****

ロボット工学基礎　演習問題　02

教科書　第２章　pp.11～30

****

2.01 DOF=2 の　Robot Arm の位置と姿勢について説明せよ。

2.02 三角関数の定義を説明せよ。

2.03 三角関数の波形を図示し、位相(phase)について説明せよ。

2.04 加法定理を導け。

2.05 DOF=2 の　Robot Arm の順運動学について説明せよ。

［Ｌ1＝2、Ｌ2＝2，θ1=45°，θ2=-30°］の場合を図示し、Handの高さを求めよ。

2.06 余弦定理を導け。

2.07 DOF=2 の　Robot Arm で［Ｌ1＝2、Ｌ2＝2，θ1=0°°］の場合で、

原点からHandまでの距離　D＝2√3～3.46 の場合を図示し、姿勢角θを求めよ。

2.08 ベクトル　A[ ]とは？

2.09 ベクトルの内積を定義せよ。余弦定理との関係を説明せよ。

2.10 ベクトルの外積を定義せよ。余弦定理との関係を説明せよ。

2.11 Lorentz Force Law とは？

2.12　磁場ベクトル　B[ ]と電流ベクトル　I[ ]　と

電線にかかる力ベクトルF[ ]の関係を説明せよ。

2.13 複素数を行列式で表記し、その関係を説明せよ。

2.14 Robot　Arm の回転行列とは？

2.15 逆行列式とは？逆回転行列とは？

2.16 DOF=1のRobot Arm の２度の回転［　θ1=30°，　θ2=60°］後のHandの座標を求めよ。

2.17 回転後の座標　(X2,Y2)からθ回転前の座標(X1.Y1)を、具体的な数字を使って求めよ。

2.18 回転モーメントとは？外積を使って定義せよ。

力が　X軸に平行な場合と、Armに対してθで力がかかっている場合で、

具体的な数字使って、力のモーメントN[ ]　計算せよ。

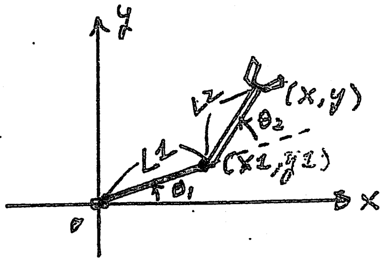
2.19 貨車問題で、MA=10Kg,MB=4Kgとした時の、物体の加速度　a　と

ひもにかかる張力Tの状態を、図示して、その値を計算せよ。

****

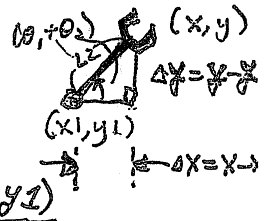
2.01 ロボットアーム (Robot Arm) の位置と姿勢

[Arm = 腕 (うで、わん)
Joint = 節 (関節)]



$$\begin{pmatrix} X1 = L1\cos\theta_1 \\ y1 = L1\sin\theta_1 \end{pmatrix} \qquad \tan\theta_2 = \left(\frac{y1}{X1}\right)$$

$$\begin{pmatrix} X = X1 + L2\cos(\theta_1+\theta_2) \\ y = y1 + L2\cos(\theta_1+\theta_2) \end{pmatrix}$$

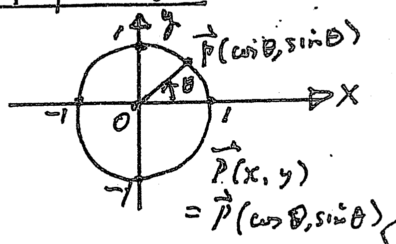


$$\tan(\theta_1+\theta_2) = \frac{(y-y1)}{(X-X1)}$$

※ ((L1, L2, θ1, θ2) から (X1, y1) と (X; y) を求めることを順運動学という)

※ (逆に、(X, y) と (L1, L2) より (θ1, θ2) を求める事を逆運動学という。逆運動学の場合、(θ1, θ2) の解は 1 つとはかぎらない。2 つ以上もありえる。)

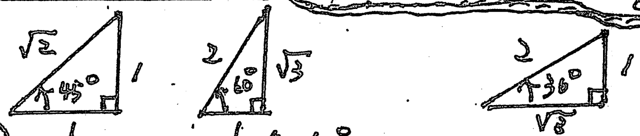
2.02 三角関数の定義



$$\vec{p} = P[\ ] = (\cos\theta, \sin\theta) = \cos\theta + j\sin\theta = \exp(j\theta)$$

(特殊な三角形)

「デジタル回路の世界」第2章 pp.150–161 を参照



θ = 45°

$$\begin{pmatrix} \cos\theta = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \\ \sin\theta = \dfrac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

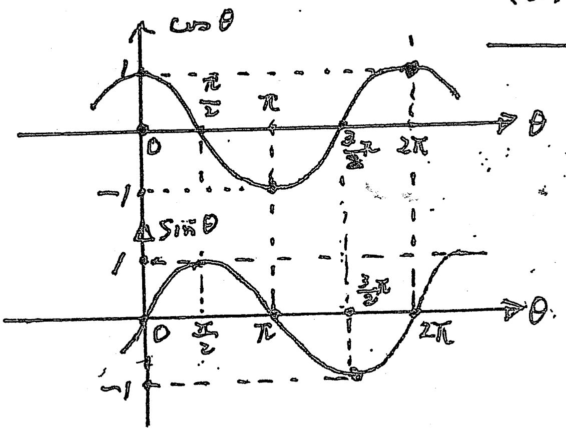
θ = 60°

$$\begin{pmatrix} \cos\theta = \dfrac{1}{2} \\ \sin\theta = \dfrac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

θ = 30°

$$\begin{pmatrix} \cos\theta = \dfrac{\sqrt{3}}{2} \\ \sin\theta = \dfrac{1}{2} \end{pmatrix}$$

2.03 三角関数の波形



(sinθ は cosθ より $\frac{\pi}{2} = 90°$ だけ位相 (phase) が遅れている。)

$$\boxed{\sin\theta = \cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right)}$$ となる !!

2.04 加法定理

$$\begin{cases} \cos(-\alpha) = \cos\alpha & (\text{偶数関数}) \\ \sin(-\alpha) = -\sin\alpha & (\text{奇数関数}) \end{cases}$$

Euler の公式を使う

$$\begin{pmatrix} \exp(j\alpha) = \cos\alpha + j\sin\alpha \\ \exp(j\beta) = \cos\beta + j\sin\beta \end{pmatrix}$$ より

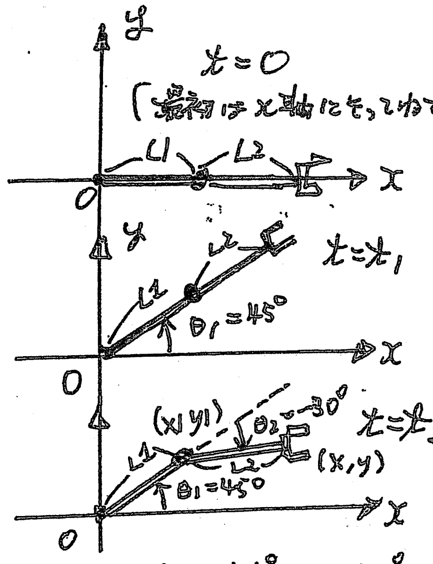
$$\exp(j(\alpha+\beta)) = \cos(\alpha+\beta) + j\sin(\alpha+\beta)$$
$$= \exp(j\alpha)\exp(j\beta) = (\cos\alpha + j\sin\alpha)(\cos\beta + j\sin\beta)$$
$$= (\cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta) + (j)(\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta)$$

すなわち、実数部分と虚数部分を分離して、

$$\boxed{\begin{matrix} \cos(\alpha-\beta) = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta \\ \sin(\alpha-\beta) = \sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta \end{matrix}} \Leftarrow \boxed{\begin{matrix} \cos(\alpha+\beta) = \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta \\ \sin(\alpha+\beta) = \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta \end{matrix}}$$ となる !!

2.05 Robot Armの順運動学 DOF=2の場合

$\left(\begin{array}{l} L1 = 2\,cm;\ L2 = 2\,cm; \\ \theta 1 = 45^\circ;\ \theta 2 = -30^\circ; \end{array} \right)$ とする.



at t=t₂

$$\left(\begin{array}{l} X1 = L1 \cos\theta_1 = (2)\cos 45^\circ = (2)\frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \\ y1 = L1 \sin\theta_1 = (2)\sin 45^\circ = (2)\frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{l} X - X1 = L2\cos(\theta_1+\theta_2) = 2\cos(45^\circ-30^\circ) = 2\cos(15^\circ) \\ y - y1 = L2\sin(\theta_1+\theta_2) = 2\sin(45^\circ-30^\circ) = 2\sin(15^\circ) \end{array} \right)$$

$\left(\begin{array}{l} \cos(\alpha-\beta) = \cos\alpha\cos\beta + \sin\alpha\sin\beta \\ \sin(\alpha-\beta) = \sin\alpha\cos\beta - \cos\alpha\sin\beta \end{array} \right)$ を使う!!

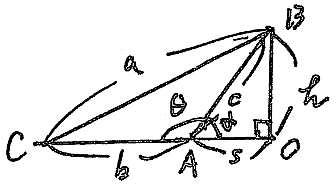
$$\left(\begin{array}{l} \cos(45^\circ-30^\circ) = \cos 45^\circ \cos 30^\circ + \sin 45^\circ \sin 30^\circ \\ \sin(45^\circ-30^\circ) = \sin 45^\circ \cos 30^\circ - \cos 45^\circ \sin 30^\circ \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{l} \cos 45^\circ = \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \sin 30^\circ = \frac{1}{2} \end{array} \right) \quad \left(\begin{array}{l} \cos(15^\circ) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \\ \sin(15^\circ) = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) - \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\left(\frac{1}{2}\right) = \frac{-1+\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{l} x = \sqrt{2} + \frac{1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{2+1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{3\sqrt{2}+\sqrt{6}}{2} \\ y = \sqrt{2} + \frac{-1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{2-1+\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}+\sqrt{6}}{2} \end{array} \right)$$

高さ $h = y = \frac{\sqrt{2}+\sqrt{6}}{2} \approx 1.93\,cm$ となる.

2.06 余弦定理を導け!



まず. $\theta = \pi - \alpha$, $\cos\theta = \cos(\pi-\alpha) = \cos\pi\cos\alpha + \sin\pi\sin\alpha$

$\cos\theta = -\cos\alpha$ となる. $a^2 = h^2 + (b+s)^2$

$h = c\sin\alpha$; $s = c\cos\alpha$; $a^2 = h^2 + b^2 + s^2 + 2bs$;

$a^2 = c^2\sin^2\alpha + b^2 + c^2\cos^2\alpha + 2bc\cos\alpha = b^2 + c^2 + 2bc\cos\alpha$;

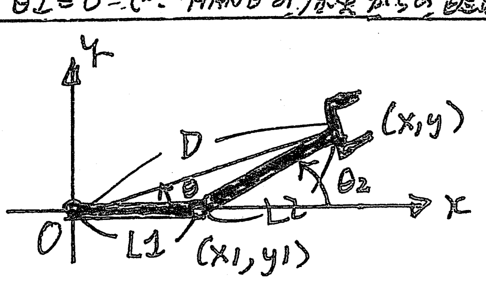
$\boxed{a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos\theta}$ となる!

<「デジタル回路の世界」pp.193-194 参照>

2.07 θ1=0で HANDの原点からの距離Dが与えられている時.

$\left(\begin{array}{l} D = 3.46\,cm \\ L1 = 2\,cm \\ L2 = 2\,cm \end{array} \right)$ とする.

θ1=0°の時



$$\left(\begin{array}{l} X = X1 + L2\cos\theta 2 \\ y = L2\sin\theta 2 \end{array} \right) \quad \left(\tan\theta = \frac{y}{x} \right)$$

$$D^2 = X^2 + y^2 = (L1 + L2\cos\theta 2)^2 + (L2\sin\theta 2)^2$$

$$\left(\begin{array}{l} D^2 = L1^2 + L2^2 + 2\,L1L2\cos\theta_2 \\ \cos\theta_2 = \frac{D^2 - L1^2 - L2^2}{2L1L2} = \frac{(3.46)^2 - 8}{8} = \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 - 2}{2} = ??? \end{array} \right)$$

わあ. 大変だ….

余弦定理を使うと計算が早い!

$(L2)^2 = D^2 + (L1)^2 - (2)(D)(L2)\cos\theta$ より.

$$\cos\theta = \frac{D^2 + (L1)^2 - (L2)^2}{(2)(D)(L)} = \frac{(3.46)^2}{(2)(3.46)(2)} = \frac{3.46}{4} = \frac{1.73}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \boxed{\theta = 30^\circ}$$

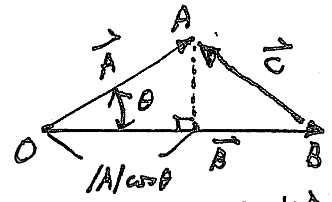
2.08 ベクトルとは？ $A[\,] = \vec{A}$ と表記する。

三次元空間での位置の座標 (x, y, z) はベクトルとして $\vec{P} = P[\,]$ と表記する。

この場合 $N=3$ で、$P[1]=x$, $P[2]=y$, $P[3]=z$ の事である。

2.09 ベクトルの内積の定義 $\vec{A}\cdot\vec{B} = A[\,]\cdot B[\,]$ と表記する。

$$S = \vec{A}\cdot\vec{B} = A[\,]\cdot B[\,] = \sum_{i=1}^{N} A[i]B[i]$$ の事である。



$|\vec{A}||\vec{B}|\cos\theta = \vec{A}\cdot\vec{B}$ の関係がある！

$\vec{A} = \vec{B} + \vec{C}$ とすると $\vec{C} = \vec{A} - \vec{B}$ となる。

$\boxed{S = \vec{A}\cdot\vec{B}}$

$|\vec{C}|^2 = \vec{C}\cdot\vec{C} = (\vec{A}-\vec{B})\cdot(\vec{A}-\vec{B})$

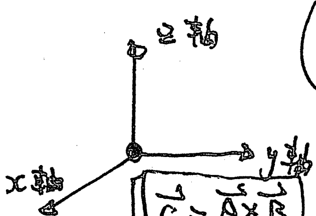
$\vec{C}\cdot\vec{C} = \vec{A}\cdot\vec{A} + \vec{B}\cdot\vec{B} - 2\vec{A}\cdot\vec{B}$ となる。

$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$ となり、

$$\cos\theta = \frac{a^2+b^2-c^2}{2ab}$$ （余弦定理となる！）

$\left(|\vec{A}|=a,\ |\vec{B}|=b,\ |\vec{C}|=c\right)$ と置く。

2.10 ベクトルの外積の定義 $\vec{A}\times\vec{B} = A[\,]\times B[\,]$ と表記する。

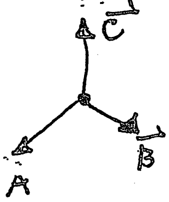


$\boxed{\vec{C} = \vec{A}\times\vec{B}}$

（ベクトル$\vec{A}$をx軸、ベクトル$\vec{B}$をy軸にとると、$\vec{C} = \vec{A}\times\vec{B}$ は z軸となる。）

$$\vec{C} = (C_x, C_y, C_z) = \begin{vmatrix} \vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

3×3の行列式の値を計算する方法も理解する必要がある。



$$\vec{C} = \begin{vmatrix} a_y & a_z \\ b_y & b_z \end{vmatrix}\vec{e_x} - \begin{vmatrix} a_x & a_z \\ b_x & b_z \end{vmatrix}\vec{e_y} + \begin{vmatrix} a_x & a_y \\ b_x & b_y \end{vmatrix}\vec{e_z}$$

$$\vec{C} = (a_y b_z - a_z b_y)\vec{e_x} - (a_x b_z - a_z b_x)\vec{e_y} + (a_x b_y - a_y b_x)\vec{e_z}$$

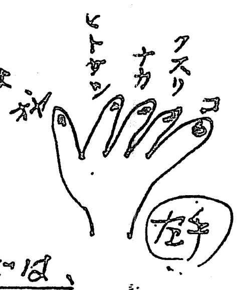
「デジタル回路の世界」第2章 pp. 137〜157 参照！

2.11 Lorentz Force Law とは？

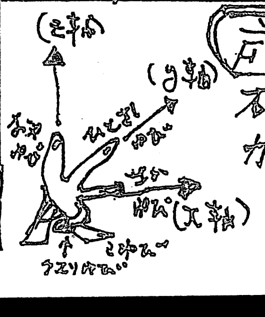
電荷 $+Q$ が電場 $\vec{E}$ と磁場 $\vec{B}$ の中で感じる力 $\vec{F}$ は

$\boxed{\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{v}\times\vec{B})}$ で与えられる。

ここで、$\vec{v}$ は電荷Qの移動速度である。



2.12 電線にかかる力 $\vec{F}$ は、電流の方向ベクトル $\vec{I}$ と磁場 $\vec{B}$ の中では、



$\boxed{\vec{F} = \vec{I}\times\vec{B}}$ となる。前方(x軸)に電流が流れ、磁場が(y軸)方向に存在する時、電線は、z軸方向に、力を感じる!! これを左手のフレミングの法則という。

2.13 複素数を 2×2 行列で表現する.

$a+jb = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix}$ と書ける.

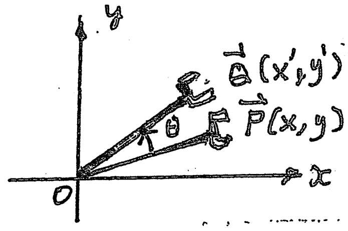
$e^{\theta j} = \cos\theta + j\sin\theta = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$ となる.

(複素数のたし算・ひき算・かけ算・わり算が そのまま 2×2 行列式のたし算・ひき算・かけ算・わり算と 1対1 対応している!!)

$e^{\theta j} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$ を回転行列と言う.

(複素数のかけ算は. 平面ベクトルの回転と 1対1 対応する.)

2.14 ロボットアームの回転行列



Robot Arm が点 $\vec{P}(x,y)$ から点 $\vec{Q}(x',y')$ に回転した.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$ となる!!

2.15 逆行列式とは. 逆回転行列式とは?

$z = a+jb$ とすると. $\frac{1}{z} = \frac{a-jb}{a^2+b^2}$ となる.

行列式の場合. $\begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a^2+b^2 & 0 \\ 0 & a^2+b^2 \end{bmatrix} = (a^2+b^2) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ と書ける.

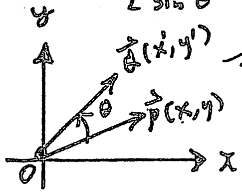
すなわち、逆行列式を $inv\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix}$ と書くと. $inv\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ と書く.

$inv\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = \frac{1}{a^2+b^2} \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix}$ となる. また. $det\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = (ad-bc)$ と定義する.

(逆行列式) $= inv\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = \frac{\begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix}}{det\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix}}$ と書ける! $det\begin{bmatrix} a & -b \\ b & a \end{bmatrix} = a^2+b^2$ である.

回転行列の場合. $\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1$ であるから. $det\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} = 1$ となる.

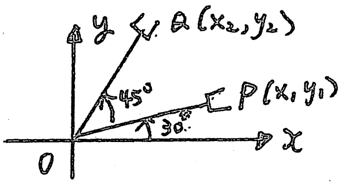
$inv\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ となる.



すなわち. もとの座標 (x,y) は. 今の座標 (x',y') に対して.

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}$$ となる.

2.16 $\theta_1 = 30°$, $\theta_2 = 45°$ の時 DOF=1 の Robot Arm の文座標は?



$\begin{cases} x_2 = L_1 \cos(45°+30°) \\ y_2 = L_1 \sin(45°+30°) \end{cases}$ $\quad \begin{cases} X_1 = L_1 \cos 45° \\ y_1 = L_1 \sin 45° \end{cases}$

$L_1 = 1$ の時 $\left(x_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad y_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \right)$

$$\boxed{\begin{aligned} \sin(\alpha+\beta) &= \sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta \\ \cos(\alpha+\beta) &= \cos\alpha\cos\beta - \sin\alpha\sin\beta \end{aligned}}$$

$\left(\begin{aligned} &\cos 45° = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \sin 45° = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ &\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \sin 30° = \frac{1}{2} \end{aligned} \right)$

$$\left(\begin{aligned} \cos(45°+30°) &= \cos(75°) = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{1}{2} = \frac{\sqrt{6}-\sqrt{2}}{4} \\ \sin(45°+30°) &= \sin(75°) = \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}\frac{1}{2} = \frac{\sqrt{6}+\sqrt{2}}{4} \end{aligned} \right)$$ となる.

2.17 今の位置 $(x2, y2)$ が θ 回転する前の位置 $(x1, y1)$ を求めよ。

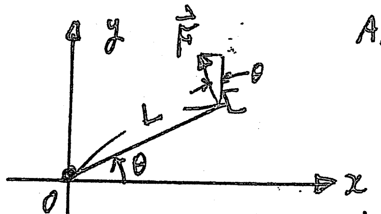
$$\begin{pmatrix}x1\\ y1\end{pmatrix} = inv\begin{pmatrix}\cos\theta & -\sin\theta\\ \sin\theta & \cos\theta\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\cos\theta & \sin\theta\\ -\sin\theta & \cos\theta\end{pmatrix}\begin{pmatrix}x2\\ y2\end{pmatrix}$$ となるから。

たとえば、 $x2 = \frac{1}{2}$, $x3 = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\theta = 30°$ の時は、

$\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\sin 30° = \frac{1}{2}$ より

$$\begin{pmatrix}x1\\ y1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2}\\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2}\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\frac{1}{2}\\ \frac{\sqrt{3}}{2}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\frac{\sqrt{3}}{4} + \frac{\sqrt{3}}{4}\\ -\frac{1}{4} + \frac{3}{4}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\frac{\sqrt{3}}{2}\\ \frac{1}{2}\end{pmatrix}$$ となる!!

2.18 回転モーメントとは? オイラー(Euler)の運動方程式



Armの長さLで先端に腕に直角の方向に$\vec{F}$の力がかかって、Robot Armを回転させようとする時。
その時の 回転モーメント $\vec{N} = \vec{L} \times \vec{F}$ (外積)と定義する。

$\vec{L} = (L\cos\theta, L\sin\theta)$

$\vec{F} = (-F\sin\theta, F\cos\theta)$ となっている。

$\vec{N} = (L)(F)\,\vec{e_z}$ となる。

$$\vec{N} = \begin{vmatrix}\vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z}\\ L\cos\theta & L\sin\theta & 0\\ -F\sin\theta & F\cos\theta & 0\end{vmatrix}$$

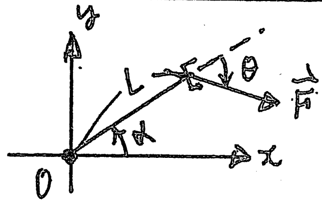
① $\vec{F} = F\vec{e_x}$ の場合

$$\vec{N} = \vec{L}\times\vec{F} = \begin{vmatrix}\vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z}\\ L\cos\theta & L\sin\theta & 0\\ F & 0 & 0\end{vmatrix} = -(LF)\sin\theta\,\vec{e_z}$$ となる。

$L = 1m$, $F = 10N$ の場合
$\theta = 45°$ $\vec{N} = -(1)(10)\frac{1}{\sqrt{2}} = -5\sqrt{2}\,\vec{e_z}$

($N = 5\sqrt{2}$ Newton・Meter で、時計まわりの回転となる!!)

② Armに対して角度θで力がかかる時。



$\vec{L} = (L\cos\alpha, L\sin\alpha)$

$\vec{F} = (F\cos(\alpha-\theta), F\sin(\alpha-\theta))$

$$\vec{N} = \vec{L}\times\vec{F} = \begin{vmatrix}\vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z}\\ L\cos\alpha & L\sin\alpha & 0\\ F\cos(\alpha-\theta) & F\sin(\alpha-\theta) & 0\end{vmatrix}$$

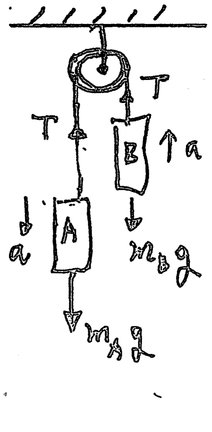
$\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$

αには関係しない

$$\vec{N} = (LF)\{\cos\alpha\sin(\alpha-\theta) - \sin\alpha\cos(\alpha-\theta)\}\,\vec{e_z} = -(LF)\sin\theta\,\vec{e_z}$$ となる!!

$\cos A\sin B - \sin A\cos B = \sin(B-A)$ $L = 1m$, $F = 10N$, $\theta = 60°$ の時 $\vec{N} = -(10)\frac{\sqrt{3}}{2} = -5\sqrt{3}$

2.19 ニュートン(Newton)の運動方程式(滑車の問題)



$m_A = 10kg$ $m_B = 4kg$ とする。
$g = 9.8m/sec^2$ (重力加速度)

物体Aに注目して。
$m_A a = m_A g - T$ (下に加速)

物体Bに注目して
$m_B a = T - m_B g$ (上に加速)

$T = (m_A g - m_A a) = m_B a + m_B g$ より、

$(m_A + m_B)a = (m_A - m_B)g$ $a = \frac{m_A - m_B}{m_A + m_B}g$ ←

$T = \frac{m_B(m_A - m_B)}{m_A + m_B}g + m_B g = \frac{2m_A m_B}{m_A + m_B}g$ ←

$a = \left(\frac{10-4}{10+4}\right)(9.8) = 4.2\,m/sec^2$ $T = \frac{(2)(10)(4)}{10+4}(9.8) = \frac{40}{7}(9.8) = 56N$ ←