

ロボット(梵天丸)のからくり

～ 工業高校版・梵天丸活用レシピ～

ロボットの仕組みを知ろう(その1)

「ロボット(梵天丸)を旋回させる」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その2)

「ロボット(梵天丸)をまっすぐ走らせる」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その3)

「ロボット(梵天丸)の足は、なぜ3輪？」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その4)

「ロボット(梵天丸)の前足は、なぜキャスター？」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その5)

「ロボット(梵天丸)の前足が、キャスターでなかったら？」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その6)

「ロボット(梵天丸)の足を、4輪に改造したら？」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その7)

「ロボット(梵天丸)が前進や後進ができるのは、なぜ？」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その8)

「ロボット(梵天丸)の前進や後進を切り替える回路は、どこにある？」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その9)

「ロボット(梵天丸)のスピードを変える方法(その1)」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その10)

「ロボット(梵天丸)のスピードを変える方法(その2)」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その11)

「ロボット(梵天丸)を操縦する」の巻

ロボットの仕組みを知ろう(その12)

「ロボット(梵天丸)の目には、何が見える？」の巻

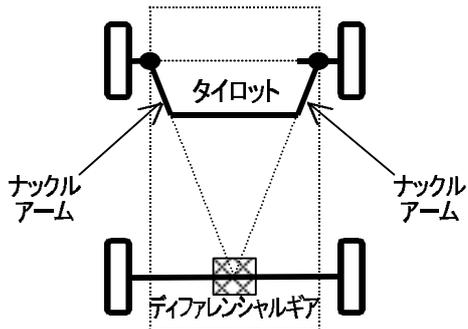
ロボットの仕組みを知ろう(その1)

段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)を旋回させる ~自動車とロボット(梵天丸)を比較する~

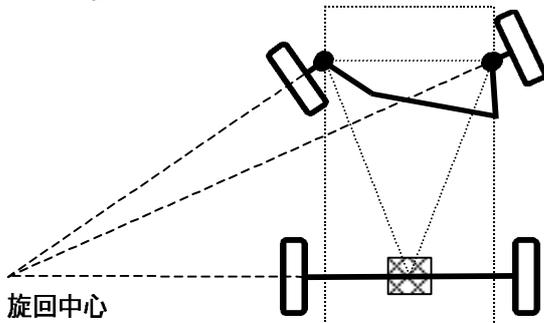
一般的な自動車(FR車)の場合

(アッカーマン方式のステアリング機構)



ナックルアームに注目

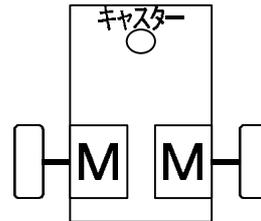
左右にあるナックルアームは、その延長線がリアの車軸の中央で交わるように角度が付いている(その理由は、ハンドルを切ると分かる)。



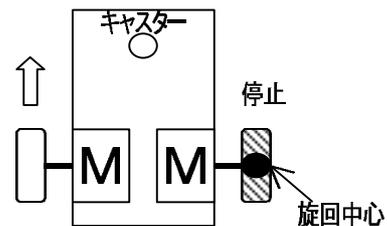
ハンドルを切ると、すべての車輪の旋回中心が1つの点になる(ここがアッカーマン方式の凄い所)。

つまり、すべての車輪は同じ旋回中心を持つので、同心円を描いて旋回する(カーブをロス無く、スムーズに曲ることができる)。しかし、旋回半径を限りなく小さくすることはできないので、**小回りが苦手**である。

ロボット(梵天丸)の場合

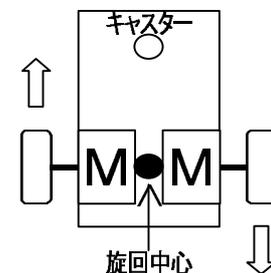


ロボット(梵天丸)は、自動車と違って「ステアリング機構」を使わずに、左右の車輪の回転を制御することで(つまり、ブルドーザーや戦車と同じ仕組みを使って)旋回する。



カーブを曲がる時は、曲がりたい側の車輪を止める(信地旋回という)。

少し向きを変えたい時は、曲がりたい側の車輪を少し遅くする(左右の車輪の速度差が大きければ旋回半径は小さくなり、逆に速度差が小さければ旋回半径が大きくなる)。



左右の車輪を逆方向に回転させれば、その場旋回も可能となる(超信地旋回という)。

つまり、ロボット(梵天丸)は旋回しやすく作られており、特に**小回りが得意**である。

ロボットの仕組みを知ろう(その2)

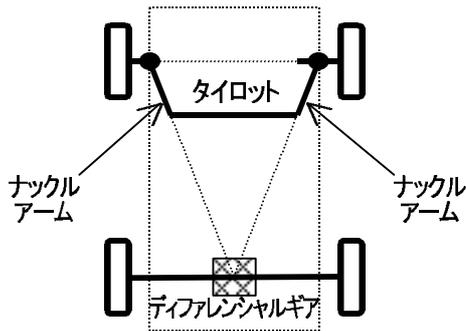
段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)をまっすぐ走らせる

~自動車とロボット(梵天丸)を比較する~

一般的な自動車(FR車)の場合

(アッカーマン方式のステアリング機構)

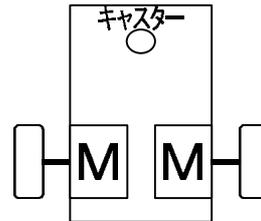


「ステアリング機構」は、走る方向を決める大切な役割があるので、まっすぐ走るときにも必要である。



まっすぐ走る = ハンドルを切らない
(まっすぐ走るとは、とても簡単)

ロボット(梵天丸)の場合

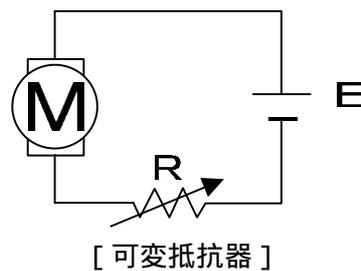


駆動輪がステアリング機構の働きをする
ロボット(梵天丸)は、左右の車輪を全く同じ
速さで回転させたときだけ、まっすぐ走る。

つまり、左右の車輪の回転速度が少しでも
違っている場合は、まっすぐ走ること
はない(この場合、とても大きな旋回半径で旋回し
ていると考えることができる)。



まっすぐ走るのが苦手なロボット(梵
天丸)をまっすぐ走らせるには、何が
必要?



図のように、電池とモータの間に可変抵抗器
を入れ、左右のモータに流れる電流をそれ
ぞれ調節し、同じ回転速度で車輪が回転す
るように調節する(新型の梵天丸には、この
可変抵抗器が付いたので、このような調整が
簡単にできるようになった)。

ロボットの仕組みを知ろう(その3)

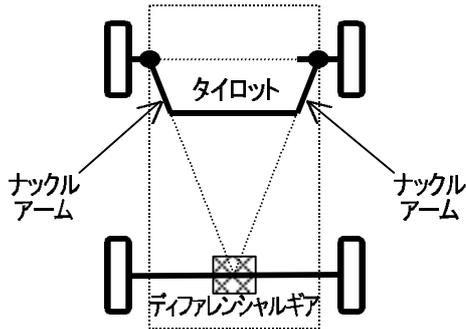
段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)の足は、なぜ3輪？

～自動車とロボット(梵天丸)を比較する～

一般的な自動車(FR車)の場合

(アッカーマン方式のステアリング機構)



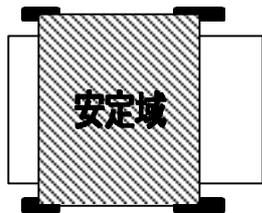
4輪接地の場合は、「サスペンション」が必要不可欠である。もし、「サスペンション」がなかったら、路面状態によっては、どれか1輪が浮く(つまり、3 / 4輪接地の)不安定な車になる。



従って、ロボット(梵天丸)が4輪接地であったなら、安定走行には「サスペンション」が必要不可欠なものとなる分、構造が複雑になり、組み立て難くなる。

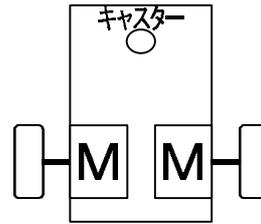


しかし、3輪に比べると4輪の方が車体の安定性は高い(安定域が広いため)。



[自動車(4輪車)のホイールレイアウト]

ロボット(梵天丸)の場合

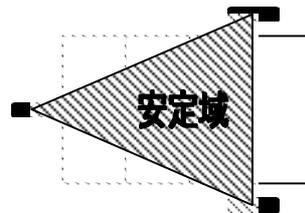


3輪で接地しているロボット(梵天丸)は、2本のタイヤと1個のキャストが常に接地している(つまり、「サスペンション」がなくとも安定走行する)車体なので、構造がシンプルになる分、簡単に組み立てられる。

3輪で接地しているロボット(梵天丸)は、4輪と比べると1輪あたりの荷重が大きくなるので、駆動輪のグリップも大きくなって空転し難い(つまり、空転が少ない車体であれば、左右の車輪を同じ回転速度に調整することで、まっすぐ走らせることも可能)。



しかし、4輪に比べると3輪の方が車体の安定性は低いので、重いものを載せる場合には注意が必要である(安定域に搭載する)。



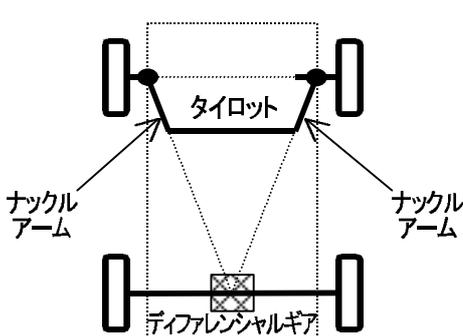
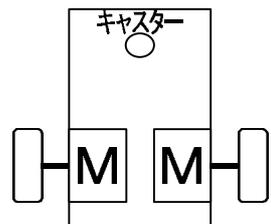
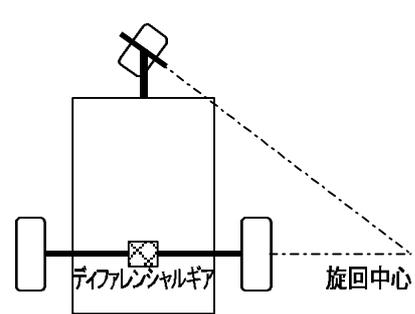
[昔のオート三輪のホイールレイアウト]

ロボットの仕組みを知ろう(その4)

段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)の前足は、なぜキャスター？

～自動車とロボット(梵天丸)を比較する～

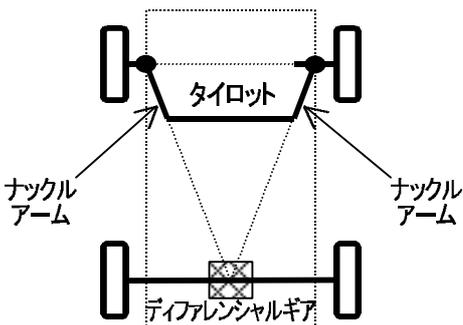
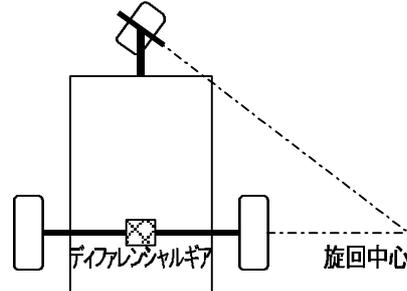
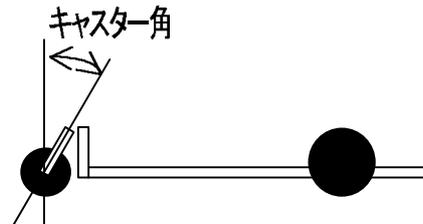
一般的な自動車(F R車)の場合	ロボット(梵天丸)の場合
<p>(アッカーマン方式のステアリング機構)</p> 	 <p>駆動輪がステアリング機構の働きをする ロボット(梵天丸)の場合、前輪には「いつも進行方向を向く」キャスターが必要となる。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>逆に、前輪がキャスターでなかったら、前輪には「ステアリング機構」が必要となる。</p> <p>下図は、自転車やバイクと同じピポット式のステアリングを使った例である(この場合、駆動輪(後輪)は2モータ方式ではなく、自動車(F R車)と同じような構造となる)。</p>
<p>もし、自動車(F R車)の前輪が「ステアリング機構」を使わずに「キャスター」で作られていたら(つまり、荷物運搬用台車と同じような車輪構造になっていたら)、その車はどのような走り方をするのだろうか？</p> <p style="text-align: center;">↓</p>	
<p><u>キャスターの利点</u> いつも進行方向を向く</p> <p><u>キャスターの欠点</u> 自動車の「ステアリング機構」とは違って走る方向を意図的に変えることができない</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>普通の自動車(F R車)の場合は、駆動輪をロボット(梵天丸)のように独立して制御することができないので、前輪にキャスターを使えば、<u>走る方向を変えることができない車(つまり、左右の車輪の回転数が同じであれば、まっすぐ走るだけの車)になってしまう。</u></p>	<p>図のように、前輪に「ステアリング機構」を持つことになると、3輪自転車(3輪スクーター)のような車体になってしまう。</p> <p>つまり、小回りの苦手なロボット(梵天丸)になってしまうのだ。</p>

ロボットの仕組みを知ろう(その5)

段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)の前足が、キャスターでなかったら？

～自動車とロボット(梵天丸)を比較する～

一般的な自動車(F R車)の場合	ロボット(梵天丸)の場合
(アッカーマン方式のステアリング機構)	(ピボット式のステアリングの場合)
 <p>タイロッド ナックルアーム ナックルアーム ディファレンシャルギア</p>	 <p>ディファレンシャルギア 旋回中心</p>
<p>「ステアリング機構」が付いている自動車の前輪には、自転車やバイクと同じように「キャスター角」が付けられている。</p>	<p>前輪がキャスターでなかった場合は、前輪には「ステアリング機構」が必要となる。 例えば、自転車やバイクと同じピボット式のステアリングを採用した場合で考えると、その前輪には、下図のような「キャスター角」が必要となる。</p>
 <p>キャスター角</p>	 <p>キャスター角</p>
<p>キャスター角とは</p> <p>前輪に「キャスター角」を付けると、前輪がいつも進行方向を向く「キャスター」のような働きをするため、ハンドルには復元力が働き、直進安定性が高まる。</p> <p>↓</p> <p>つまり、ハンドルには復元力が働くので、例え手放し運転を行ったとしても、<u>まっすぐに進むことが可能</u>ということになる。</p>	<p>なぜ、「キャスター角」が必要なのか？</p> <p>もし、前輪に「キャスター角」が付いてなかったら、ハンドルが左右どちらかにほんの少し振れただけでも、どちらかに曲がる状態になってしまう(直進安定性がなくなる)。</p> <p>逆に、「キャスター角」を付け過ぎると、直進安定性が良くなり過ぎて、ハンドルを切ってもなかなか曲がらない状態になってしまう。</p>

ロボットの仕組みを知ろう(その7)

段階	所要時間
上級	

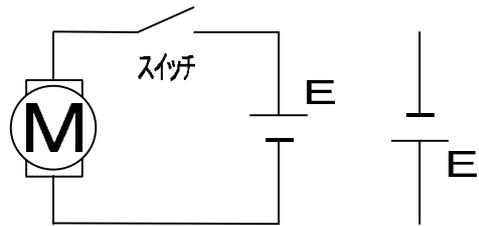
ロボット(梵天丸)が前進や後進ができるのは、なぜ？

(答え) 前進や後進ができるのは、モータに流す電流を逆転させ、モータの正転と逆転を切り替えているから。それでは、「モータに流す電流を逆転する」には、どうする？

方法 モータに接続した電池の向きを変える。



しかし、この方法では電池を外して逆向きに接続し直さなければならない。

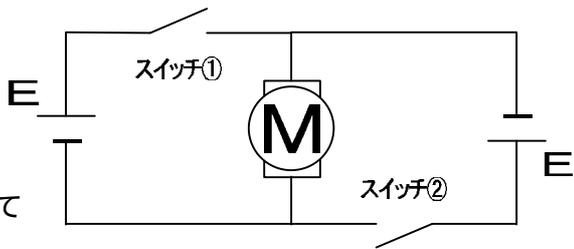


方法 予め逆向きの電池を接続しておき、スイッチで切り替える。



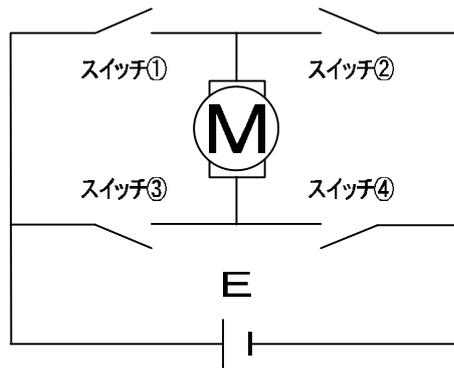
しかし、この方法では1個のモータに対して2組の電池が必要になってしまう。

(注意：2個のスイッチを同時にONにしないこと。)



方法 右図のようにスイッチを配置すると、電池を接続し直すことなく、正転と逆転を切り替えることができる。(このような回路のことを「フルブリッジ回路」という。)

梵天丸のような小型ロボットのほとんどは、この方法(方法)を使って切り替えている。



(1) 正転にする場合は、どうする？

(答) スイッチ ① とスイッチ ② を同時にONする。

(2) 逆転にする場合は、どうする？

(答) スイッチ ③ とスイッチ ④ を同時にONする。

(注意：4個のスイッチを、またはスイッチ ① とスイッチ ③ の2個のスイッチを、またはスイッチ ② とスイッチ ④ の2個のスイッチを同時にONしないこと。)

ロボットの仕組みを知ろう(その8)

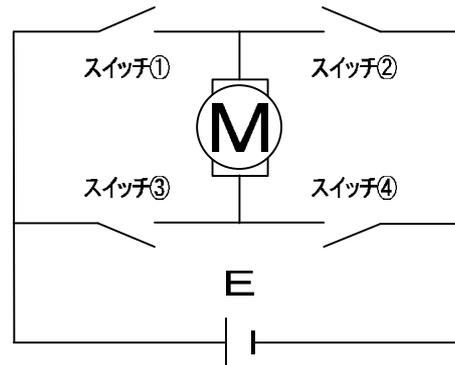
段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)の前進や後進を切り替える回路は、どこにある？

(答え) 前進や後進を切り替えるフルブリッジ回路は、「モータドライバ」というICの中にある。「モータドライバ」はモータと一対で使われるため、梵天丸には2個のドライバが使われている。

「モータドライバ」の役割

モータドライバ(フルブリッジ回路)は、右図のような4個のスイッチをON/OFFすることで、以下に示す「4種類のモータ動作」を制御している。



モータの動作 (フリー)

4個のスイッチが全部OFF (図の状態)

(モータが止まっていれば、回転しない。もし、回転していれば、惰性で回る。)

モータの動作 (正転)

スイッチ①とスイッチ④を同時にONすることで、モータを正転にする。

モータの動作 (逆転)

スイッチ②とスイッチ③を同時にONすることで、モータを逆転にする。

モータの動作 (ブレーキ)

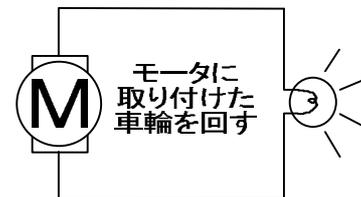
スイッチ①とスイッチ③を同時にONすることで、モータにブレーキを掛ける。



なぜ、「ブレーキ」が掛かるのか？

それは、簡単な実験で確認できる。(右図参照)

梵天丸からギアボックスを外し、モータに豆電球を付け、タイヤ(モータ)を回すだけでOK。



モータの両端を(豆電球を使って)結線すると、電池を接続していないのに、豆電球が点灯する。このとき、モータは発電機になっているのだ。

つまり、タイヤが回るときの運動エネルギーが電気エネルギーに変換され、その結果、運動エネルギーが急激に消費されてブレーキ(「回生ブレーキ」という)が掛かるのである。



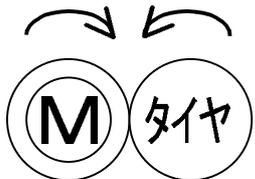
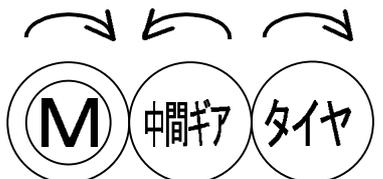
スイッチ①とスイッチ③を同時にONする(=モータの両端が結線する)ことで、モータを発電機にしてブレーキを掛けているのだ。

ロボットの仕組みを知ろう(その9)

段階	所要時間
上級	

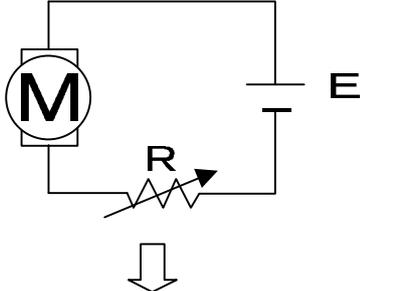
ロボット(梵天丸)のスピードを変える方法(その1)

(1) ギアボックスのギアの組合せを変え、スピードを変える(ギア比を変える)
 ロボット(梵天丸)を組み立てるときには、低速ギアや高速ギアを選ぶことができる。
 しかし、ギアには次のような特徴があるので、回転方向には注意が必要となる。

 <p>モータ側ギア タイヤ側ギア</p> <p>モータ側ギアとタイヤ側ギアの間 「ギアがない場合」、または、 「偶数個の中間ギアがある場合」は、 モータとタイヤの回転方向が逆になる。</p>	 <p>モータ側ギア タイヤ側ギア</p> <p>モータ側ギアとタイヤ側ギアの間 「奇数個の中間ギアがある場合」は、 モータとタイヤの回転方向が同じになる。</p>
---	---

(2) モータに流す電流を変えて、モータの速度を変える

「オームの法則」より 電流 ($I = E / R$) を変えるには、「電源電圧 E を変える」
 電流 ($I = E / R$) を変えるには、「(可変)抵抗 R を入れる」

	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">電源電圧 E を変える</div>
ロボット(梵天丸)の改造が必要	
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">(可変)抵抗 R を入れる (リニア制御という)</div>	
…… 電気エネルギーの一部が抵抗で熱に変わるので、速度が落ちる。 (新型の梵天丸は左右モータの速度調整のために、この方法を使っている。)	

(1)の方法でも、(2)の方法でも梵天丸の速度を変えることは可能であるが、しかし、プログラム(まきもの)で速度を変える制御方法としては、この方法は適さない。

ロボットの仕組みを知ろう(その10)

段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)のスピードを変える方法(その2)

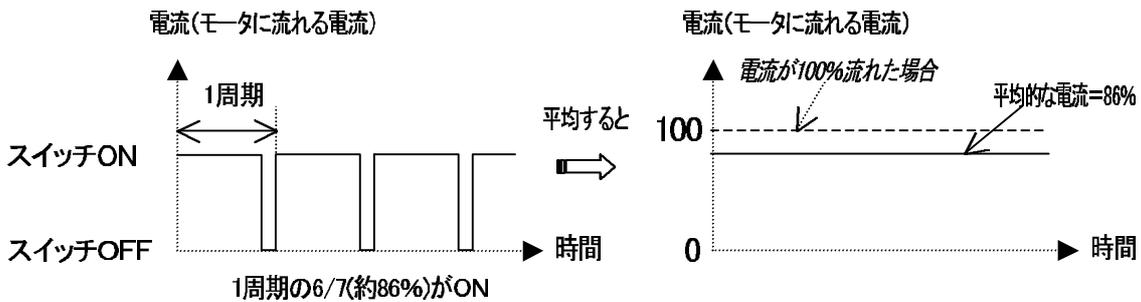
(3) プログラム(まきもの)でロボット(梵天丸)のスピードを変える

～パルス幅変調方式(PWM制御)～

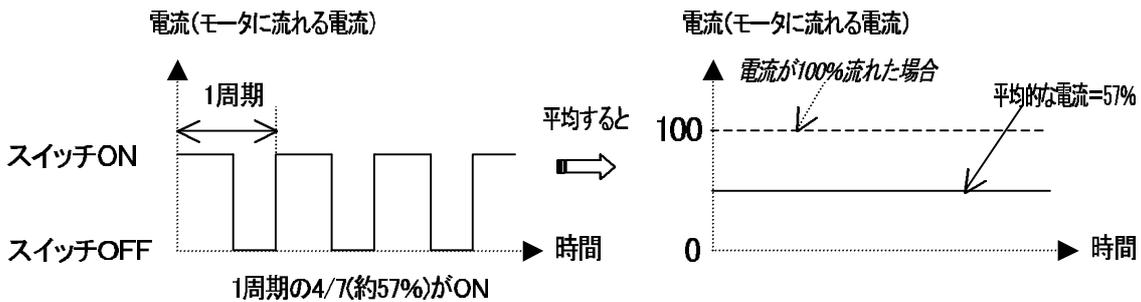
モータドライバに対して「正転/逆転」と「ブレーキ」を交互に命令して、電流を断続的に流す方法。「正転/逆転」(スイッチON)と「ブレーキ」(スイッチOFF)の時間の長さを変えることでモータに流す電流(平均電流)を変化させ、モータの速度を変える。 可変抵抗で電流値を変えるリニア制御のようなエネルギーの無駄はない。

「PWM制御で速度をコントロールする仕組み」を「まきもの」を使って解説

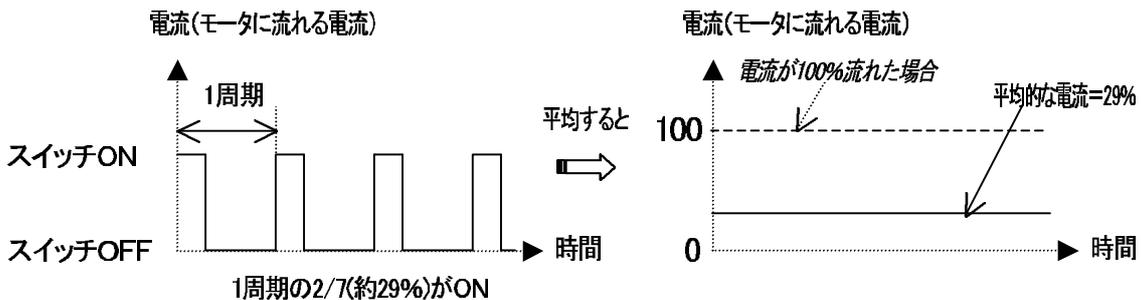
(例1) 「ぜんしん 6, 6」は「ぜんしん 7, 7」(一番速い)の約86%の速度?



(例2) 「ぜんしん 4, 4」は「ぜんしん 7, 7」(一番速い)の約57%の速度?



(例3) 「ぜんしん 2, 2」は「ぜんしん 7, 7」(一番速い)の約29%の速度?

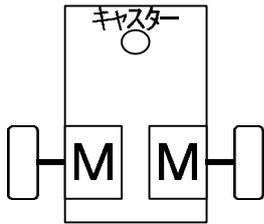


ロボットの仕組みを知ろう(その1 1)

段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)を操縦する

ラジコン型の場合(リモコンモード梵天丸)



ラジコン型は、ラジコンのおもちゃと同じように、送信機(プロポ)を操縦することで、ロボットを前進・後進・旋回させる方式。

自律型(「まきもの」で動く梵天丸)のように、動かすためのプログラムを予め用意する必要はない。



梵天丸は、テレビリモコン(ソニーモード)を使うと、誰でも簡単にラジコン型のロボットとして操作することが可能。

その仕組みを簡単に説明しよう。

テレビリモコンの決められたキーを打つ(リモコンから「赤外線」が送信される)。

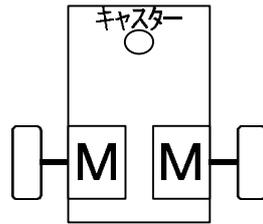
梵天丸の「赤外線受光センサ」がリモコンから送信された「赤外線」を受信する。

梵天丸の頭脳(マイクロコントローラ)が、リモコンで押されたキーの指示通りに動くようにモータを制御する。

なぜ、このようなことができるのか？

この制御を行うのためのプログラムが、梵天丸に最初から内蔵されているから。

自律型の場合(「まきもの」で動く梵天丸)



自律型(梵天丸)の場合は、頭脳(マイクロコントローラ)が搭載されているため、ラジコン型のように人間が操作することで動くロボットと違い、ロボット自身が自ら考え、判断しながら動くように見えるから不思議。ロボット自身が自ら考え、判断できる秘密は、ロボット(梵天丸)に用意されている幾つかの機能と、ロボット(梵天丸)に与えるプログラム(まきもの)にあるのだ。



梵天丸は「時間を計る機能」を持っている。この機能を使うと、一定時間走らせたり、一定時間旋回させたりというプログラムが簡単に作成ができる。

梵天丸は「周囲を見る機能」を持っている。まず、「赤外線発光ダイオード」を搭載した梵天丸が「赤外線」を発光する。「赤外線」は、近くに壁や障害物があると反射されるので、「赤外線受光センサ」がその「赤外線」を受けると障害物があることが分かる。

この機能を使うことで、壁や障害物を避けながら進むことや、逆に目の前の動くものを追いかけるプログラムを作ることができる。

ロボットの仕組みを知ろう(その12)

段階	所要時間
上級	

ロボット(梵天丸)の目には、何が見える？

梵天丸がそうであるように、ほとんどのロボットは「周囲を見る機能」を「赤外線」を使うことで実現している。ここでは、ロボット(梵天丸)の目(センサ)に注目。

ところで、「赤外線」とは、なんだろう？

「赤外線」は不可視光線であるため、人間の目には見えない光である。人間の目に見える光(赤～紫)を「可視光線」、「可視光線(赤)」の外側に存在する光を「赤外線」と呼ぶ。「赤外線」は、テレビなどのリモコンによく使われているが、梵天丸のようなロボットの目(目の役割をするセンサ)としてもよく使われているのだ。

(メモ)「可視光線(紫)」の外側に存在する光のことを「紫外線」と呼んでいる。

(1) 梵天丸の目は、どこにある？

梵天丸の前方中央に1個だけある「赤外線受光センサ」という部品が梵天丸の目の役割を果たしている。それでは、梵天丸の目(センサ)が1個しかないのは、なぜ？

その秘密は、ロボット本体の前方左右に1個ずつ存在する「赤外線発光ダイオード」にある。梵天丸は前方の安全確認のために、まず右側の「赤外線発光ダイオード」から赤外線を出し、反射光が戻ってくるか確認。次に左側の「赤外線発光ダイオード」から赤外線を出し、反射光が戻ってくるか確認。これで以下のことが分かる。

- | | |
|-------------------|-------------|
| 【左右の反射光が戻ってこない場合】 | 前方すべてに障害物なし |
| 【右側の反射光が戻ってくる場合】 | 右側前方に障害物あり |
| 【左側の反射光が戻ってくる場合】 | 左側前方に障害物あり |
| 【左右の反射光が戻ってくる場合】 | 前方正面に障害物あり |

梵天丸には見える「赤外線」の強さ(明るさ)を調整するために、「半固定抵抗器」が「赤外線発光ダイオード」の側に取り付けられている。その「半固定抵抗器」を調節することで梵天丸の視力(「赤外線」の到達距離)を調整することが可能。

(2) 梵天丸の目には、「赤外線」を使って、何が見えているのだろうか？

梵天丸が出した「赤外線」は障害物にあたっても、いつも反射して戻ってくるとは限らない。つまり、梵天丸に見えない障害物が存在するのだ。

「赤外線」を含む「光」を一番よく反射するのは「白」(=全反射)で、逆に全く反射しないのが「黒」(=全吸収)。もし、障害物が「黒」または「黒に近い色」の場合には、反射光が戻ってこないため、梵天丸は障害物に激突してしまう。

つまり、梵天丸の目(目の役割をするセンサ)には、「黒色の障害物」は見えず、「黒色以外の障害物」が見えているということになる。

