

歯車の仕組み

玉井 裕太

1. はじめに

今回私が再現しようとした機械は「クレーン」である。まずどのような構造をしているのか想像し、それに沿ってレゴで再現することにした。

2. 構造のイメージ

まず、はじめに想像しなければならないことは力の伝わる経路です。図1は私が見た工事現場で使われているクレーンである。



図1

まず力の伝達の源となるモーターの場所について、私はアーム(荷物を持ち上げるワイヤーに直接つながっている長い鉄骨)の根元部分、図の左の部分にあると考える。そして左上の部分を経由しアームの先端に力が伝わると考えた。

3. クレーンに関する考察

3.1. クレーンの定義

次にクレーンについて調べた。Wikipediaによると、クレーンはクレーンに関する法律であるクレーン等安全規則により、次のように定められている。

1. 荷を人力以外の動力で吊り上げる
2. それを水平に運搬することを目的とした機械装置

これよりクレーンを作るというのなら主として上下の方向に力を伝えるものにすることが必要となった。

3.2. 再現過程のイメージ

次にクレーンの全体を考え、完成したときのおおよその形を捉えることにした。まずクレーンをみて1番はじめに目に入るのはやはりその長いアームであろう。1番上部といわれている三角形を組み合わせ、頑丈に作られたそのアームは、今回使ったレゴによって再現することは難しかった。

そこでクレーンの機械の一部である、減速機と呼ばれるものを再現することにした。これは1秒間に数千回転するモーターの回転数を大小様々な歯車を応用して使うことによって、ゆっくりとした力強い動きになる様にする機械である。また、力を伝えるためや力の向きを変えるのも全て歯車で補うことにした。さらに減速機についても回転数への影響に関する実験を行った。

4. 歯車

ここでは、今回使用したレゴのパーツにある歯車の種類とその特徴を説明する。

4.1. 平歯車



図2

図3

構造上力を真っ直ぐに伝えることができ水平方向の力の伝達に一番使われている歯車である。

4.2. フェースギア

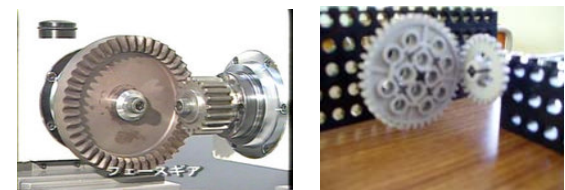


図4

図5

図4のような形をしている歯車をフェースギアと呼ばれる。この歯車は力の伝達の向きを90°変えることができる。

4.3. ウォームギア

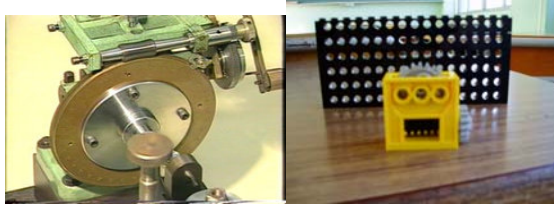


図6

図7

下のところに螺子が入っていて歯車とかみ合わせてある。これは大きな減速比、要するに歯車の回転数が大きく減る機構である。



図8

図8のウォームギアとモーターをつなげた装置を作りウォームギアの減速比を求めることにした。

結果

モーターの回転数 100

ウォームギアを通した後の回転数

1回目 6回

2回目 5回と半周

3回目 6回

平均の減速比は

$$100 \div \frac{1}{3} (6 + 5.5 + 6) \div 17.14$$

4.4. ラック



図9

今回使うことはなかったがキットに入っていた。直方体の形をしているが、これは歯車を切り開いて歯の部分を水平にしたものとなる。

5. クレーンの製作

まずはじめに土台となる部分から製作に取りかかった。

クレーンはそのアームの部分の原理となっているため本物と違い鉄骨を組み立てるなどが出来ない今回は、単純な重量比が全てなのでバランスを保つためかなりブロックを使用し重くしている。

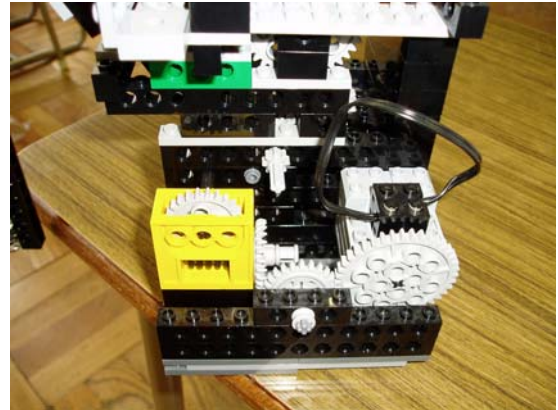


図10

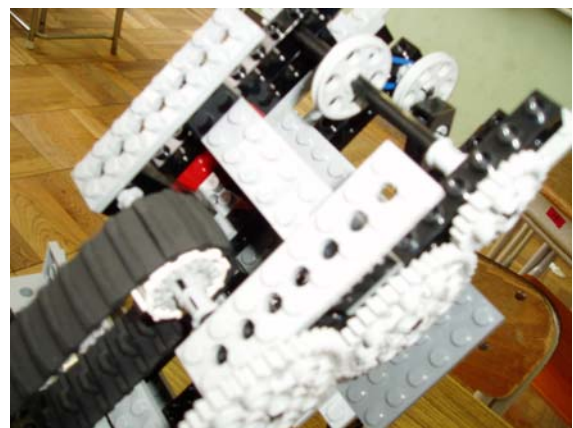


図11

そして力が最後に伝わり激しい運動をすると思われるアームの先端部分は頑強に作る必要がある。

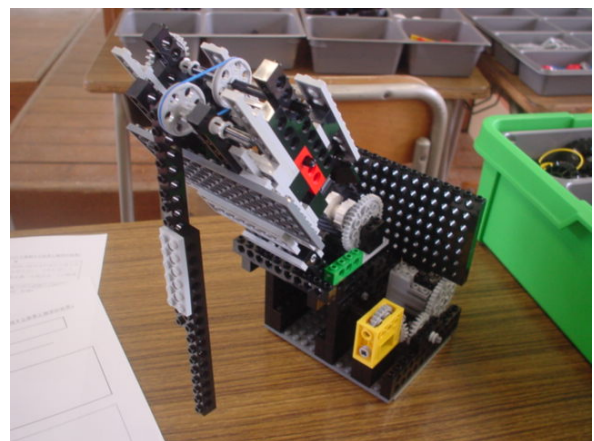


図12

図12が今回私の作ったクレーンの外形である。右下に取り付けたモーターを始点にしてアームの根元、アームの先端と力が伝わるようになっている。

5.1. 力の伝達 モーター部

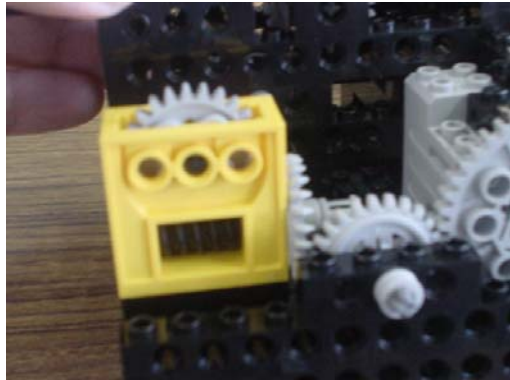


図13

はじめは上のようにモーターに直接つなげた平歯車(大)→フェースギア→ウォームギアの順に今回入っていた珍しい形の歯車を使った。ここで理論上おおよそ $\frac{1}{40} \times 2 = \frac{1}{20}$ の減速比が得られることになります。今回のモーターの回転数が1秒間に200回転するので減速比をかけるとウォームギアを通った後の回転数は10回となっていると考えられる。

5.2. 接続部分

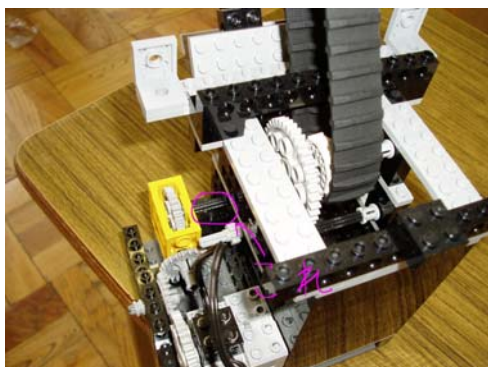


図14

次に、歯車の中心部分に付属できるようにになっている黒い棒でブロックを通して、歯車同士をつなげている。このとき、歯車の歯がつながっている訳ではなく中心同士がつながり、回転がそのまま伝わるので減速比は発生しない。その為歯数の一番少ない歯車をつなげた。

5.3. 中心部

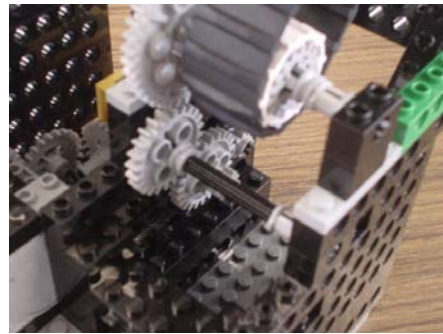


図15

次に、ブロックの内側の構造である。ここでは歯車(大)→歯車(小)→歯車(大)→キャタピラ、とつながっており $\frac{1}{3} \times 3 = 1$ と減速比は

発生せず回転数は変化しない。キャタピラは、斜めにすると直径が同じものしかない歯車とレゴブロックでは噛み合わないので使用している。しかしキャタピラを使ってもどうしても弛んでしまい力がうまく伝わらなかった。

5.4. アーム先端部

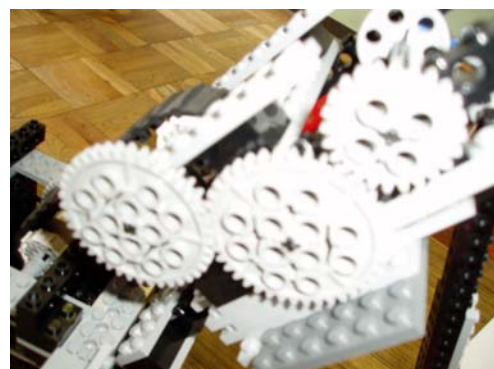


図16

この後は、歯車を大→大→小の順番につなげていけばよい。実際のクレーンは、アームの根元にモーターをつけて荷物を引き上げたりするために糸を巻いたりほどいたりするのだが、今回は回転しているのを確認するために長い棒を付けた。

6. 実験

6.1. 減速比

合計12個の歯車を使った今回の機構の理論上の減速比を求めます。最初から順々に回転数をかけていけば良い。

今回のウォームギアの減速比は実験で得られた $\frac{1}{17}$ として計算する。

$$(式) \quad 2 \times \frac{1}{51} \times \frac{1}{2.5} \times \frac{1}{2} \times 2 \div \frac{1}{62}$$

よって、およそ $\frac{1}{62}$ の減速比が得られると考えられる。そこで、先端である長い棒が1回転するまでにモーターに直接つなげた歯車は何回転しているのか測定してみた。結果は

1回目 72回転

2回目 74回転

3回目 71回転

平均すると72.333……つまり約72回転となる。先端の棒が1回転する間に72回転するので減速比は $\frac{1}{72}$ という数値が得られた。理論値との差はおそらくキャタピラの弛みが原因だと考えた。しかし、この数値は端数が1:72の歯車、つまり直径が1の歯車があるとなれば、その72倍の直径を持つ歯車を用意しなければ成し得ないほどの大きな減速比なので、今回減速比を作成し実践するという目的は達成された。

6.2. 歯車の計算

一般的に大小の歯車を組み合わせて得られる減速比は $\frac{(\text{つなげた歯車の歯数})}{(\text{回転している歯車の歯数})}$ で求められる。そこで複数の歯車を組み合わせる場合を考えてみた。今回のキットに入っていた3種の歯車をA(歯数40)、B(歯数20)、C(歯数8)を使って考えて見ることにする。歯車を n 個 (n は正の整数) 組み合わせるとして、求められる減速比は歯車の基本式より

$$\frac{(\text{最初につなげた(2個目の)歯車の歯数})}{(\text{1個目の歯車の歯数})} \times \frac{(\text{3個目の歯車の歯数})}{(\text{2個目の歯車の歯数})} \times \dots \times \frac{(\text{n個目の歯車の歯数})}{(\text{n-1個目の歯車の歯数})}$$

となる。ここで順々に約分していくと最終的に $\frac{(\text{n個目の歯車の歯数})}{(\text{1個目の歯車の歯数})}$ となる。要するに歯車を組み合わせた連続する機構の全体の減

速比を求めるならば1番はじめの歯車と1番後の歯車の歯数に注目すればいいということになる。しかし、この途中にウォームギアを挿んだり今回したように中心同士をつなげ合わせたりしてしまうとそこで約分が終わってしまうのでその区切りごとに減速比を求めかけ合わせなければならない。

7. まとめ

今回、理論的には $\frac{1}{62}$ という減速比が出る

と予想されたのだが、 $\frac{1}{72}$ という減速比が出

る結果となった。この理論値と実験値の差は大きくわけて2つの理由が考えられる。

まず1つ目はキャタピラを使ったこと。前述したとおりキャタピラが回転するときうまく噛み合っていないのでその為に最終的な回転数が減ったのだと考えられる。

もう1つの理由は摩擦である。歯車同士がつながっている部分で生じる摩擦、歯車の軸が回転することにより生じる摩擦が考えられる。

参考Webサイト

長岡歯車製作所

<<http://www.nagaha.co.jp/index.html>>

[2007, December 15]