

# LEGO で再現するフリーフォール

## — 完成までの経緯 —

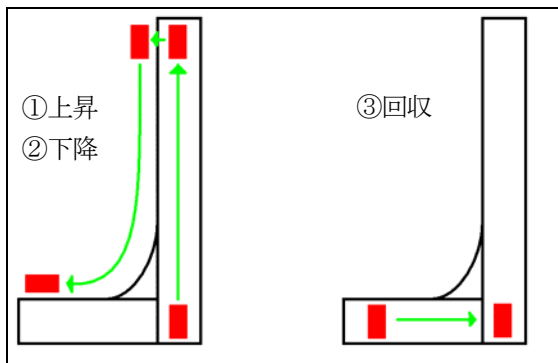
喜多村章悟

増淵 陽介

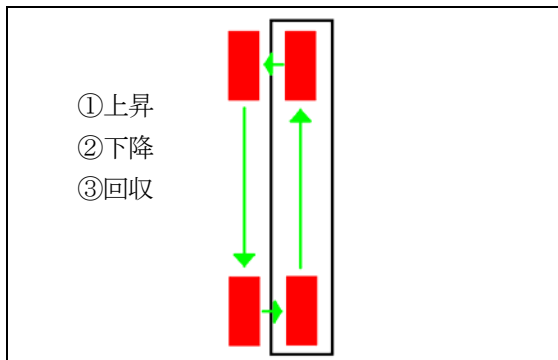
細井 達矢

### 1. はじめに

まず、なぜ私たちはフリーフォールを選んだのでしょうか。それは、フリーフォールが一番やりやすいと思ったからです。要するに、ジェットコースター等と比べれば再現しやすいのではないかと思います。では、私達が再現しようとしたフリーフォールとはどんなものだったのでしょうか。私が知っているフリーフォールは、こんな感じのものでした。



結局、次のような動きに簡素化しました。



### 2. 具体的な仕組み

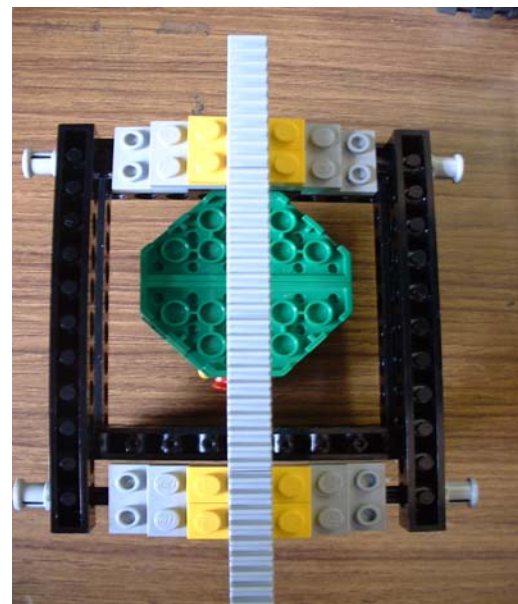
ここからは、実際にフリーフォールの再現にあたってどのような機構が用いられているのか、説明していきたいと思います。

#### 2.1. 上昇

上下運動する機構はさまざまありますが、再現するものがフリーフォールであることや材料がレゴブロックであることを考慮すると、やはり歯車で地道に上げるのがよいのではないかと思います。

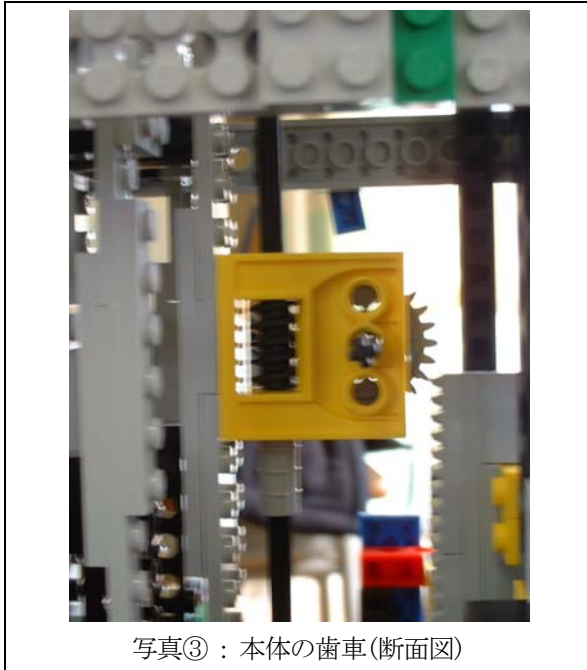


写真①: 本体に設置した歯車



写真②: カゴに設置したラック

基盤部分で縦に長く伸びた軸を回転させ(写真①)、ウォームギアと呼ばれる構造(写真③)によって回転数を下げるとともに回転方向を変え、カゴに設置したラックの切れ込み(写真②)とかみ合ってゆっくり上昇するという仕組みです。

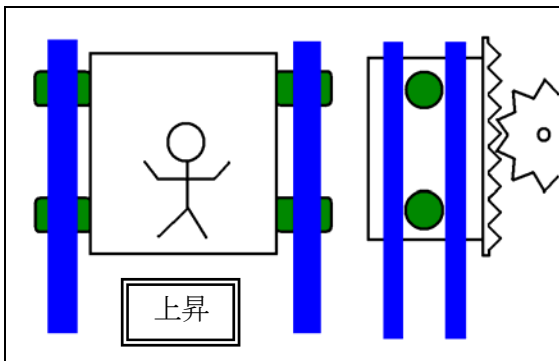


写真③: 本体の歯車(断面図)

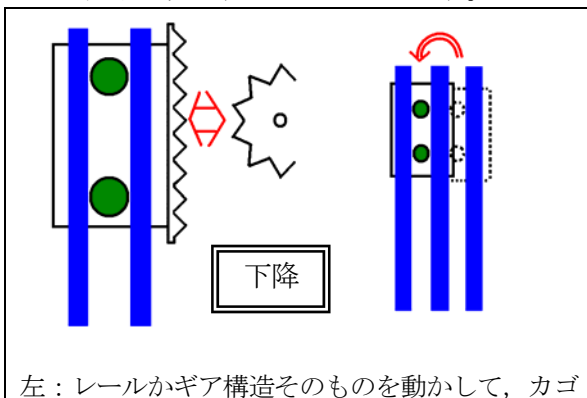
しかし、このためにはカゴを上へ誘導するためのレールが必要となるのですが、レールには工夫を施してあります(2.2.参照)。

### 2.2. 上昇から下降へ①

この部分は私が特に力を込めて作った箇所でもあります。



まず、カゴの両側には計4つの突起が付いています。これらをレールで挟み込んで仮固定することで、左右にぶれることなく上下にだけ動くようにすることができます。



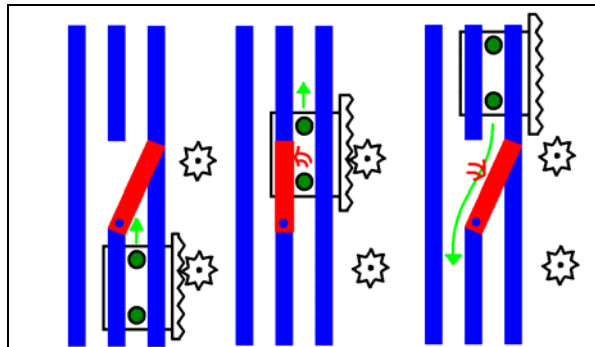
左: レールかギア構造そのものを動かして、カゴ

と歯車に隙間を作る。  
 右: 歯車に引っかからない位置に別のレールを作り、なんらかの方法でカゴをそちらに移す。

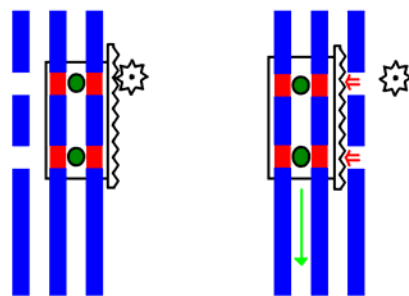
しかし、ここで問題が生じます。それは、上昇から下降に移るときに、単にモーターを止めただけでは歯車が引っかかり落ちてくれないということです。これを解決するためにいくつかの案が出されました。様々な議論がなされた後に、右の方法が採用されました。

### 2.3. 上昇から下降へ②

どのようにして手で触れずにカゴを移動させるか。私が考えた方法は以下の2つでした。



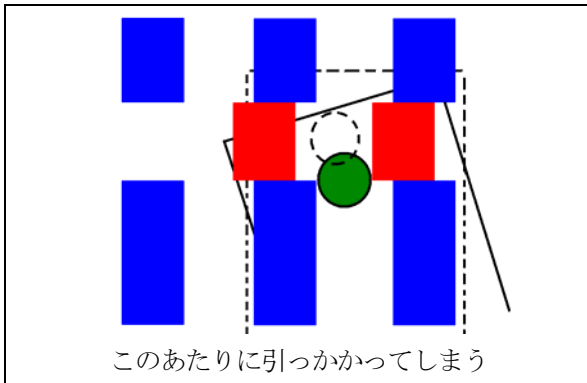
方法1: 中央のレールの一部に可動式のレールを設け、それは触れなければ重力によって傾くように設置する。それをカゴの突起が押しつけ、カゴが通過する間は普通のレールと同じ役割を果たす。通り抜けると重力によってレールが傾き、下降レールに誘導する(しかしこの方法だと、カゴが可動式レールを通過するタイミングと歯車を通過するタイミングを正確に一致させないと、先ほどの単一レールのとくと同じように歯車が噛んでしまうことなどさまざまな問題が起きてしまうため、実現困難ではないのかと却下された)。



方法2: すべてのレールにカゴの突起に合わせて切れ込みを入れ、図のように可動式レールを押し込み、そっくりそのまま下降レールにカゴを横移動させる方法(方法1よりは実現可能ではないかと、こちらが採用された)。

ここで生じた問題は、歯車の歯の深さはレールの幅に比べればはるかに短く、ほんの少しでも横移動させたところでカゴは歯車から

外れるため、下降レーンに移る前にもう可動式レーンから滑落してしまうということです。

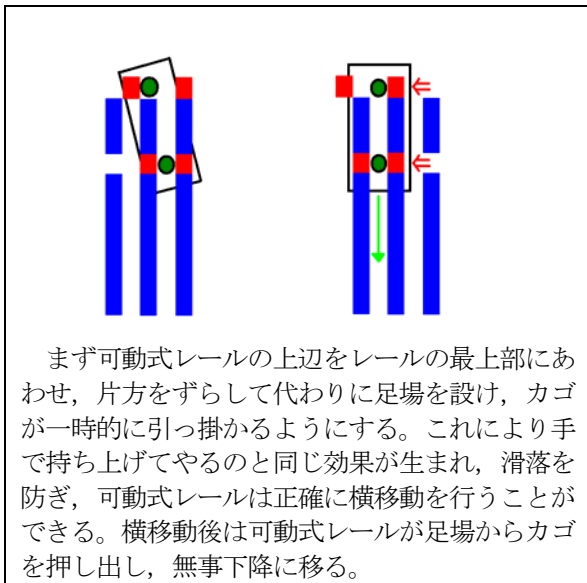


このあたりに引っかかってしまう

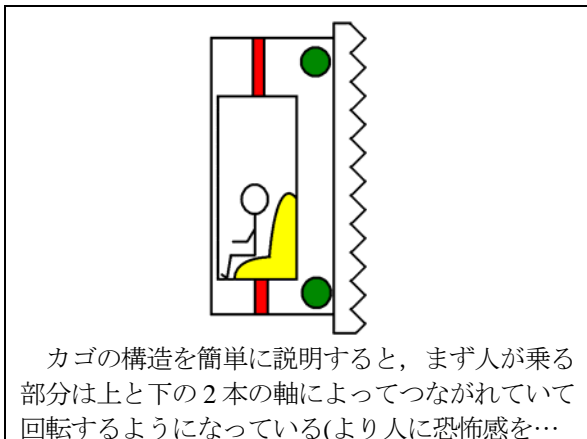
手で支えることなく横移動が正確に行われるようにするために、それと同じ役割を果たす代わりに仕組みを考えました。

#### 2.4. 上昇から下降へ③

問題は、可動式レーンが正確に横移動を行うために、その手助けをしてやることです。これは試行錯誤のうちに思いついたものです。



カゴを確実に足場に引っ掛けるために、カゴ本体にも少し工夫を施しました。

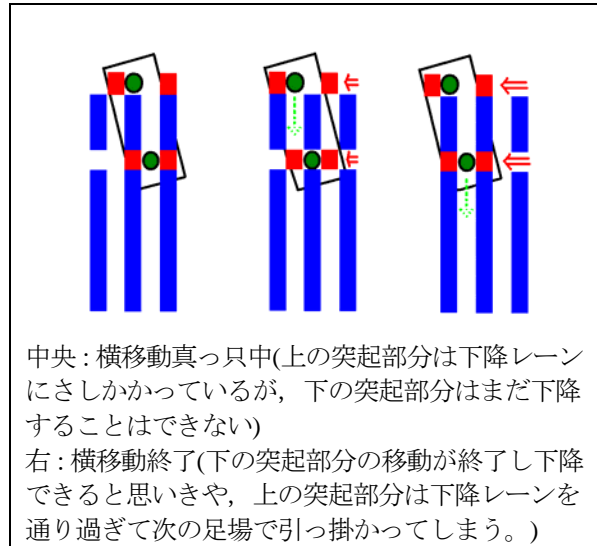


カゴの構造を簡単に説明すると、まず人が乗る部分は上と下の2本の軸によってつながっていて回転するようになっている(より人に恐怖感を…

…できれば確実にこれが回るようにしたかったのだが、間に合わなかった)。そしてこの軸をレールにかかる突起部分より前に出すことで、重心をより前に持ってくることができ、上方の支えがなくなったときに自然と前に傾くようになる。

#### 2.5. 上昇から下降へ④

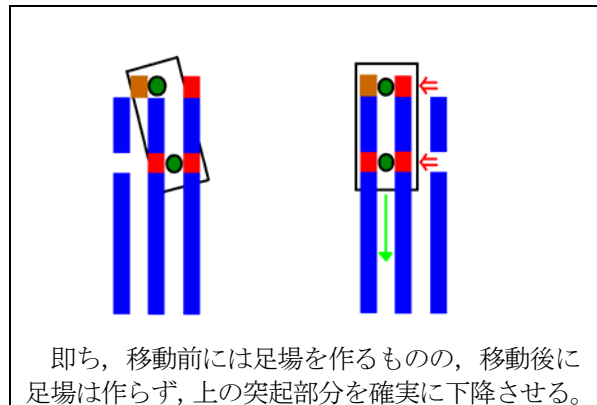
先ほどの機構を完成させたのですが、上辺の可動式レーンが足場からカゴを押し出しても、計画通りに下降は始まりませんでした。



中央：横移動真っ只中(上の突起部分は下降レーンにさしかかっているが、下の突起部分はまだ下降することはできない)

右：横移動終了(下の突起部分の移動が終了し下降できると思いきや、上の突起部分は下降レーンを通り過ぎて次の足場で引っ掛かってしまう。)

これを解決し、突起部分をより正確に誘導するためには、変則的に動く可動式レーンが必要となりました。



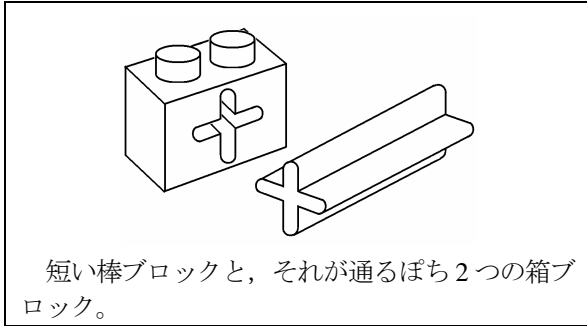
即ち、移動前には足場を作るものの、移動後に足場は作らず、上の突起部分を確実に下降させる。

可動式レーンはすべて同時に動かさなければいけません。よってこの変則的に動く可動式レーンを他の可動式レーンと切り離すことはできません。しかし1つだけ移動距離を半分にするなんてできるのでしょうか。

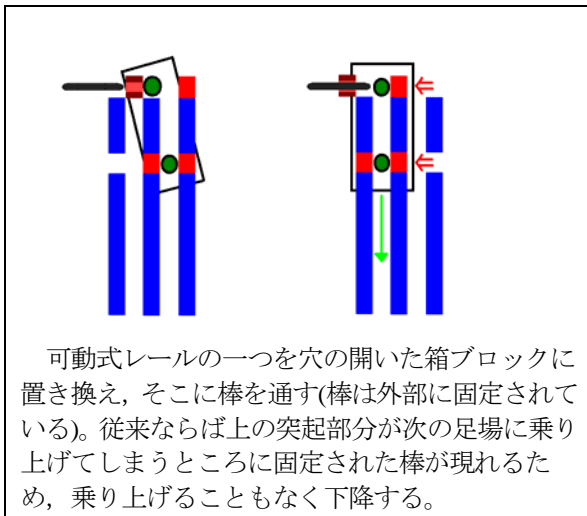
レゴブロックにはさまざまな形状のものがあ、ある動きを目的とする機構にもさまざまなものが考えられます。この変則的な可動式レーンの動きを再現するためにもさまざまな方法が考えられますが、最も少ない数の部



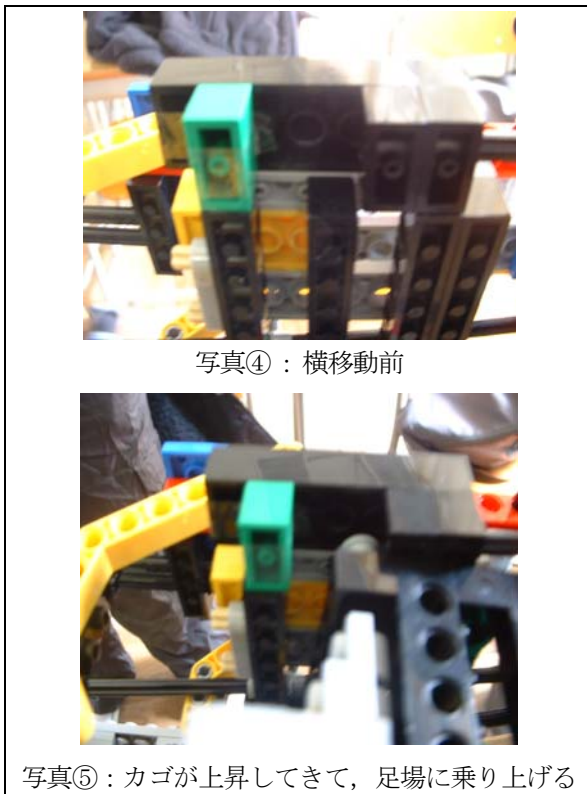
品で、かつ簡単に仕上げるために、次のようなブロックを用いました。



このブロックの用い方は以下の通りです。



この仕組みによって上昇から下降へ乗り移ることができました(写真④~⑥)。



## 2.6. 下降

下降部分はレールにそって落下するだけです。ただ問題は重力加速度( $9.8\text{m/s}^2$ )が存在するというので、それほどの高さはないというものの落ちたときの衝撃はカゴを壊しかねません(写真⑦)。



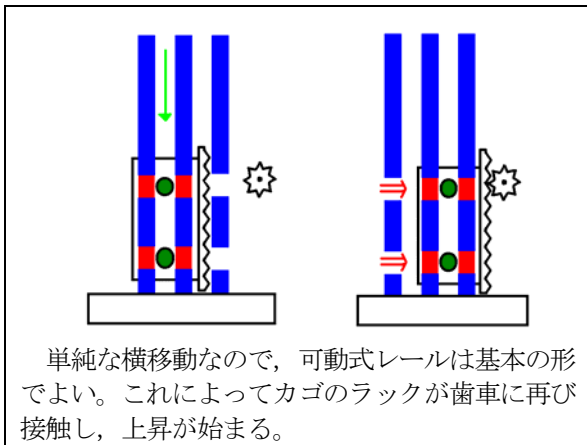
本来の目的である自由落下は達成できましたが、さらに私達は手動でカゴを元の位置に戻すのではなく、すべて自動で一連の運動を行うことができる機構を作ることになりました。

## 2.7. 回収

回収というのは下降レールから上昇レールへとカゴを戻す作業のことなので、原則的に上昇から下降へのプロセスの逆を踏めばよいことになります。さらに一番底なので先のような滑落も起きないため、より構造は簡略化することができます(写真⑧)。

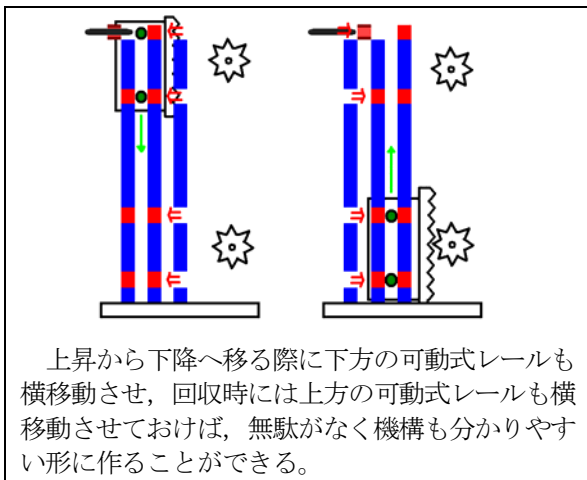


写真⑧：回収作業用の横移動機構



単純な横移動なので、可動式レールは基本の形でよい。これによってカゴのラックが歯車に再び接触し、上昇が始まる。

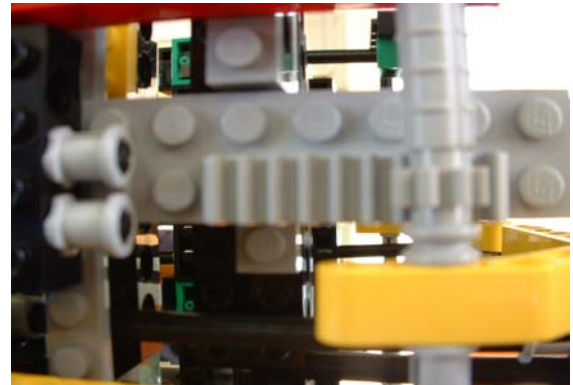
ここで言えることは、上昇から下降への横移動と回収時の横移動は連動させてよいのではないかと、ということです。



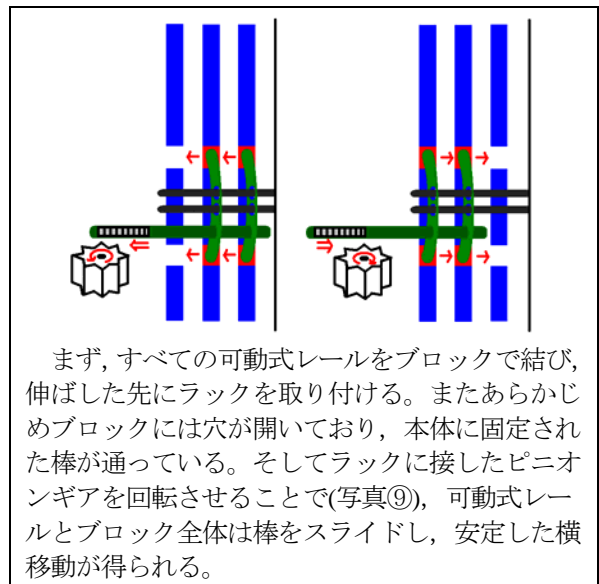
上昇から下降へ移る際に下方の可動式レールも横移動させ、回収時には上方の可動式レールも横移動させておけば、無駄がなく機構も分かりやすい形に作る事ができる。

こうして上昇→下降→回収までの一連の動きが再現されました。最後に横移動の機構の説明をしましょう。

## 2.8. 横移動の機構について

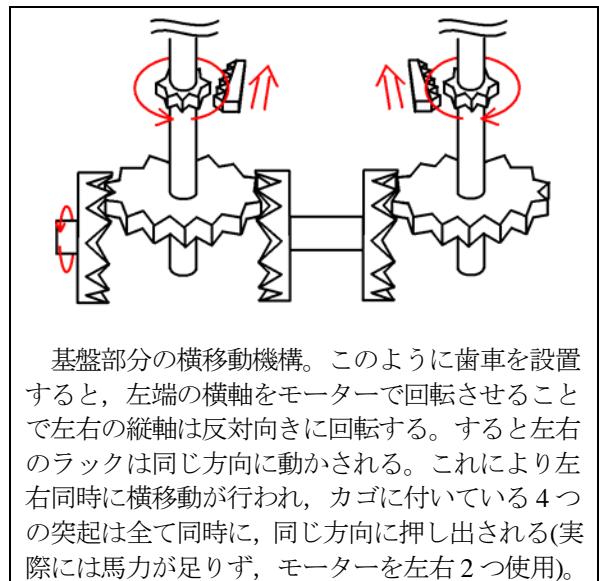


写真⑨：機構の肝となるラックとピニオンギア



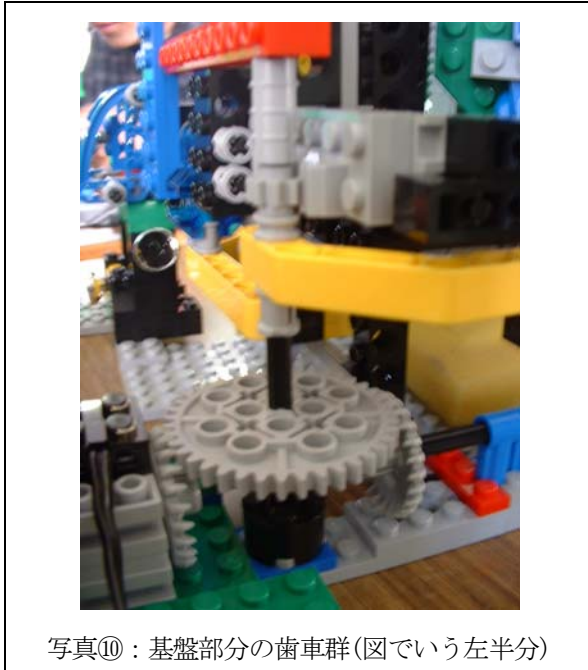
まず、すべての可動式レールをブロックで結び、伸ばした先にラックを取り付ける。またあらかじめブロックには穴が開いており、本体に固定された棒が通っている。そしてラックに接したピニオンギアを回転させることで(写真⑨)、可動式レールとブロック全体は棒をスライドし、安定した横移動が得られる。

今度は左右二箇所の横移動、さらには先に述べたように上昇から下降への横移動と回収時の横移動を連動させなければいけません。そのための機構も必要となります。これにはいろいろな歯車が使われています。

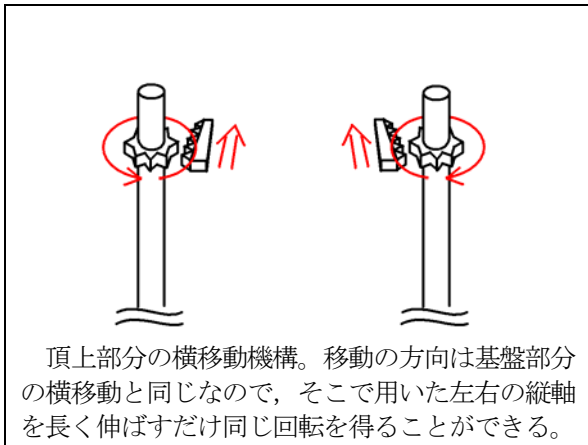


基盤部分の横移動機構。このように歯車を設置すると、左端の横軸をモーターで回転させることで左右の縦軸は反対向きに回転する。すると左右のラックは同じ方向に動かされる。これにより左右同時に横移動が行われ、カゴに付いている4つの突起は全て同時に、同じ方向に押し出される(実際には馬力が足りず、モーターを左右2つ使用)。





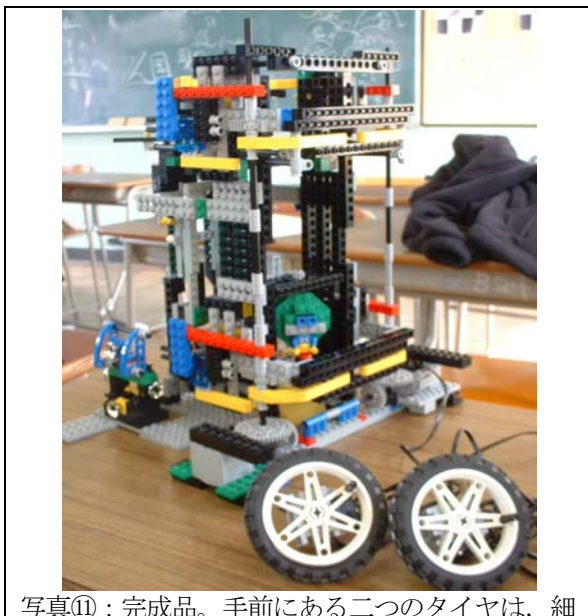
写真⑩：基盤部分の歯車群(図でいう左半分)



頂上部分の横移動機構。移動の方向は基盤部分の横移動と同じなので、そこで用いた左右の縦軸を長く伸ばすだけ同じ回転を得ることができる。

こうして全ての横移動がリンクしました。

### 3. 完成

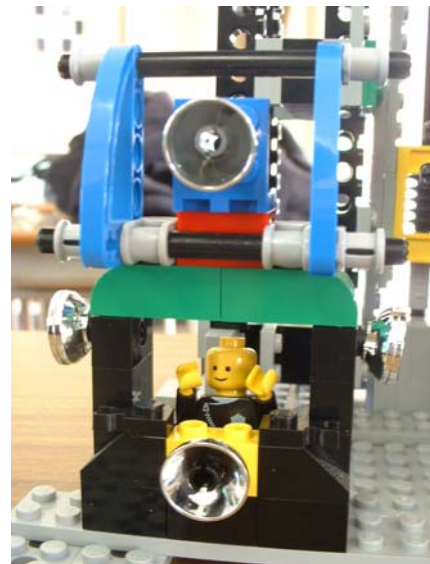


写真⑪：完成品。手前にある二つのタイヤは、細

井君が考え出した発電機。手でモーターを回して電気を生み出し、そのまま直接フリーフォール内のモーターと接続することで、上昇速度の調整などもできる(一つは上昇運動のためのもの、もう一つは横移動のためのもの)。



写真⑫：増淵君がデザインしたカゴ。実は人は宙吊り状態のまま落下する。



写真⑬：細井君デザインのチケット販売ブース。

### 4. おわりに

今回レゴブロックでフリーフォールを再現し、そして改めてこの文章を書いてみると、意外とすごいものを作ったものだなあ、と改めて素朴な感動に浸ってしまいました。当初の目的である数学的な機構はあまり見出せなかったものの、レール切り替えの横移動機構や重力を利用した仕組みなどさまざまなアイデアが詰まっており、とても充実した授業であったと思います。

今回の作業にあたって様々なサポートをして下さった先生方、本当にありがとうございました。そして一緒に作業し、僕のがまを快く引き受けてくれた仲間、改めて感謝したいと思います。ありがとうございました。