

## テーマ

## 「未来の工場2020」

未来の工場はどうなっているだろう？自分たちの会社も自動化が進み、もっと効率がよくなっているはず...そんなロボットをLEGOで作ったら面白そう！という発想から出発しました。

## 工場での活用

## ロボットのターゲット選定

自社工場の現状から**デッドスペース**(天井)の活用に着目し、**空中搬送ロボット**を考案しました。

## ＜空中搬送のアプローチ＞

ドローン式、レール式、サル型

## 自社工場における搬送ロボットの要求

- ・ボルト等の小型部品から装置の部品を搬送できる事(**搬送性能**)
- ・レイアウトは随時変更されるので、自由度は必要(**レイアウト変更**)
- ・設備の有効利用のため連続移動に耐え得る事(**低消費電力**)

➡ レール式：レイアウト変更×  
**ドローン式、サル型**でのみ要求を満足できる！

## ドローン・サル型との特徴の比較表

ドローン	項目		サル型
搬送速度は高速だが、可搬重量は小さい。	○	搬送性能	○ 装置部品の重量は可搬だが、搬送速度は低速である。
常にモータ駆動するためエネルギー効率悪。	×	消費電力	◎ 構造物にぶら下がり、空中で荷物を保持できるため、横移動にのみエネルギー消費。
制限無く、どこにでも移動可能。	◎	レイアウト変更	○ 工場の構造物を利用して、自由に移動が可能。

## 企画思想

「**自社工場の未来を創造！**」

普段自分たちが働く身近な現場の未来像を、どのように創造し、実現に向け検討できるか考えました。

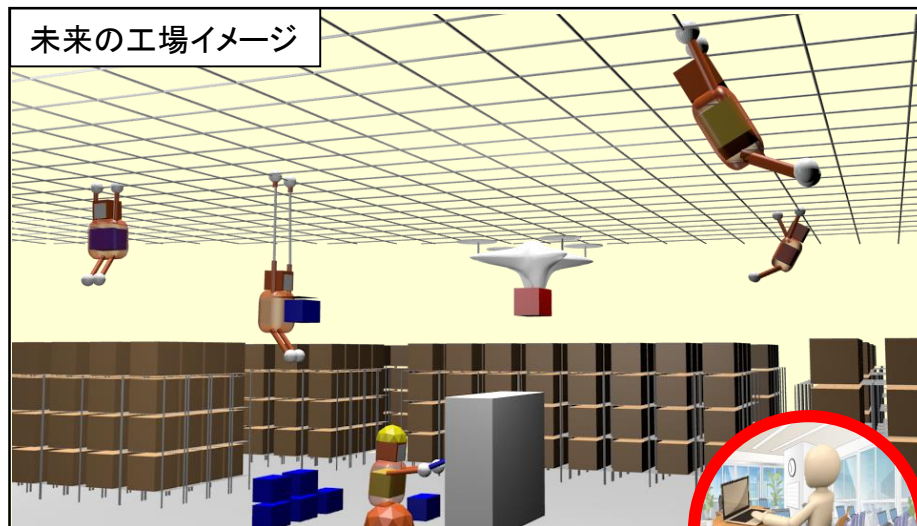
「**ETロボコンには無かった動きにチャレンジ**」

観客(ロボット技術者)を驚かせるために、EV3を使って今までに無かったダイナミックな動作を考えました。

## ＜自社工場の現状＞

私たちの工場は電子部品組立機が並んでいます。装置の**上空には大きなスペース**が空いています。運搬の際には装置を避けて通路を移動しなくてははいけません。

## 未来の工場イメージ



生産管理システムが、ドローンとサル型ロボットを連携させ、滞留部品ゼロに(**面積生産性向上**)

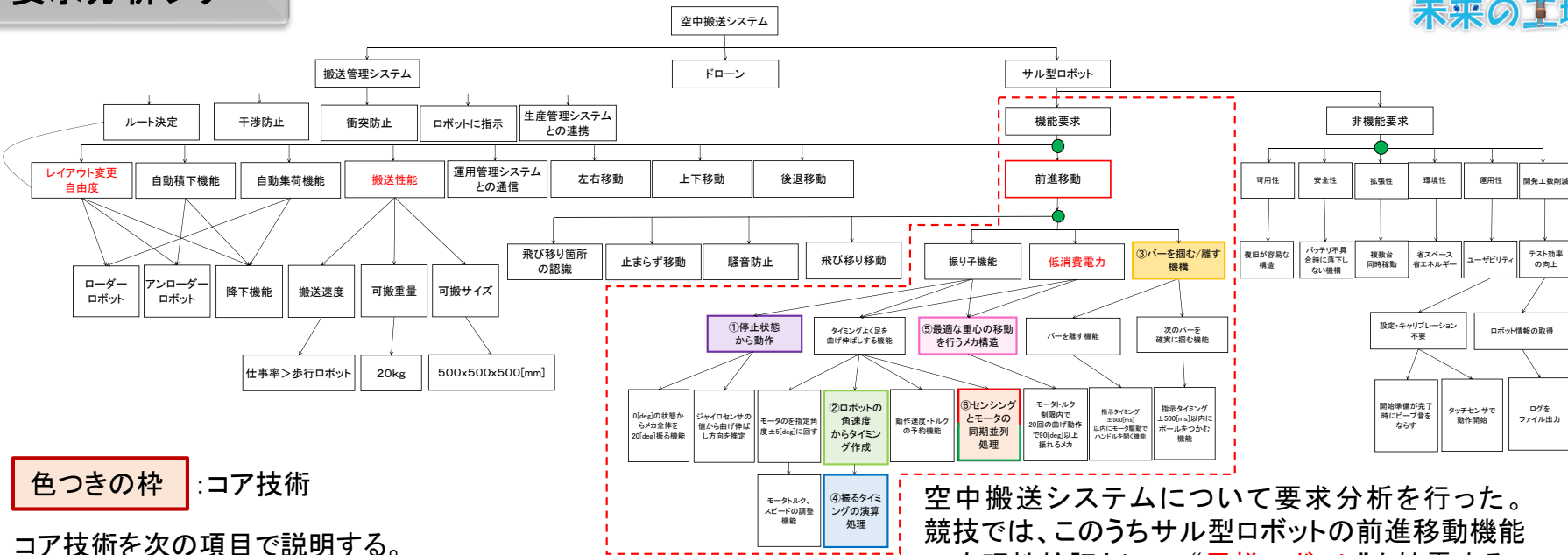
- 生産管理システムの情報
- ・資材不足の発生箇所
  - ・種類ごとの資材集積場所
  - ・在庫資材の把握

必要な場所に  
必要な資材を  
必要なタイミングで  
空中搬送ロボットに搬送させる

競技では“サル型ロボット”の技術的な**実現性評価**を実施

## 要求分析ツリー

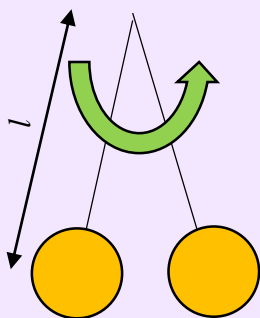
未来の工場



空中搬送システムについて要求分析を行った。競技では、このうちサル型ロボットの前進移動機能の実現性検証として、“雲梯ロボット”を披露する。

## &lt;① 停止状態から動作&gt;

振幅0の状態から振幅を大きくする方法



## 固有振動数

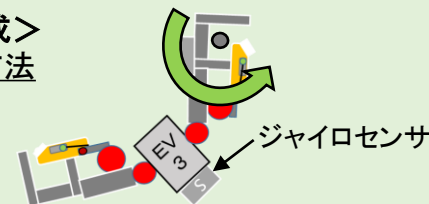
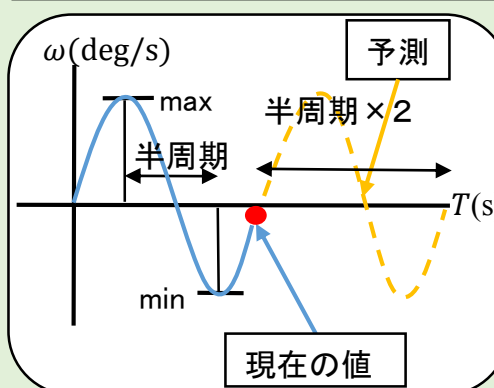
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

ロボットの重心を単振り子として置き換える。振り始めは振幅が小さいので固有振動数を上の式で近似する。1/4周期ごとに曲げ伸ばしを行う。

T: 振り子周期  
g: 重力加速度  
l: 振り子腕の長さ

## &lt;② ロボットの角速度からタイミング作成&gt;

角速度から次の振り子周期を推定する方法



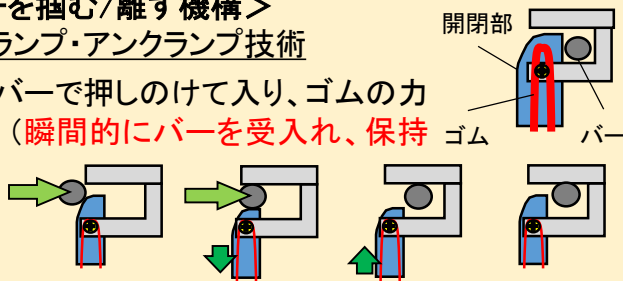
振り子動作で変化するジャイロセンサの角速度を計測し、現在の値から一定区域前の最大値と最小値の差を半周期として計上。半周期の2倍を次の振り子周期を予測する。

## 要素技術

## &lt;③ バーを掴む/離す機構&gt;

## バーのクランプ・アンクランプ技術

開閉部をバーで押しつけて入り、ゴムの力で閉じる。**(瞬間的にバーを受入れ、保持できる)**



## &lt;⑤ 最適な重心の移動を行うメカ構造&gt;

## 反動をつける為の重心移動の制御方法

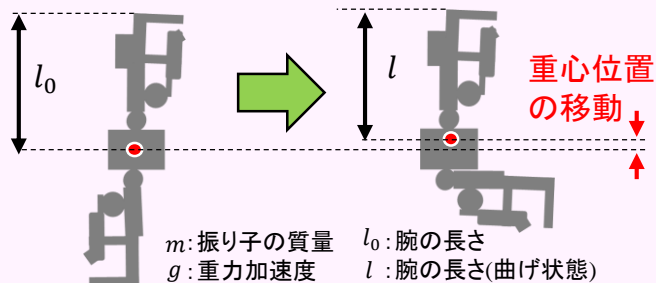
モータが足を振る運動は直接回転に関与しない。  
重心の上昇により回転半径 $\frac{dl}{dt}$ が変化する。

**最高速度の時に**重心を上昇させ(足を曲げる)  
**速度が0の時に**重心を下げる(足を伸ばす)のが  
最も効率がよい!

振り子の最下点:

$$L = ml_0^2 \frac{d\theta}{dt} = ml^2 \left( \frac{l_0}{l} \right)^2 \frac{d\theta}{dt}$$

振り子の頂点:  $L = m(l_0)^2 \dot{\theta} = m(l)^2 \dot{\theta}$



ロボットの**腕の長さ**と**質量**を振り子運動時に最もエネルギー効率の良い値に決定!

## &lt;④ 振るタイミングの演算処理&gt;

## モータの遅延を考慮した指示先出しタイミングの決定

モータ動作指示ー動作完了の遅延が2~4[ms/deg]。  
この遅延と「なるべく**最上点付近**で伸ばす」ことに留意し  
振り子の周期Tから、動作指示を出すタイミングを計算、  
最適化することで、効率の良い振り子運動を実現!

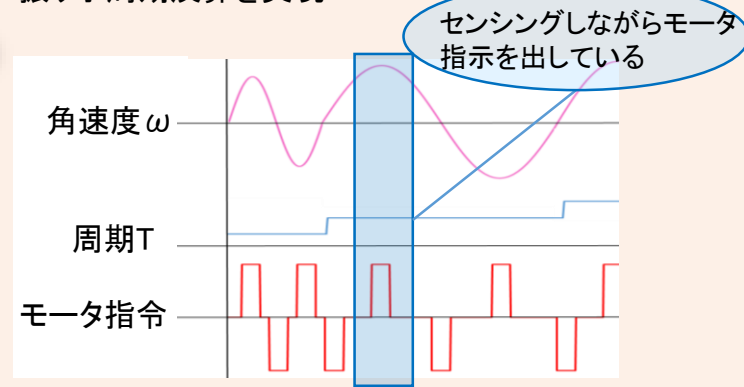


## &lt;⑥ センシングとモータの同期並列処理&gt;

## 動作中に1周期分の角速度を測定する方法

振り子周期演算には1周期分の角速度が必要だが、  
逐次処理ではモータ動作中の角速度が計測できない。

**センシングとモータ指令を並列処理**することで  
振り子周期演算を実現!



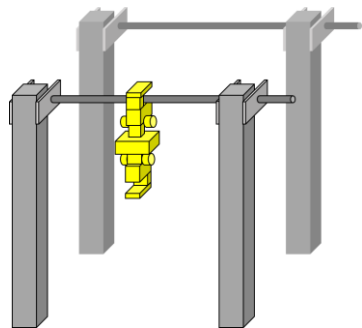
ハンドル

EV3

ジャイロセンサ

モータ

## パフォーマンスプラン



バーで再現した工場の骨組みを渡って荷物を空中運搬してもらいます！工場には様々な障害物があるため、下に下ったり、上に上ったりと、難しい経路がありますが、無事に荷物を届けることができるのでしょうか！？

ゴールに資材を運びます→



## 1 静止状態⇒振り子運動開始

静止状態から自らの反動のみで振り子動作を開始する

要素技術：①

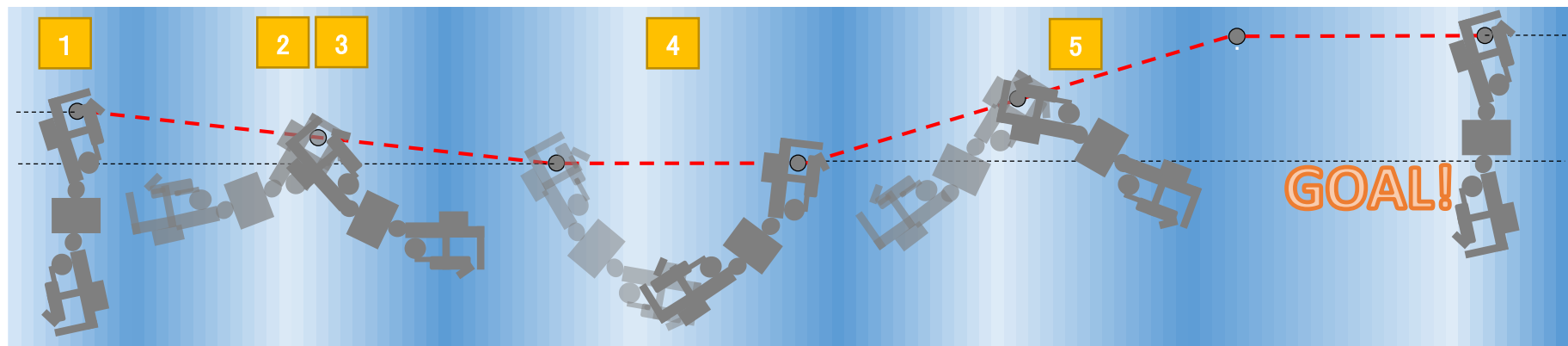
固有振動数に合わせた足の曲げ伸ばしによって振り子動作を行う。ロボットの力だけで短時間で振幅を増幅出来るのか！？

## 2 下り方向乗り移り

自ら動き出したロボットが次のバーに乗り移る

要素技術：②③④⑤⑥

ジャイロセンサのみで、状態を把握し、タイミングを計算、振幅を大きくする。一度のミスが落下につながるこの条件下で次のバーにうまく乗り移ることが出来るのか！？



## 3 連続乗り移り

バーの切り離しと受け入れ(保持)を瞬間的にを行い連続して乗り移る

要素技術：②③④⑤⑥

EV3標準モーターで瞬間的なバーの切り離しと受け入れ動作を実現！連続した乗り移り動作が可能に！

## 4 横乗り移り

“下る”のではなく、横方向に移動する

要素技術：②③④⑤⑥

下に“下る”よりも確実に反動を付けなければならない横方向の乗り移りを実現！

## 5 上方向乗り移り

ロボットが発生させた反動のみで30度の傾斜を登る

要素技術：②③④⑤⑥

ロボットの反動のみで、上へと移動！水平以上に振り上げる制御技術に注目！

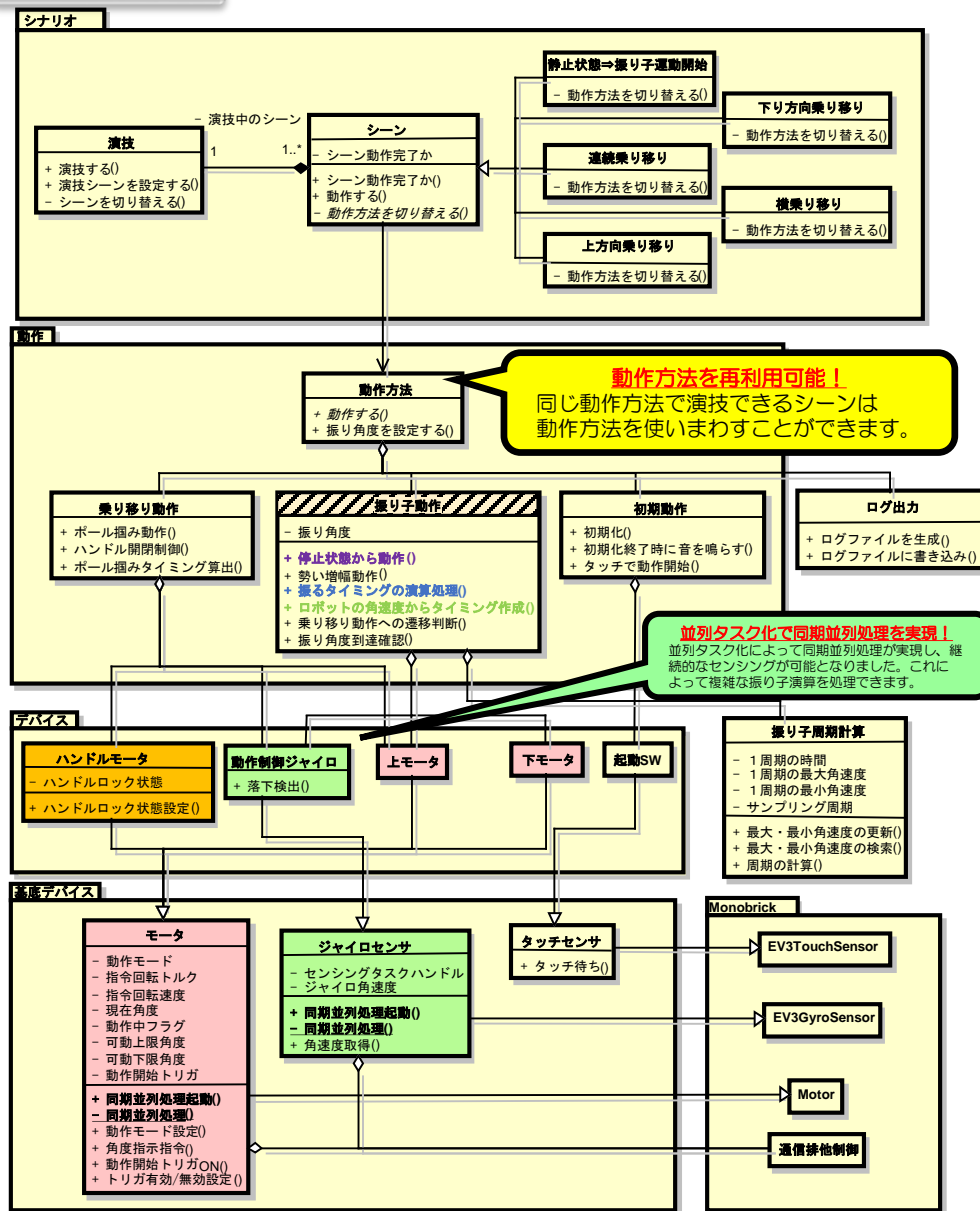
## 6 搬送完了

作業員に荷物を渡す

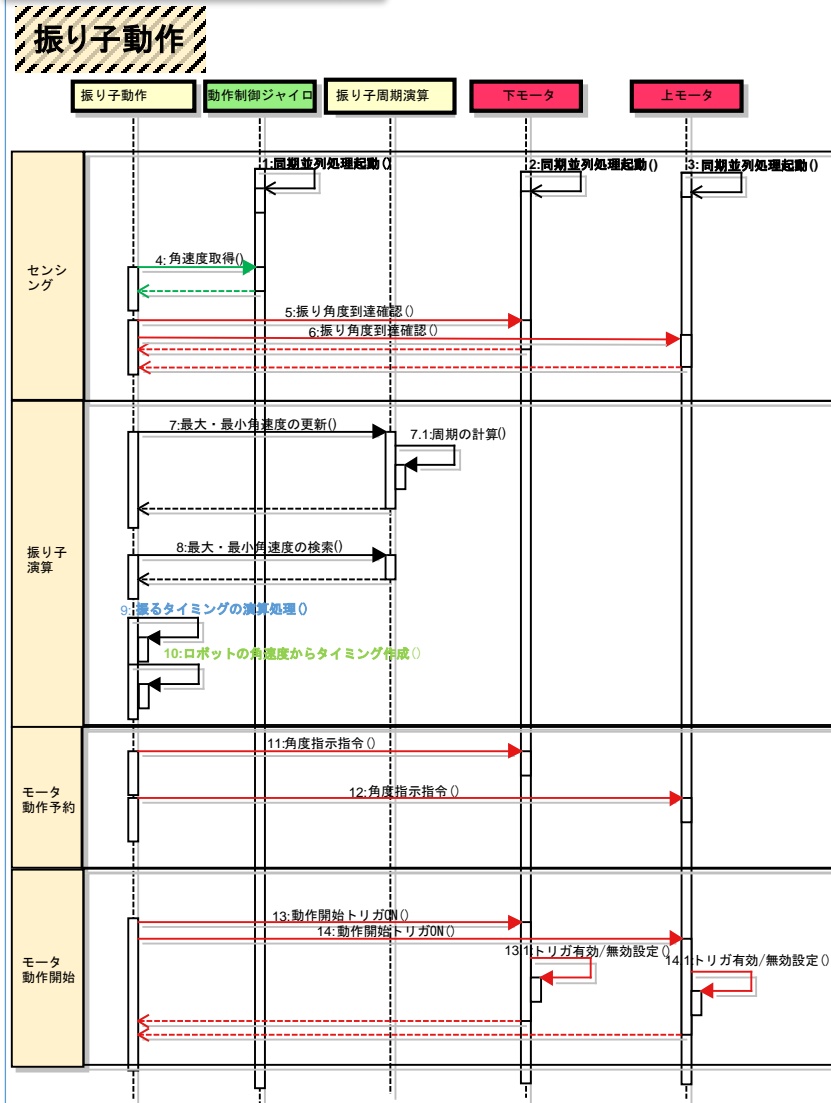
数々の障害物を乗り越え荷物の搬送完了！空中搬送ロボットが、デットスペースを有効な搬送経路として利用できることを会場で証明します！



## クラス図

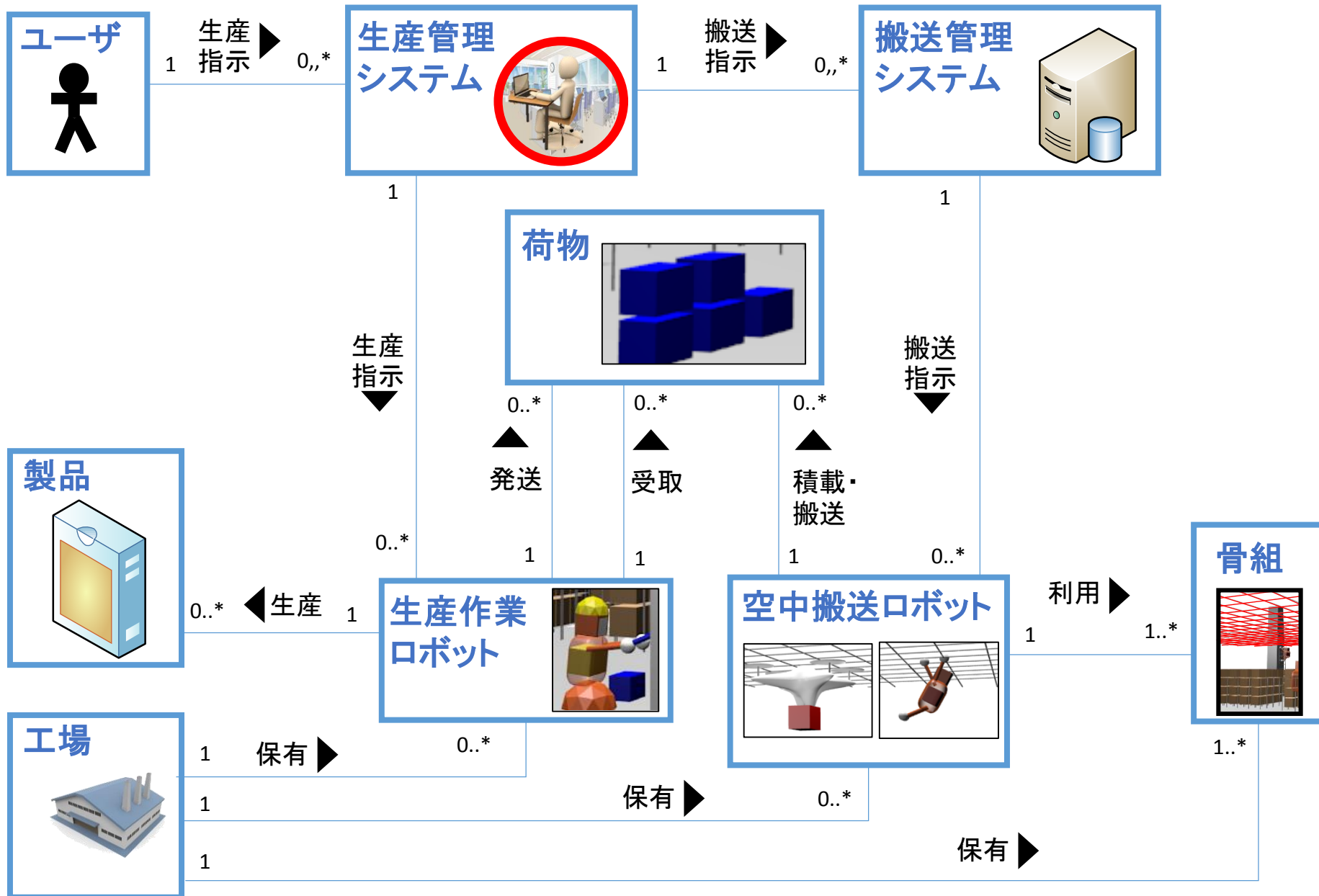


## 制御シーケンス図



センシング、演算、モータ動作予約、モータ動作指示で処理を切り分けることで、開発効率が上がるように設計した。

# オブジェクト図



## 振り子の周期

角度 $\alpha$ で振れるときの周期 $T$

$$T = 4 \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot K\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)$$

$K(k)$ : 第一種完全楕円積分

$$K(k) = \frac{\pi}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \left( \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \right)^2 k^{2n}$$

長さ $l$  : 0.3 [m]

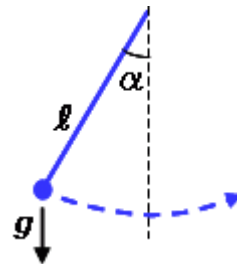
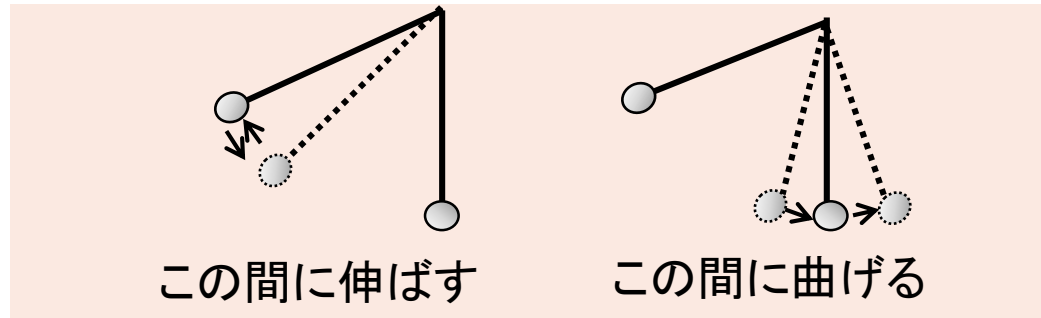
角度 $\alpha$  : 30 [deg] のとき  $\Rightarrow$  周期 $T$  : 1118[ms]

$\Rightarrow$  指示角度 : 2.7[deg]

角度 $\alpha$  : 90 [deg] のとき  $\Rightarrow$  周期 $T$  : 1297[ms]

$\Rightarrow$  指示角度 : 19.2[deg]

振れ角度 $\alpha$ はジャイロセンサから推定可能！！



遅延期待値: 255[ms]

動作指示タイミング角度 $d$

$$d = \alpha - 255 \cdot \frac{4\alpha}{T}$$

動作指示タイミング速度 $v_d$

前周期の最大速度 $v_{max}$

$$v_d = v_{max} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{d}{\alpha}\right)$$

# 動作角度と動作所要時間の関係

1[deg]回すのにかかる時間[ms/deg]を調べる。

公称値 : 160~170 [RPM] =  $0.98 \sim 1.04 \div 1.01$  [ms/deg]

停止-1000[deg]動作完了までの時間 (A<sub>rel</sub>) : 1500 [ms]

実力値 =  $1.01$  [ms/deg] /  $0.8 = 1.26$  [ms/deg]

最高速到達時間 =  $1500$  [ms] -  $1.26$  [ms/deg]  $\times$   $1000$  [deg] =  $237$  [ms]

加速時間+減速時間で進む角度 :  $237$  [ms] /  $1.26$  [ms/deg] =  $188$  [deg]

<最高速に達する= $\theta > 188$  [deg]>

$$t = 237 \times 2 + (\theta - 188) \times 1.26$$

$$= 1.26\theta + 237 \text{ [ms]}$$

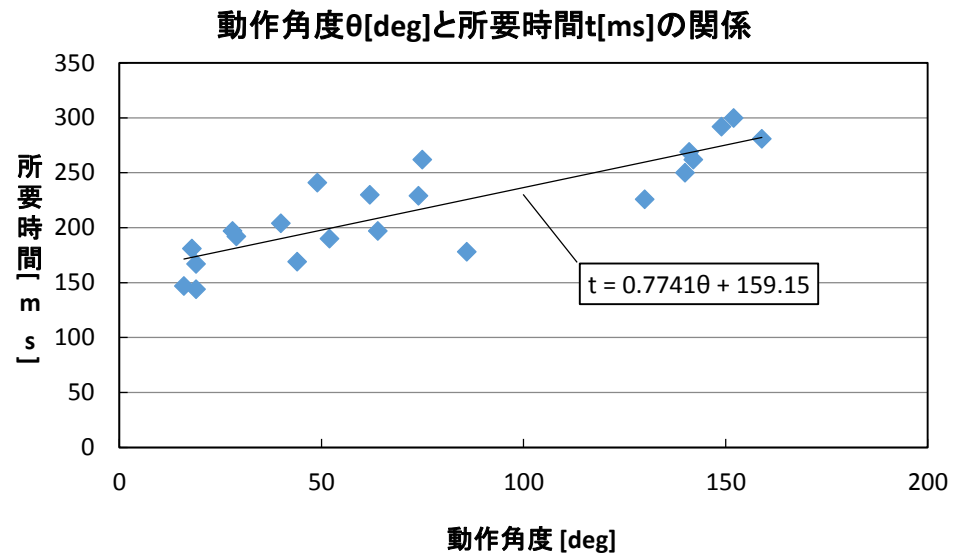
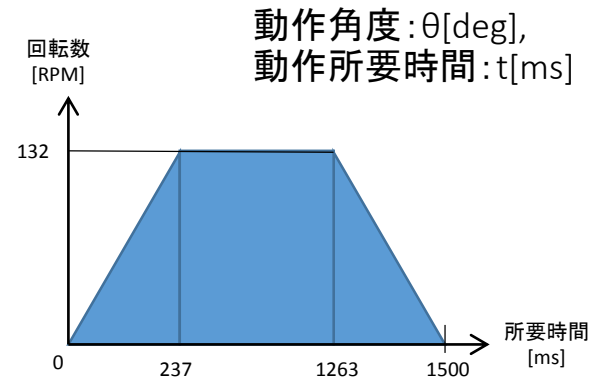
<最高速に達しない= $\theta < 188$  [deg]>

$$t = 20\sqrt{\theta} \text{ [ms]}$$

設計値と実測値の誤差測定

<実測値から得られた関係式>

$$t = 0.77\theta + 159 \text{ [ms]}$$





## 運動方程式

$$\frac{dL}{dt} = T$$

$$T = mgsin\theta$$

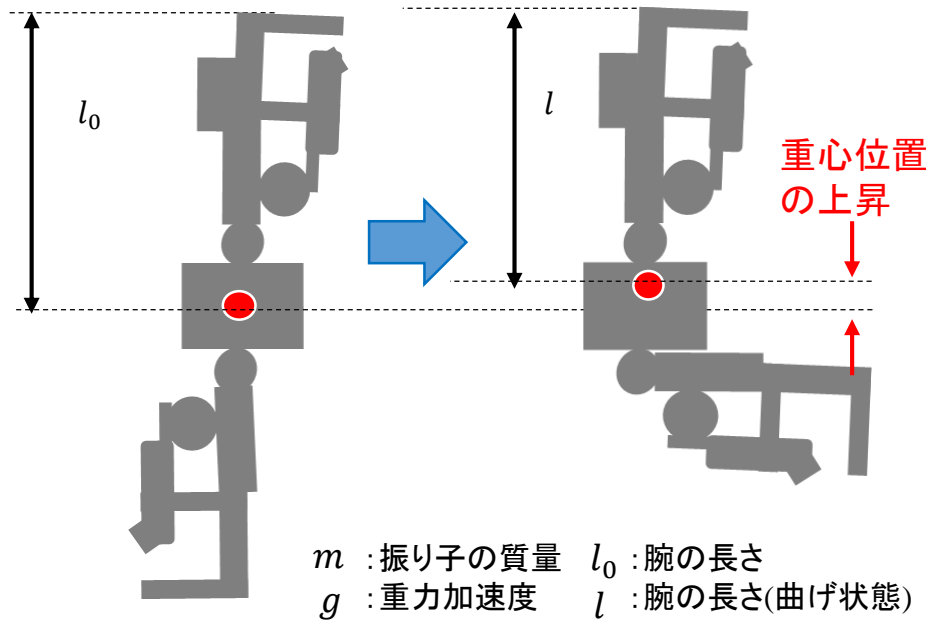
$$L = r \times p = ml^2 \frac{d\theta}{dt}$$

T トルク

L 角運動量

l 重心までの距離

$$m \left\{ 2l \frac{dl}{dt} \frac{d\theta}{dt} + l^2 \frac{d^2\theta}{dt^2} \right\} = mgsin\theta$$



モーターが足を振る運動は直接回転に関与しない  
 重心Oの上昇により回転半径 $\frac{dl}{dt}$ が変化する

回転半径 $l_0 \rightarrow l$ の場合  
 振り子の最下点:


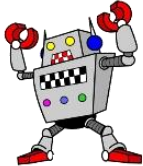
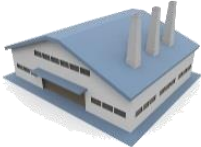



$$L = ml_0^2 \frac{d\theta}{dt} = ml^2 \left( \frac{l_0}{l} \right)^2 \frac{d\theta}{dt}$$



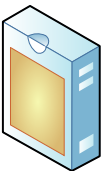
振り子の頂点:

$$L = m(l_0)^2 0 = m(l)^2 0$$

角速度上昇は倍率 $\left( \frac{l_0}{l} \right)^2$ なので

最高速度のタイミングで重心を上昇させ(足を曲げる)  
 速度が0のタイミング重心を下げる(足を伸ばす)  
 のが最も効率が良い

画像	使用箇所	引用元
	全ページ	弊社ロゴ
	コンセプトシート	<a href="http://yaplog.jp/rochirico/image/423/461">http://yaplog.jp/rochirico/image/423/461</a>
	コンセプトシート モデル図P6	<a href="http://factory-images.com/01-production-industry/001-j_production-industry.html">http://factory-images.com/01-production-industry/001-j_production-industry.html</a>
	コンセプトシート	<a href="http://industry-illustration.com/01-factory/009-factory.html">http://industry-illustration.com/01-factory/009-factory.html</a>
	モデル図P1 モデル図P6	<a href="http://peoples-free.com/02-behavior/019-behavior.html">http://peoples-free.com/02-behavior/019-behavior.html</a>
	モデル図P1 モデル図P6	<a href="http://sozai-good.com/archives/5838">http://sozai-good.com/archives/5838</a>

画像	使用箇所	引用元
	コンセプトシート モデル図P1 モデル図P2	自作
	モデル図P1 モデル図P6	自作
	モデル図P6	マイクロソフトオフィスVISIO
	モデル図P6	マイクロソフトオフィスVISIO