ロボット博士養成講座

ロボティクスプロフェッサーコース

オムニホイールロボット②

第4回

力のモーメントと回転運動

講師用

目　　次

○　授業開始にあたって

授業のはじめは、着席させ、大きな声であいさつしてから始めます。

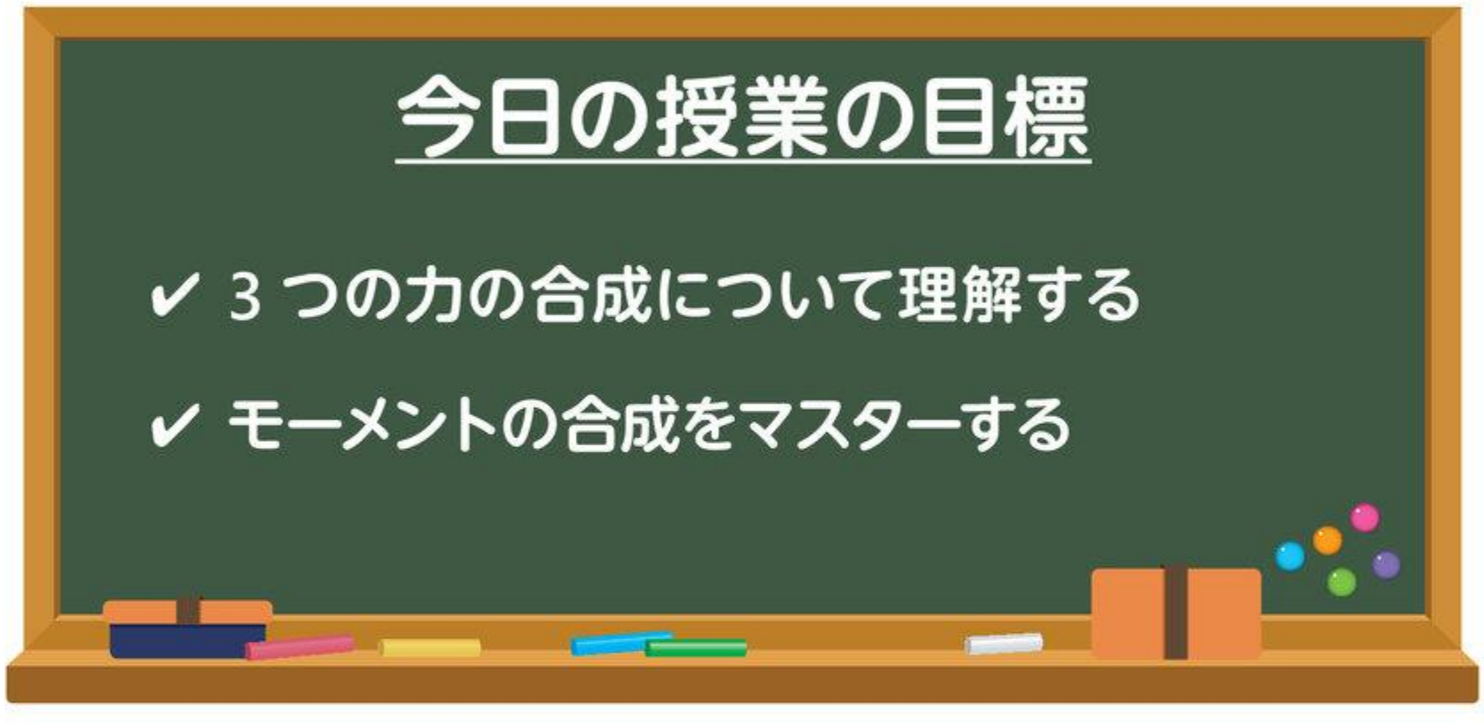
○　今回の目標をパネルで用意するか、黒板に予め書いておきます。

（授業の目標を明確化することは大変重要なことですので、生徒によく理解させます）

目安時間は授業時間 120 分のうち、休憩 10 分程度を取ることを想定しています。
生徒の進捗状況により、休憩時間などを調整して授業を行ってください。

0. 力のモーメントと回転運動（目安 10 分）

0.0. 「力のモーメントと回転運動」でやること



第3回では、「力の合成」を学んで、オムニホイールロボットを前後・ななめなどに動かす並進運動をやってみました。並進運動を組み合わせると、いろいろな動きのパターンができます。しかし、物体は、進む動きだけでなく、回る動きも組み合わさって動きます。今回は、回転や回転しながら進んでいく動きの原理を解き明かしていきましょう。

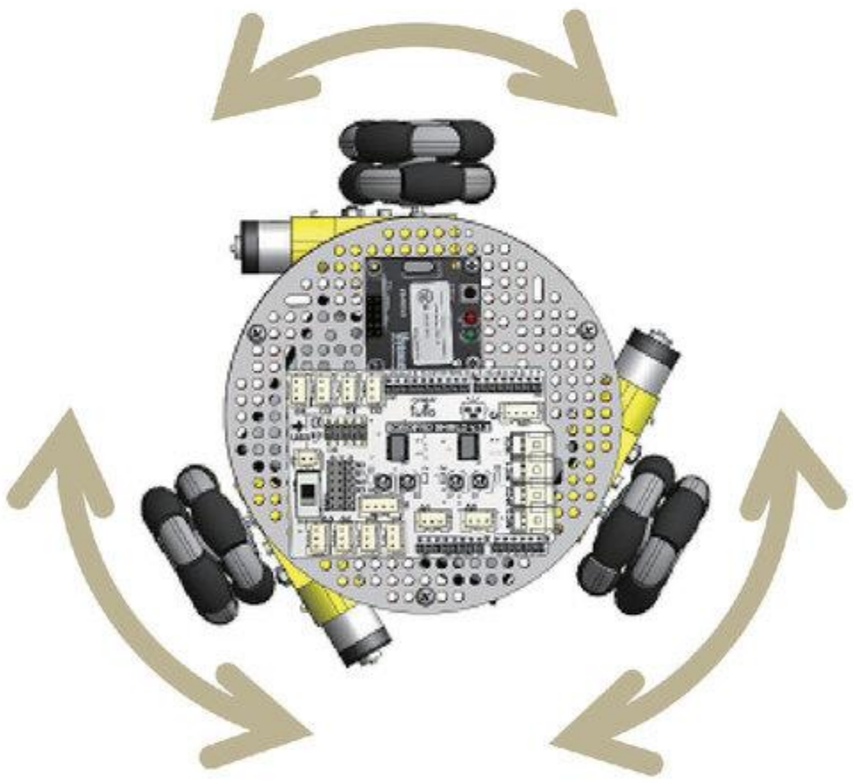
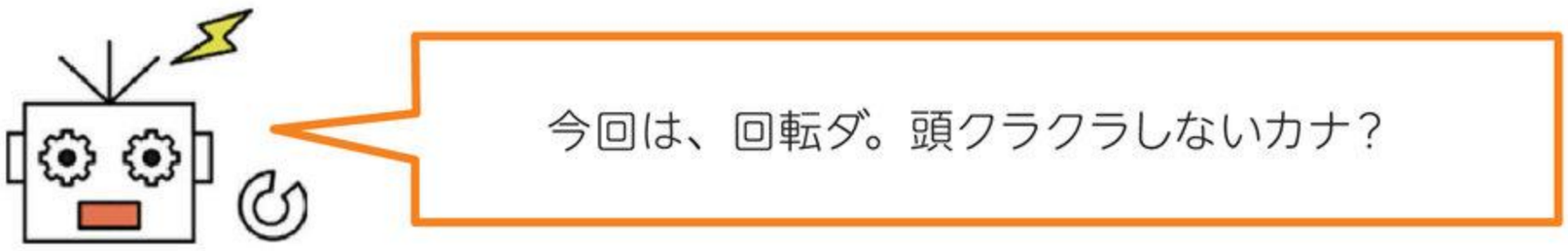


図0-0　オムニホイールロボットの回転運動



0.1.　必要なもの

前回使ったロボットと、以下のパーツを準備しておきましょう。
なお、モーターの配線の接続や、ロボット本体の電池残量などを事前にチェックしておきましょう。

図0-1　必要なもの

0.2.　モーターの接続

今回は、解説の都合上、3つのホイールを区別しておく必要があります。それぞれのホイールをロボプロシールドに接続しているコネクター名にちなんで、以下のように名づけます。各ホイールの名前を忘れたときは、ここで確認しておきましょう。

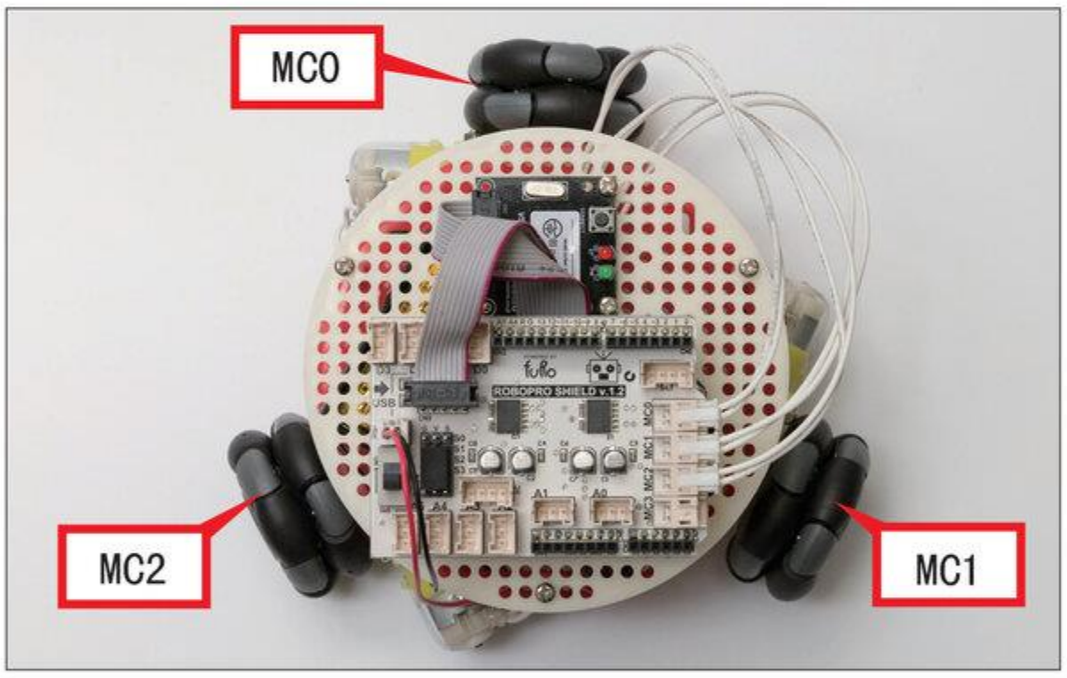


図0-2　オムニホイールロボットのホイール名

1. 3つの力の合成（目安20分）

1.0. 3つの力を合成する方法

前回、2つの力を合成し、1つのまとまった力（合力）にする方法を学びました。
しかし、オムニホイールロボットには3つモーターがありますから、力の矢印は最大で3本発生します。
すべてのモーターを回転させても合力が求められるよう、まずは3つの力の合成を学んでおきましょう。

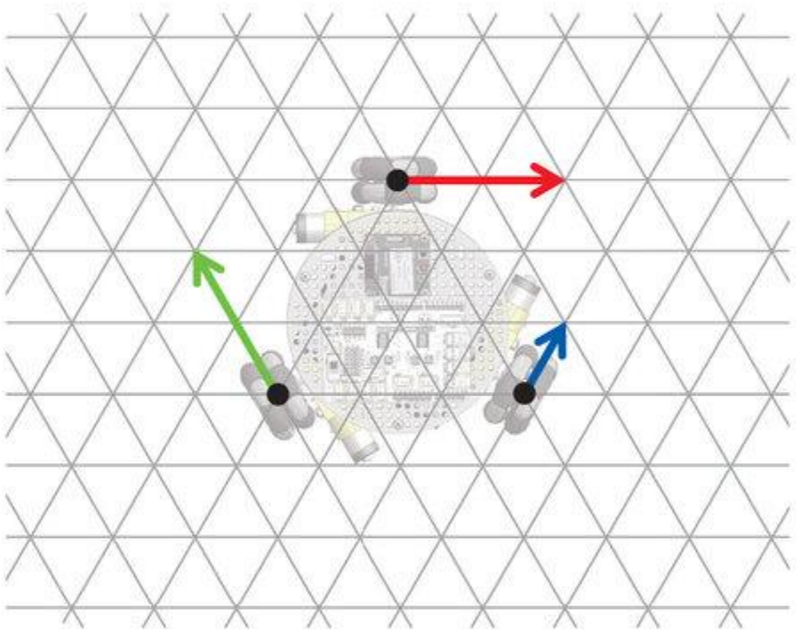


図1-0　3つの力を合成するには？

このようなときは、まず3本ある矢印のうち好きな2本を選び、その合力を求めます。

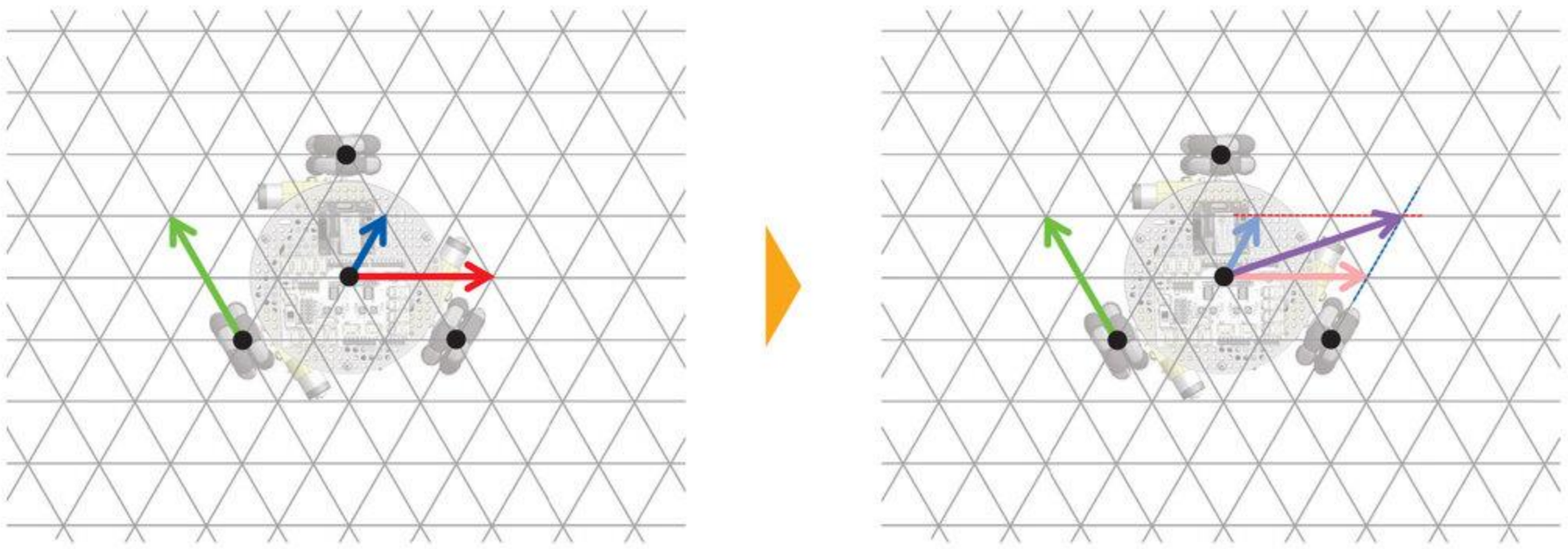


図1-1　まず2つの力を合成する

こうして求めた合力の矢印と、残った1本の矢印を使って、もう一度合力を求めれば、これが3つの力の合力になります。

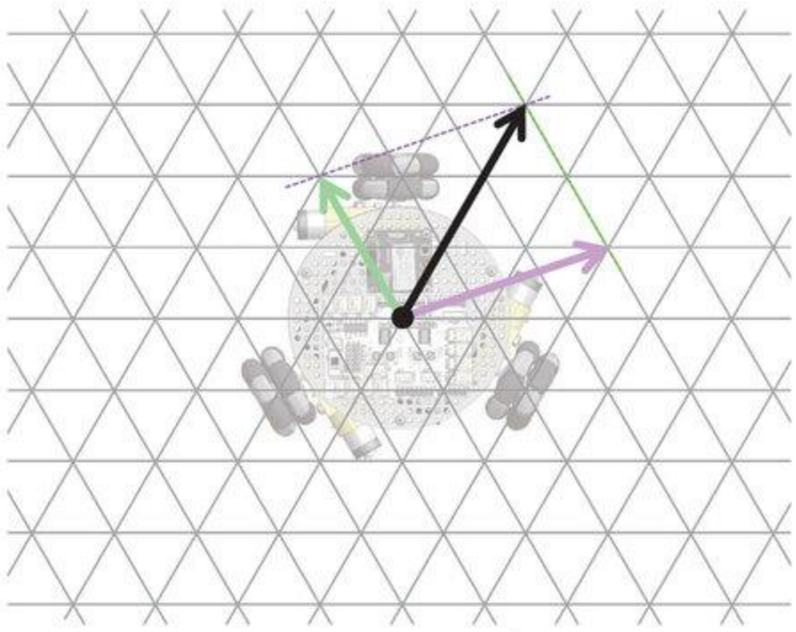
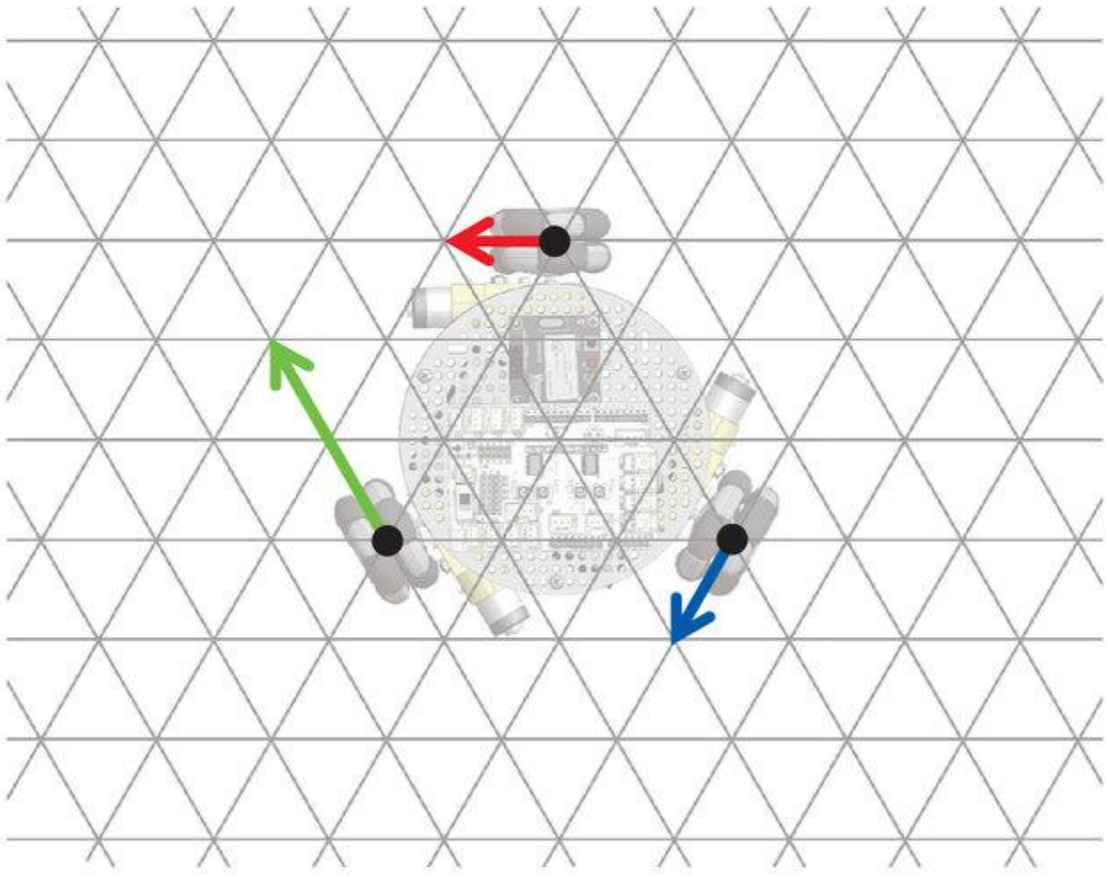


図1-2　3つの力の合力

やってみよう！

次のようにモーターを回転させたとき、合力はどのようになるかな？
作図をしてみよう！



講　解答例は巻末に記載します。

今度は、3つのモーターをすべて同じ速度で回転させた場合を考えてみましょう。

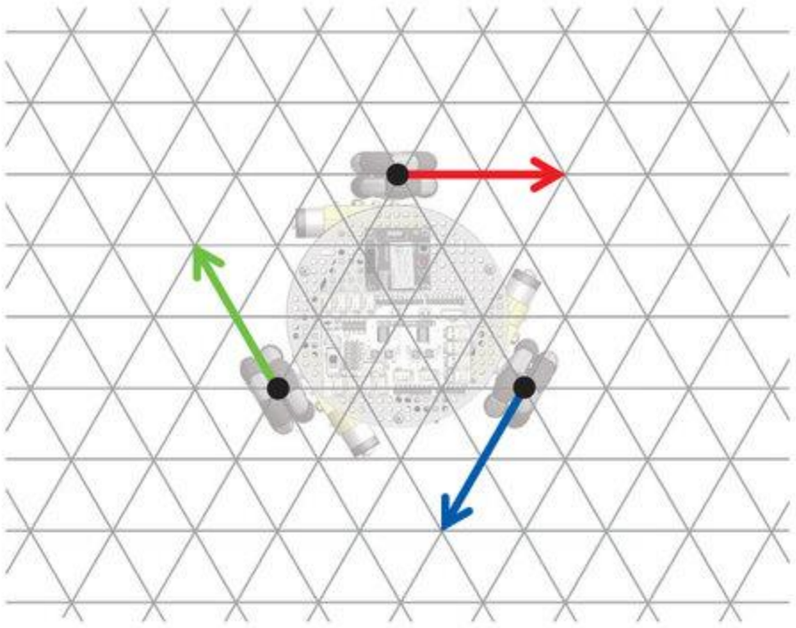


図1-3　3つのモーター速度がすべて等しい場合

先ほどと同じように、まずは2つの力だけを合成させましょう。

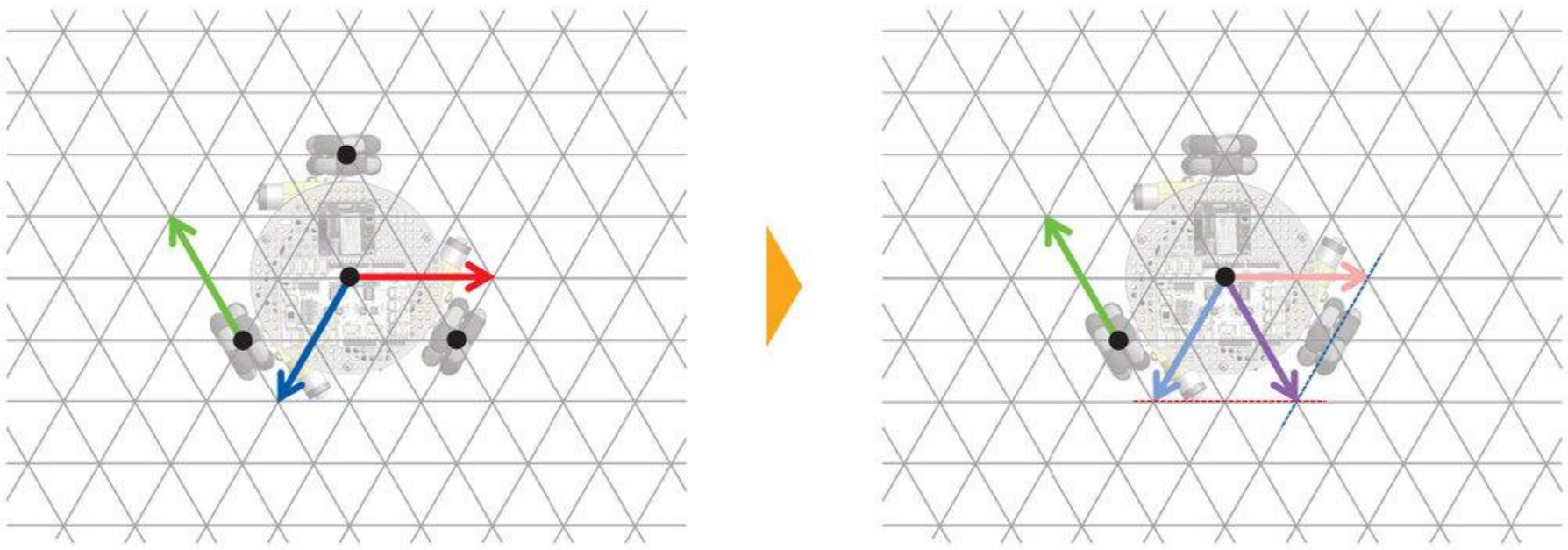


図1-4　まず2つの力を合成する

さらにもう一度合成をすればいいだけですが、ここで問題が発生しますね。2つの力を合成しようとしても、合力（ごうりょく）の矢印を描くことができません。

やってみよう！

図1-4からさらに合成を行うとき、2つの力の間にはどのような関係があるかまとめてみよう！

① 2つの力の大きさは…　同じ・等しい

② 2つの力の向きは…　逆向き・反対

さて、2回目の合成を行うとき、2つの力には次のような関係があります。

POINT

① 2つの力の大きさは等しい。
② 2つの力の向きは逆である。
③ 2つの力は同一直線上にある。
④ 2つの力はどちらも同じ物体（オムニホイールロボット）にはたらいている。

4つの条件をすべてみたすとき、この2つの力は「つりあっている」といいます。力がつりあっているときは、2つの力がお互いにぴったり打ち消しあい、結果として合力（ごうりょく）はゼロになります。

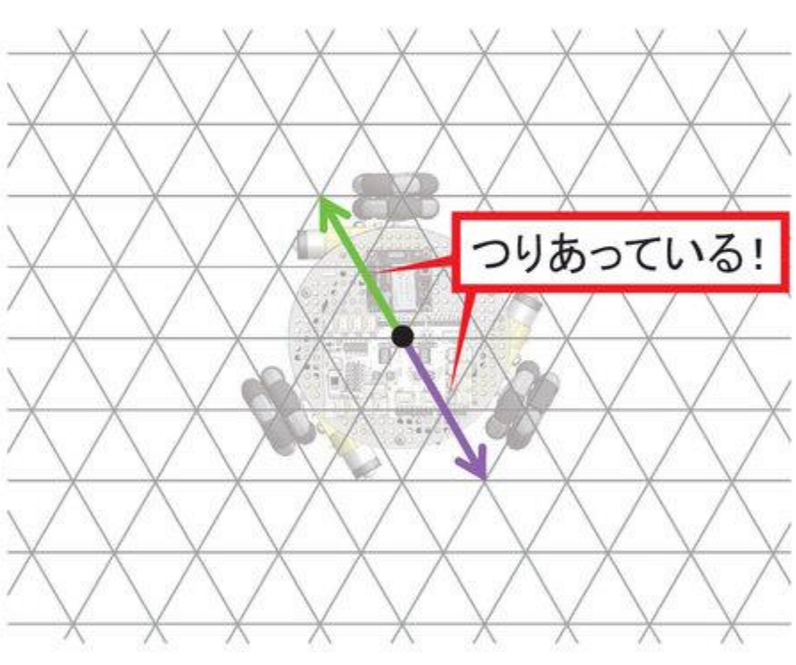


図1-5　力のつりあい

実際に、**図1-3**の動きをロボットにさせてみると、力がはたらかないのでどの方向にも移動しません。その場で回転し続けるだけです。

これで、3つの力の合力（ごうりょく）を求められるようになりました。つまり、オムニホイールロボットにどのような命令を出すとしても、「進む方向」はわかるようになったということです！
ただ、ロボットがどのように動作するかは、「進む方向」だけでなく「回転する方向」もあわせて考えなければわかりません。
「合力（ごうりょく）」の次は「モーメント」という考え方を学び、「回転する方向」も求められるようになりましょう！

2. 回転の仕組み（目安 75 分）

2.0. 力のモーメント

1）力の作用

ここでは、物体の回る動きをくわしく見ていきます。**図2-0**は、1つの物体に2つの力が違う場所に作用している様子です。この場合、2つの力の向きによっては、つりあって動かない場合（左図）もありますが、前に進む場合（中央図）や、さらには、回転する場合（右図）もあります。

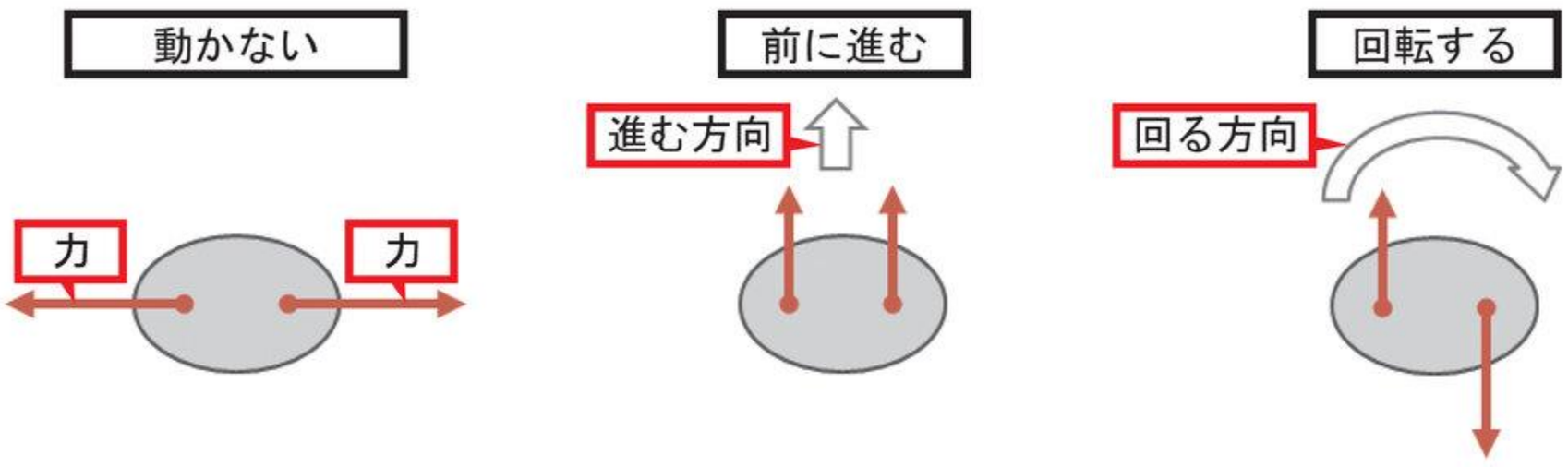
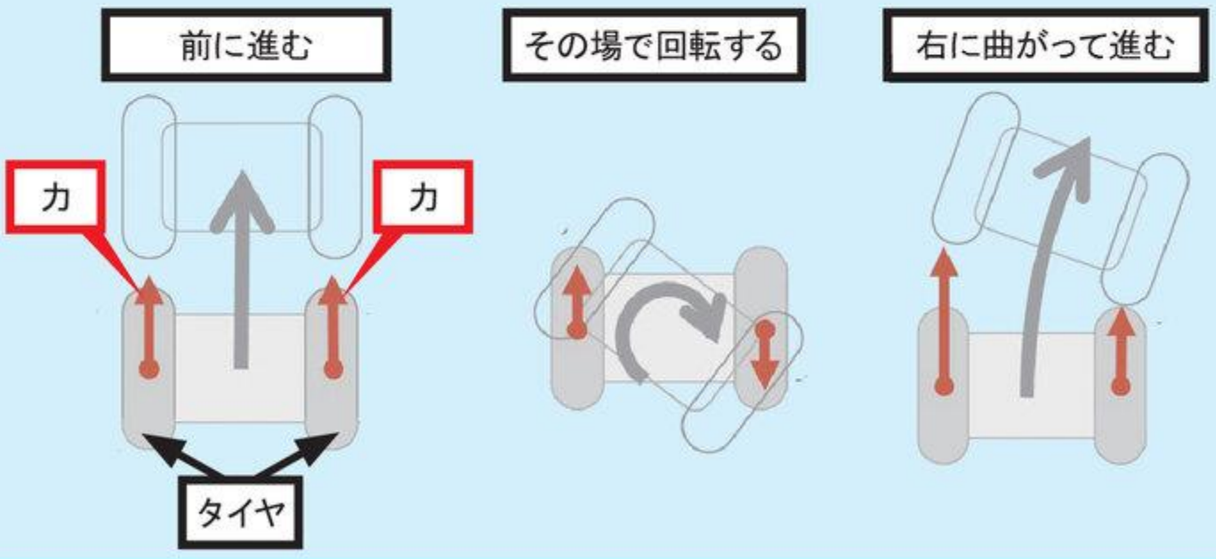


図2-0　力の作用と物体の動き

合力（ごうりょく）を求めるだけでは、オムニホイールロボットの動きを考えられないことがあります。「ロボットを回転させる力はあるか、あるとしたらどちら向きの回転か」を一緒に求めることで、ようやく正確な予測ができるようになるのです。

コラム　車いすの動き

車いすには左右に大きな車輪とキャスターがついています。左右にある2つの大きな車輪は手で回したり電動で動かしたりできますが、このときの力の作用はちょうど、**図2-0**の中央と右側の図の関係になっています。左右の車輪を同じ方向に回すと前後に進むことができ、反対の方向に回せばその場で回転することもできます。また、左右の車輪の速度差でカーブを曲がる動きもできます。下の図の右側は車いすを上から見たところです。



講　図 2-0 の一番右の図の場合、合力が0であっても、静止せずに回転をさせる作用が働きます。物体の中心が回転軸になります。

2）回る動きと力のモーメント

力は物体をそのまま移動させる性質だけでなく、物体を回転させるような性質ももっています。この「力がもつ、物体を回転させるような性質の強さ」のことを「モーメント（力のモーメント）」といいます。

たとえば、おはしで食べ物をつかむとき、おはしの先端（せんたん）を使うより、少し根元に近い方を使った方が軽く感じませんか。同じ食べ物をつかんでいる以上、かかる力の大きさは同じはずなのに不思議ですよね。
これは、モーメントが「力」と「（回転中心からの）距離（きょり）」の2つで決まるためです。おはしの先端（せんたん）を使う方が回転中心（持つ部分）との距離（きょり）が大きくなるため、食べ物の重さによるモーメントが大きくなってしまったというわけです。

モーメントの考え方は、「いかに効率よくものを回せるか」「いかにもとの力を最適な強さに調整するか」を追求するのに役立ちます。ねじやナットを工具で回すときは、なるべく回転中心（ねじやナット）から遠い場所を持って回した方が、小さな力でも大きなモーメントを生み出せるので「お得」ですよね。

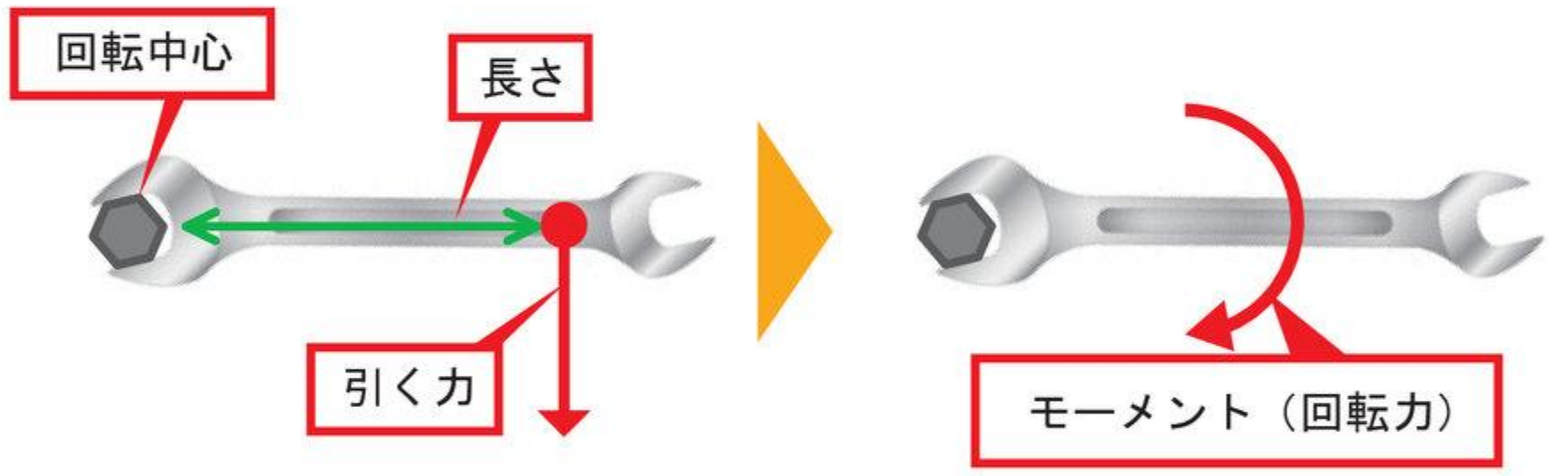


図2-1　工具によるボルトのしめ付け作業と力のモーメント

逆に、ピンセットは回転中心（根元）に近い部分を持つことが多いですよね。手からかかる力のモーメントをあえて小さくすることで、やわらかいものや精密なものを壊さずに持つことができるようになっています。

豆知識

図2-1のように回転中心の位置が固定されているとき、モーメントのことを「トルク」と呼ぶこともあります。ロボットをはじめとした機械づくりの世界ではたびたび登場する言葉なので、覚えておくとよいかもしれません。

3）モーメントの求めかた

モーメントは「力の大きさ×回転中心との距離（m)」というかけ算で求めることができます。力の大きさは「N(ニュートン)」という単位を用いて数値で表すことができるので、本来はモーメントも「Nm (ニュートンメートル)」という単位をもつ値として求めることができます。
ただ、今回は数字の計算をするのが目的ではないので「力や距離を2倍にすればモーメントも2倍に、力や距離を半分にすればモーメントも半分になる」ということさえ理解しておけば大丈夫です。

たとえば、次の図のように、シーソーの両側におもりを乗せている場面を考えてみましょう。

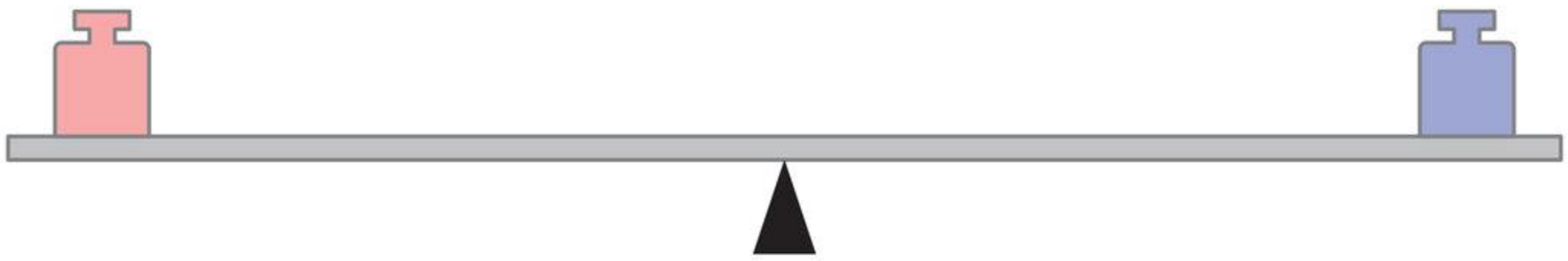


図2-2　シーソーにおもりを乗せる

赤のおもりと青のおもりは、それぞれシーソーを反時計回り、時計回りに回転させようとしています。
ということは、よりモーメントの大きいおもりがどちらなのかを求めれば、シーソーがどちらにかたむくか予想できますね。

赤のおもりと青のおもりが同じ重さで、中心からの距離も等しければ、2つのおもりのモーメントは等しくなるためどちらにも回転しません。

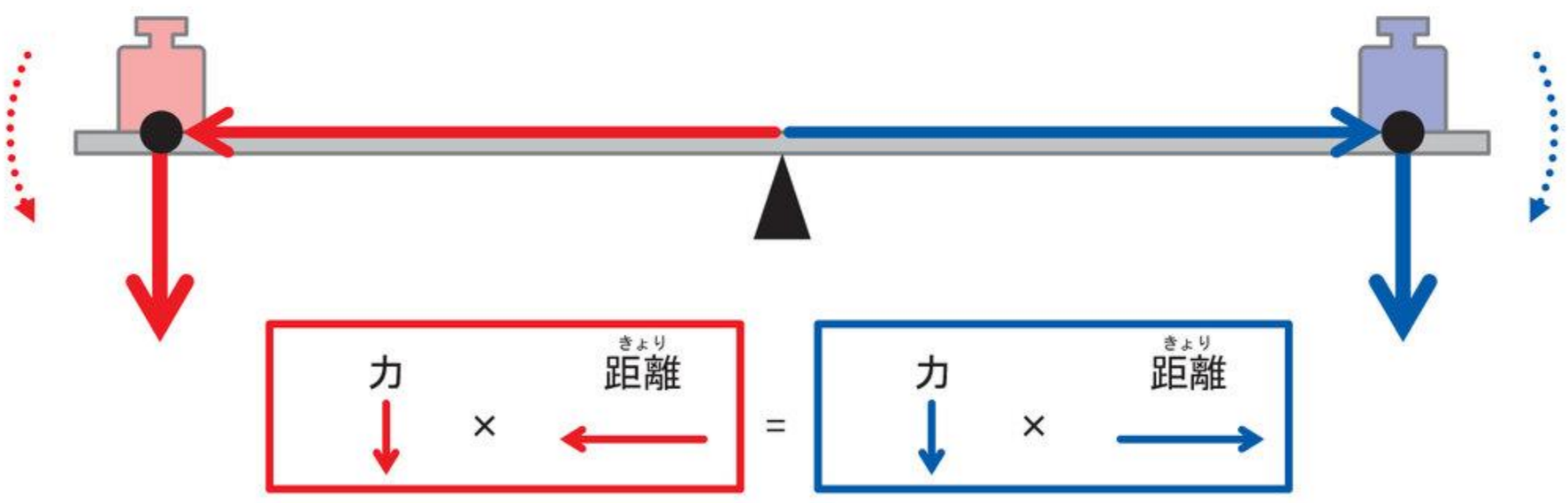


図2-3　モーメントが等しい

もし赤のおもりが2倍の重さになれば、赤のおもりのモーメントも青のおもりの2倍になるため、シーソーは反時計回りに回転する（＝赤のおもりが下がる）ことになります。

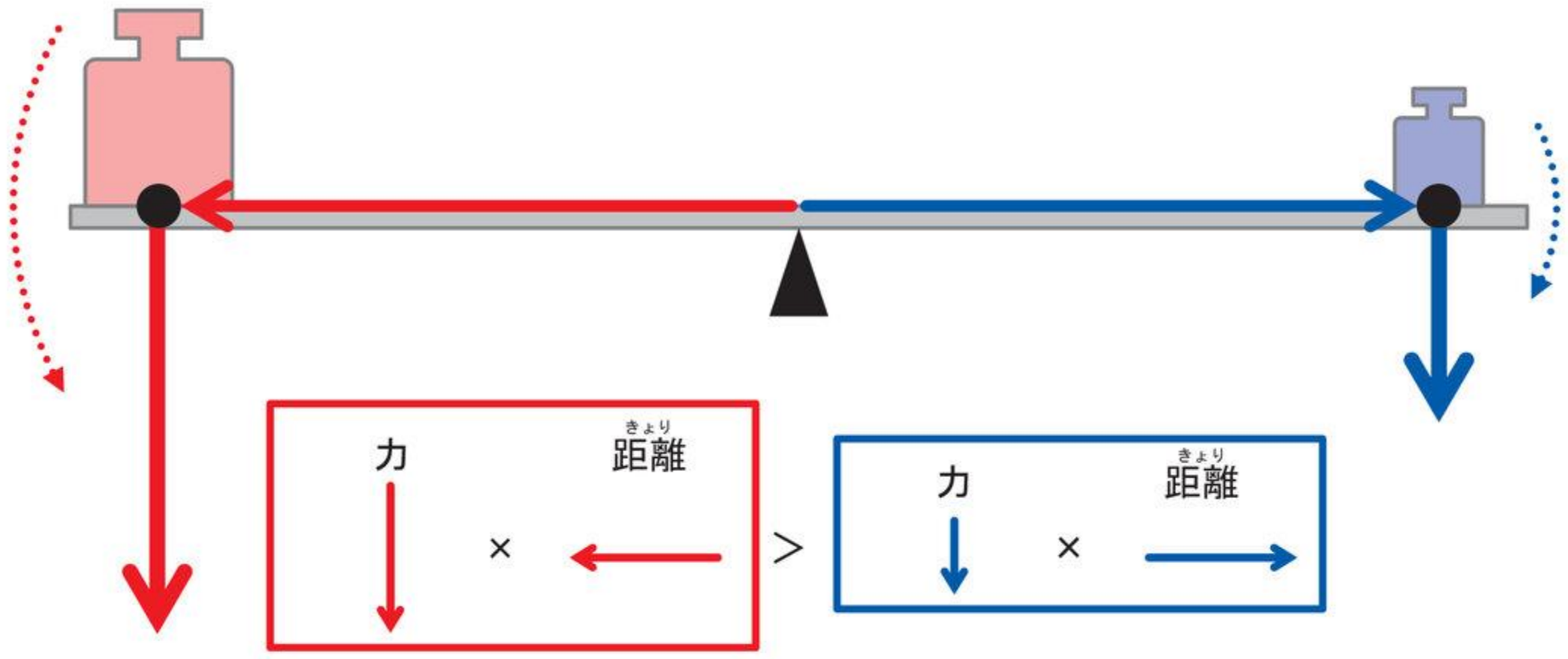


図2-4　赤のおもりが2倍の重さ

おもりの重さが同じでも、距離が変化すればモーメントにも差が出ます。
青のおもりだけ、中心との距離を半分にすれば、青のおもりのモーメントも赤のおもりの半分になります。
これも赤のおもりの方がモーメントが大きくなるので、シーソーは反時計回りに回転します。

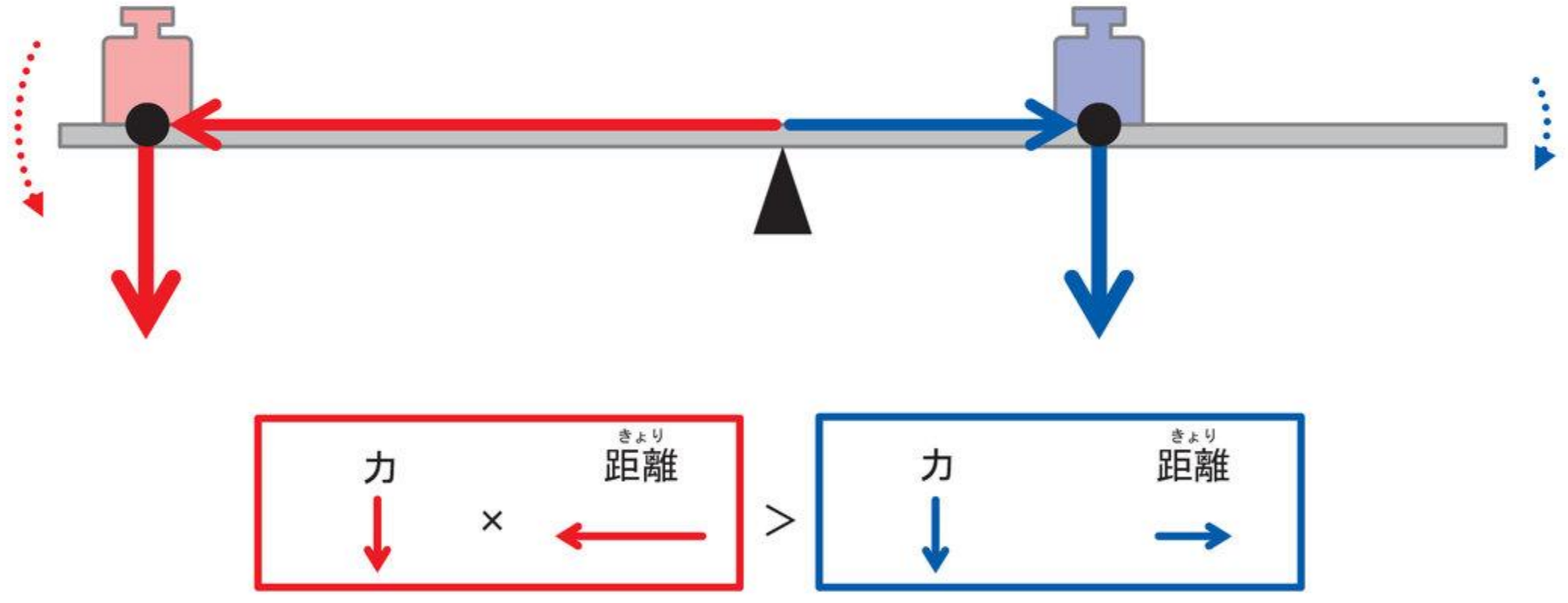


図2-5　青のおもりが半分の距離

赤のおもりを2倍の重さにするかわりに、中心との距離は半分にしてみましょう。
この場合、赤のおもりのモーメントは「2倍の重さ×半分の距離」なので、元と同じ値になります。
つまり、青のおもりのモーメントと等しいままになるので、シーソーは回転しません。

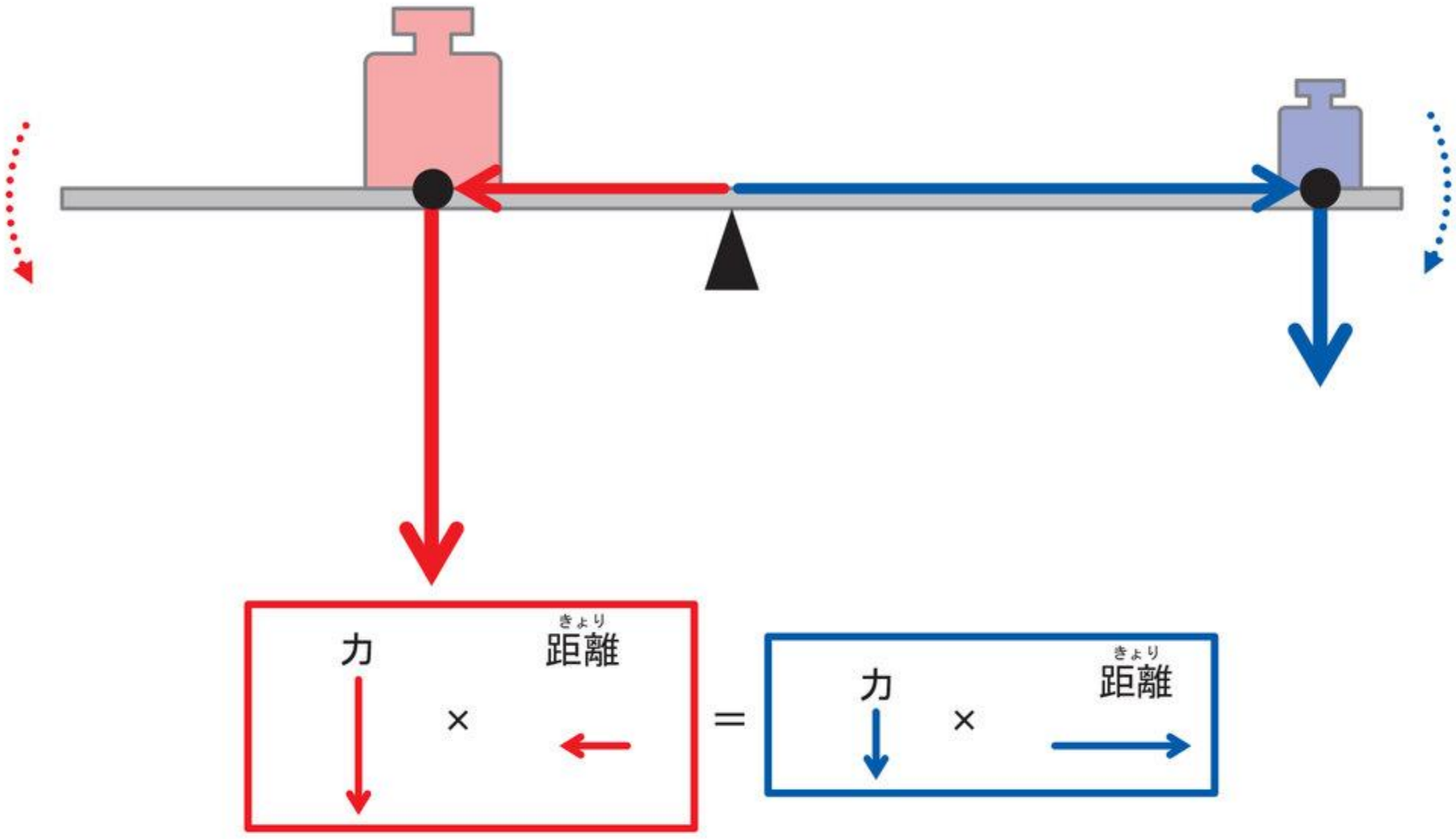


図2-6　赤のおもりが2倍の重さ、半分の距離

ちなみに、片方に2つ以上のおもりがあれば、モーメントを足すことができます。

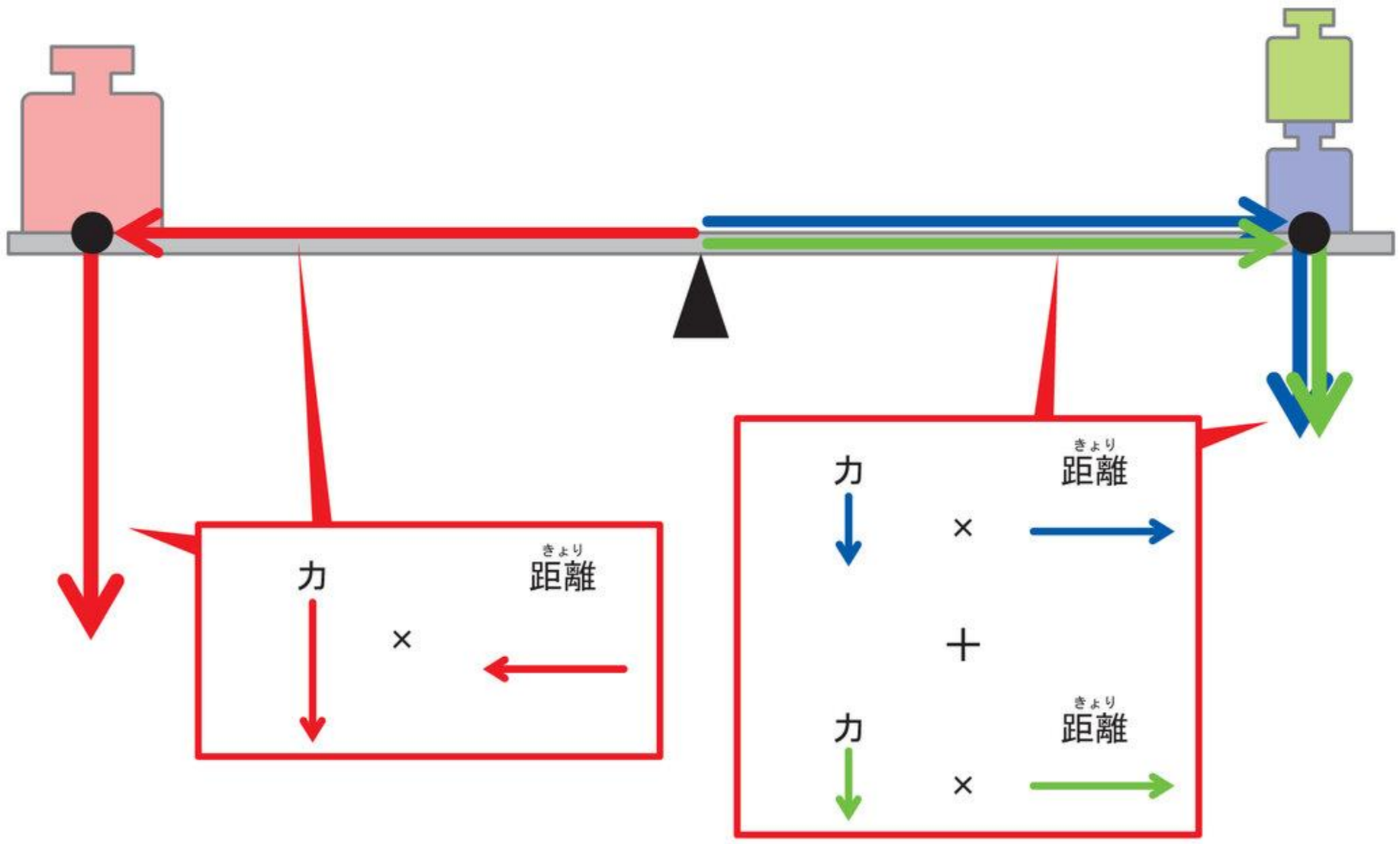


図2-7　おもりを3つに増やす

図2-7の場合、青のおもりと緑のおもりのモーメントを足せば、赤のおもりのモーメントと等しくなりますね。よってシーソーは回転しません。

このようにすれば、物体の回転を予測することができますね。あとはこの考え方を、オムニホイールロボットに応用してあげるだけです！

2.1. モーメントの合成

オムニホイールロボットはモーターと中心との距離(きょり)が3つとも等しいので、力の大きさ、つまり `mc.rotate();` の値を比べるだけでモーメントを考えることができるという利点があります。

ためしに、以下の図を使ってモーメントを求めてみましょう。
先ほど、合力(ごうりょく)がつりあって0になっていることがわかった図ですね。

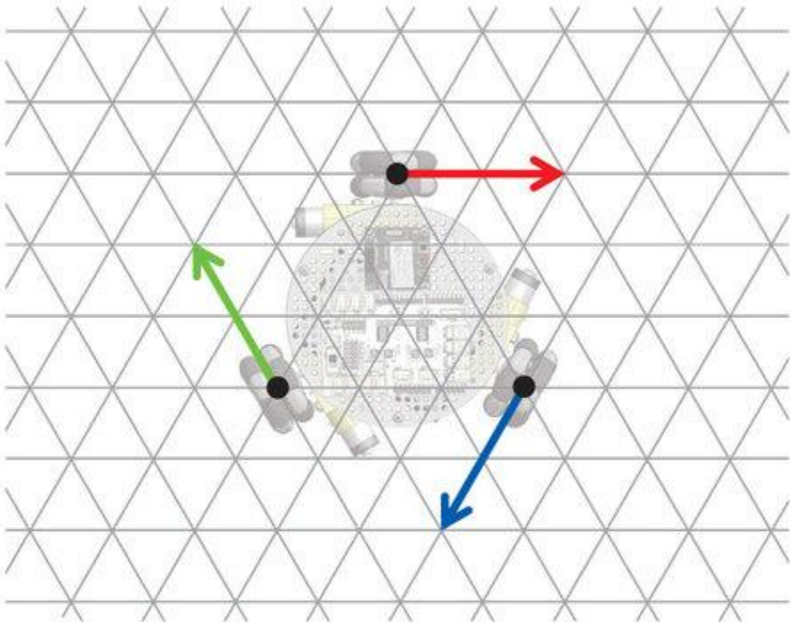


図2-8　モーメントを求める

赤の力、青の力、緑の力、それぞれの「回転方向」と「力の強さ（矢印の長さ）」をまとめます。

表2-0　3つの力の向きと強さ

	MC0モーター（赤）	MC1モーター（青）	MC2モーター（緑）
回転方向	時計回り	時計回り	時計回り
力の強さ	2マス	2マス	2マス

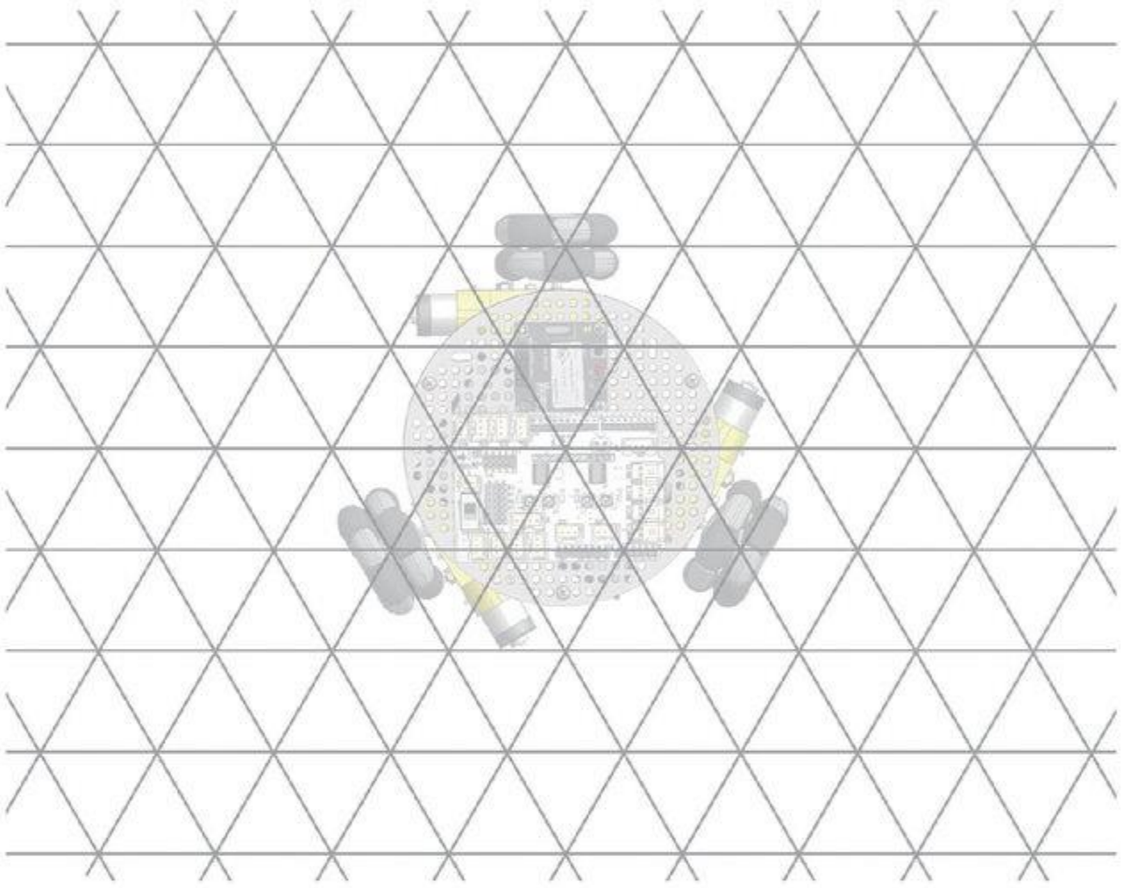
前のページの説明通り、回転方向が同じであればモーメントを足すことができます。
今回は3つとも時計回りなので、すべて足しあわせて「時計回り方向に6マス分」のモーメントと言えます。
合力(ごうりょく)は0だったので「移動せず、時計回りに回転する」という動きが予想できますね。
実際にこの速度で動作させてみれば、ロボットがその場でグルグル回ることが確認できます。

やってみよう！

以下のような動作命令を書きこんだとき、ロボットはどのように動くかな？
合力（ごうりょく）とモーメントの合計をそれぞれ求め、予想してみよう！

```
void loop(){
    mc0.rotate(150);
    mc1.rotate(-50);
    mc2.rotate(100);
}
```

3つの力の矢印を書き込（こ）み、合力（ごうりょく）を求めよう！



	MC0モーター	MC1モーター	MC2モーター
回転方向	時計回り	反時計回り	時計回り
力の強さ	3マス	1マス	2マス

モーメントの合計は…　時計回り　方向に　4　マス！

動作内容は…　時計回りに回転しながら右前方に進む

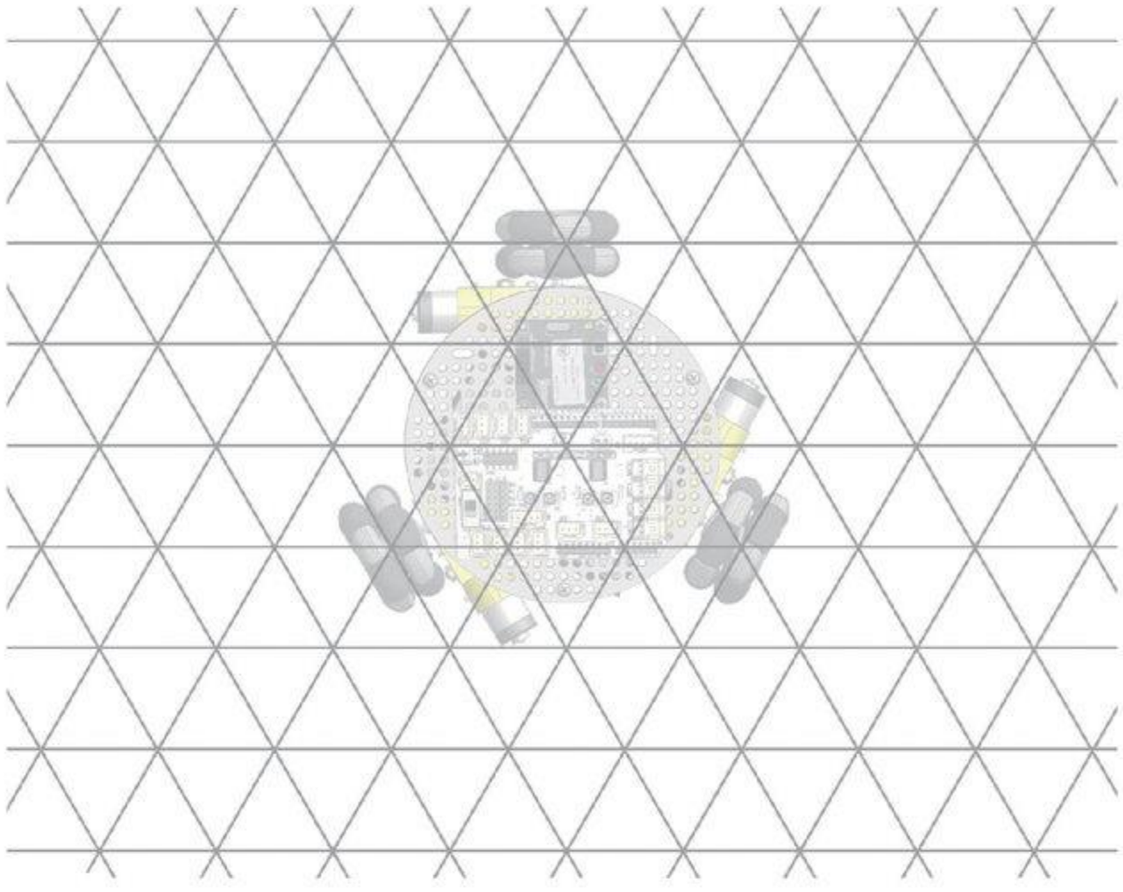
ヒント

mc.rotate(50); を矢印1マス分として考えよう！

講　図の解答例は巻末に記載します。

ステップアップ

オムニホイールロボットが回転することなく真横（右）に移動するためには、3つのモーターをどのように回転させればいいだろうか？
力の合成とモーメントをフル活用して、ロボットを動かさずに求められるかな？
ためしで動かす回数がなるべく少なくなるように挑戦してみよう！



ヒント
「回転することなく真横に移動」するためには、合力（ごうりょく）とモーメントはそれぞれどのようになる必要があるかな？

講
MC1 および MC2 モーターを、MC0 のモーターの半分の速さで逆回転させます。
こうすることで「合力が真横方向」「モーメントの合計が 0」の双方を満たすことができます。
解答例は巻末に記載します。
また、真横移動を行うプログラム例は下記のものです。
RoboticsProfessorCourse1 > OmniWheelRobot4 > Challenge1

チャレンジ課題

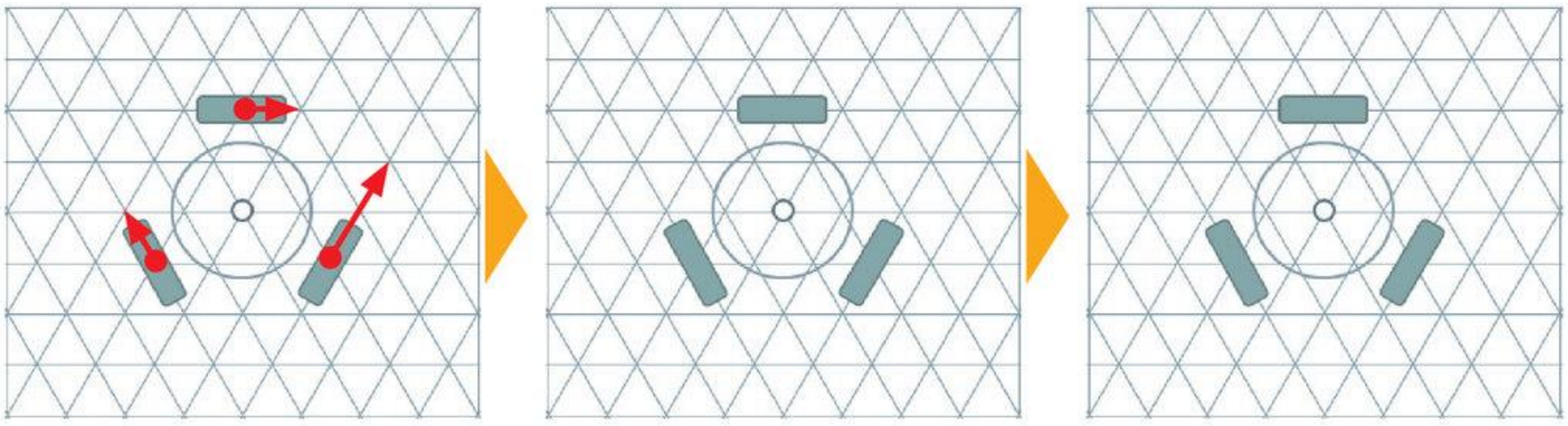
第3回のプログラム「Square」を書きかえ、ロボットが正方形を描いて移動するようにしてみよう！

講　解答例は巻末に記載します。

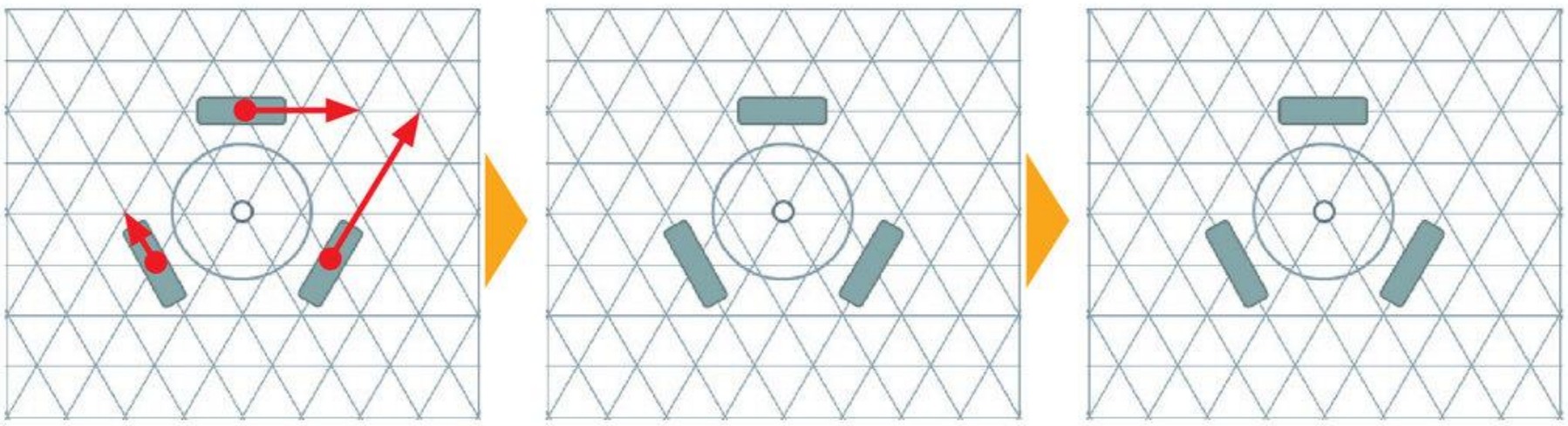
チャレンジ課題

オムニホイールロボットの動きを予想して、どのように動くか実際に動かしてためしてみよう！　1マスを速度50として動かそう。

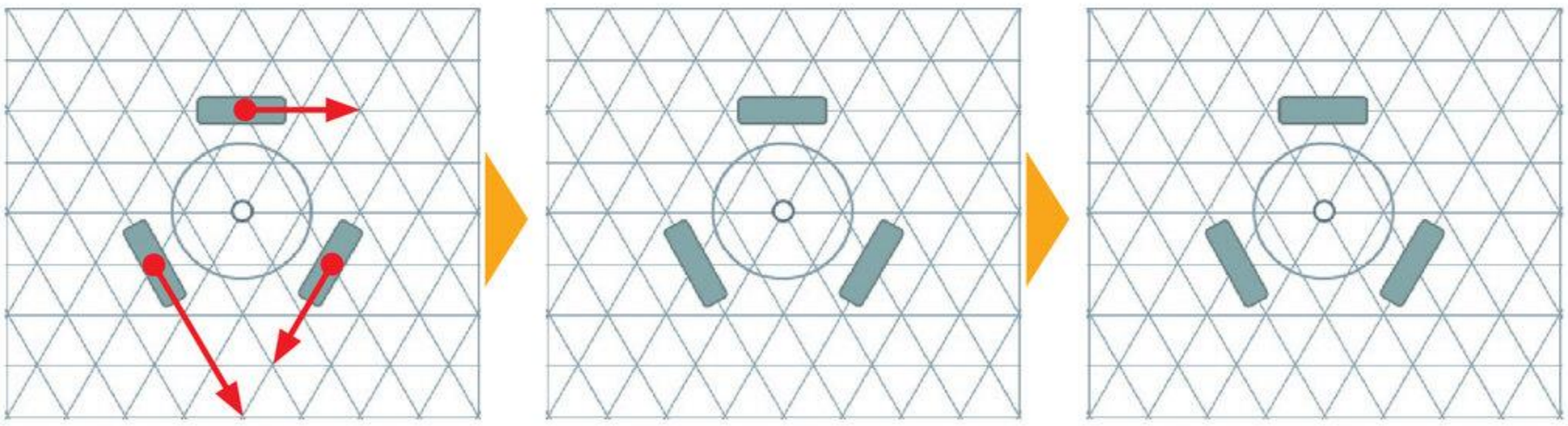
1.



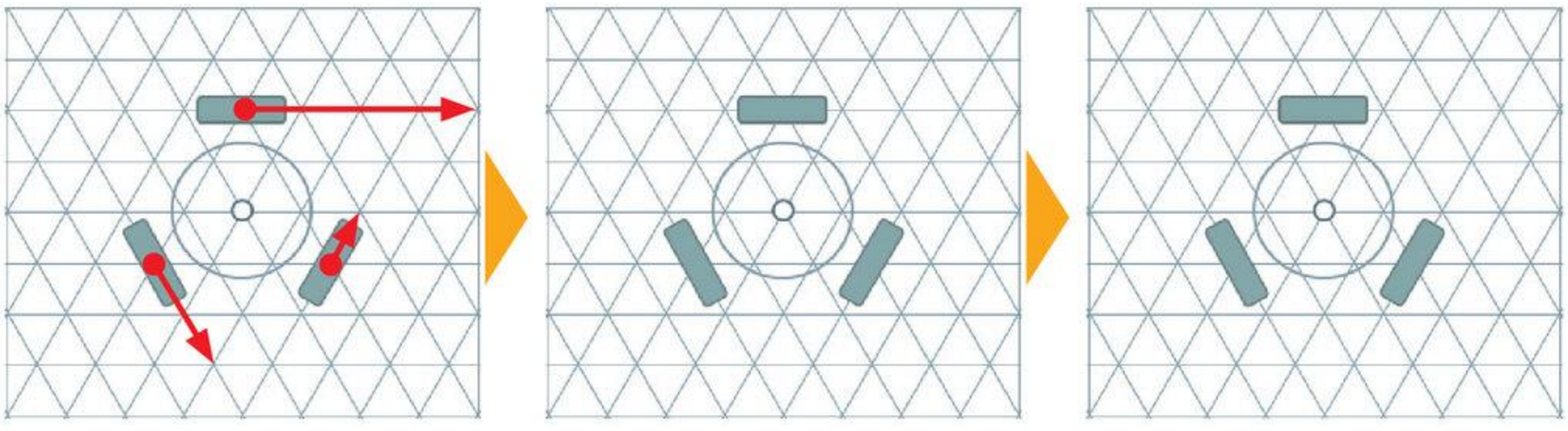
2.



3.



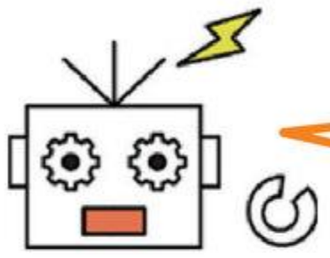
4.



講　解答例は巻末に記載します。

3. まとめ（目安５分）

今回は、ロボットが回る動き（回転運動）を、モーメントの合成を理解しつつ、学びました。力の合成とモーメントの合成についてはわかりましたか。次回は、タッチセンサーを使って、もっとカシコイロボットをつくります。



センサーを使うと、もっとカシコクなるヨ！

講

○　以下の授業の目標を再確認します。
　・3 つの力の合成について理解する
　・モーメントの合成をマスターする
○　今回の授業で学んだ感想や面白かったことなどを、生徒から聞いてみましょう。
○　次回テーマは「センサーを使ったカシコイロボット」であることを告知します。

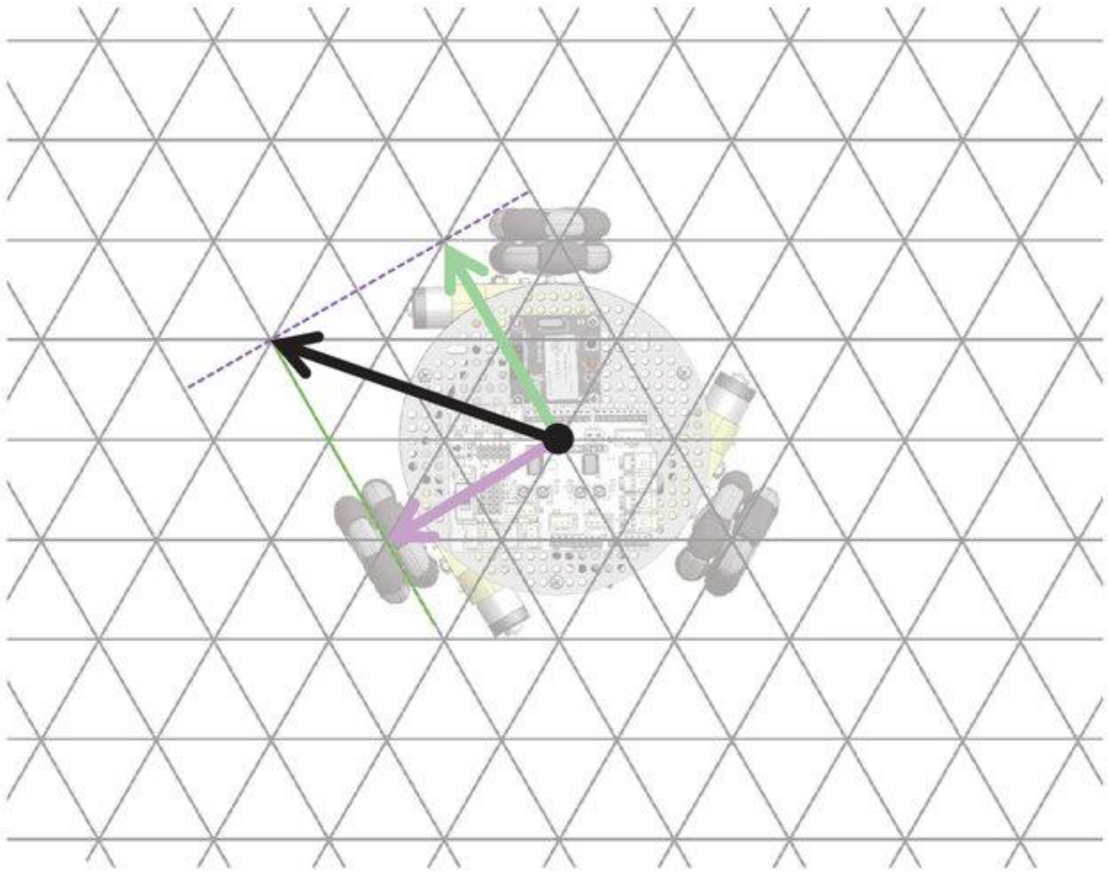
≪次回必要なもの≫

次回は、今回使ったロボットと以下のパーツを持ってきてください。

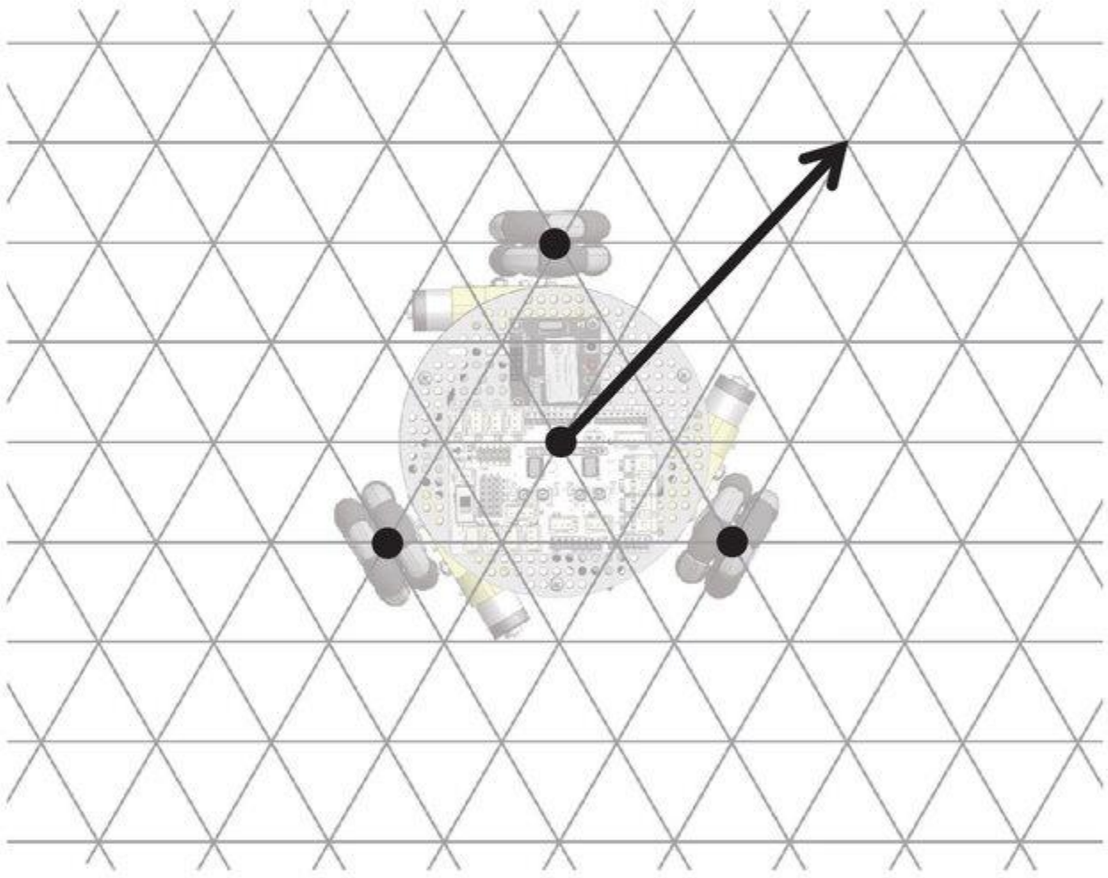
ラジオペンチ 1	ドライバー 1	USBケーブル 1	タッチセンサー 2
			
100mmビニールチューブ 1	**M2.6L8タッピングネジ(B) 4**	**200mm針金 2**	
			

図3-0　次回必要なもの

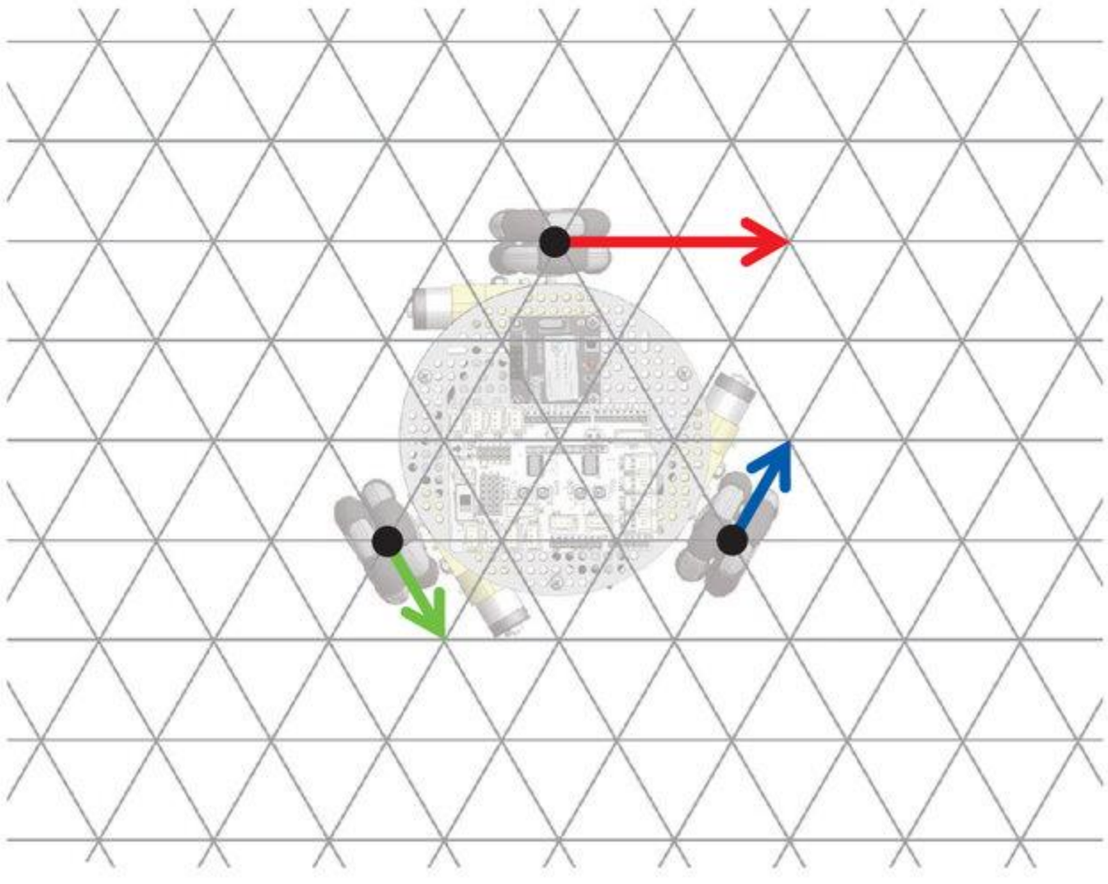
P.4　やってみよう!　解答例



P.13　やってみよう!　解答例



P.14　ステップアップ　解答例

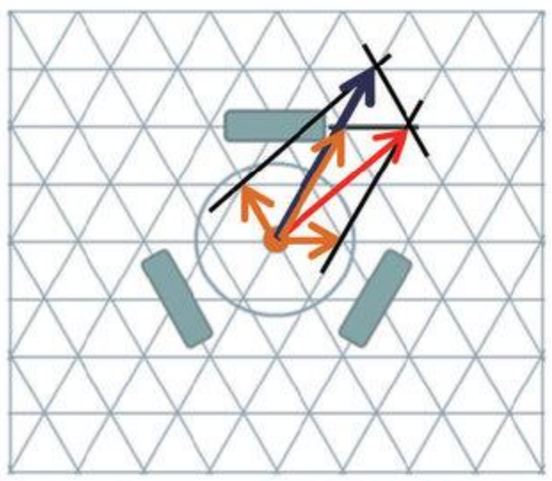


P.14　チャレンジ課題　解答例

```
#include <RPlib.h>

// ピン接続設定
RPmotor mc0(MC0);
RPmotor mc1(MC1);
RPmotor mc2(MC2);

void setup()
{

}

void loop()
{
mc0.rotate(0);          // 前（mc0）のモーターを回す
mc1.rotate(-100);       // 右（mc1）のモーターを回す
mc2.rotate(100);        // 左（mc2）のモーターを回す
delay(1000);            // 1秒（1000ミリ秒）の間待つ

mc0.rotate(100);        // 前（mc0）のモーターを回す
mc1.rotate(-50);        // 右（mc1）のモーターを回す
mc2.rotate(-50);        // 左（mc2）のモーターを回す
delay(1000);            // 1秒（1000ミリ秒）の間待つ

mc0.rotate(0);          // 前（mc0）のモーターを回す
mc1.rotate(100);        // 右（mc1）のモーターを回す
mc2.rotate(-100);       // 左（mc2）のモーターを回す
delay(1000);            // 1秒（1000ミリ秒）の間待つ

mc0.rotate(-100);       // 前（mc0）のモーターを回す
mc1.rotate(50);         // 右（mc1）のモーターを回す
mc2.rotate(50);         // 左（mc2）のモーターを回す
delay(1000);            // 1秒（1000ミリ秒）の間待つ

}
```

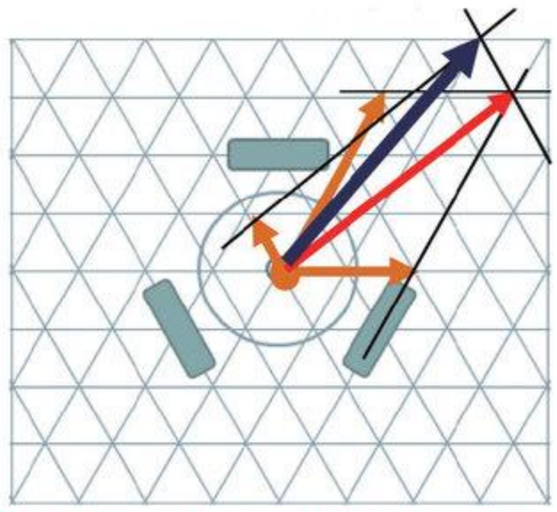
P.15　チャレンジ課題　解答例

1.



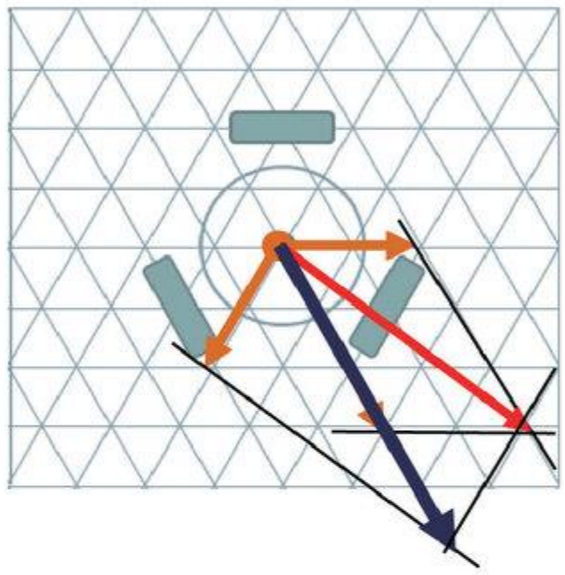
（時計回り1、反時計回り2、
時計回り1⇒0）

2.



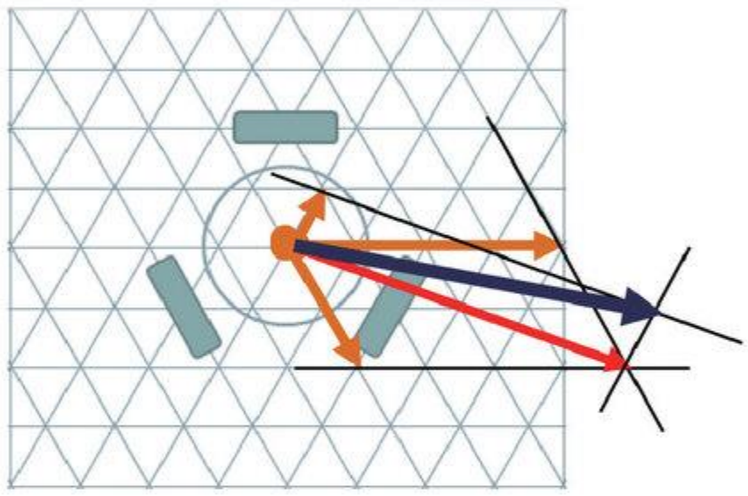
（時計回り2、反時計回り3、
時計回り1⇒0）

3.



（時計回り2、時計回り2、
反時計回り3⇒時計回り1）

4.



（時計回り4、反時計回り1、
反時計回り2⇒時計回り1）