、作品としてはかなり満足のいくものができました。

では最後に、同じグループの仲間と支えてくださった先生方にお礼を言って終わりにしたいと思います。

本当にありがとうございました。

参考文献および参考 Web サイト

i

<<http://drkssk.fc2web.com/zekkyou/nagasp/ssff/ssff.html>>

ii

<<http://kmoddl.library.cornell.edu/model.php?m=139>> [2007, March 16]

iii

<<http://kmoddl.library.cornell.edu/model.php?m=243>> [2007, March 16]

iv

<<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A9%E3%83%83%E3%82%AF%E3%83%BB%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%83%89%E3%83%BB%E3%83%94%E3%83%8B%E3%82%AA%E3%83%B3>> [2007, March 16]