RKK01H

****

ロボット工学基礎　演習問題　01

教科書　第１章　pp. １～10

****

1.01　ロボットとは？その歴史は？

1.02　産業用ロボットとは？

1.03　人間の知能を持つ人間支援型ロボット(AIPS Robot)とは？

1.04　ロボット工学三原則とは？

1.05　ロボットの種類を分類せよ。

1.06　ロボット工学に必要な基礎知識とは？

1.07　ロボットの座標系（位置と姿勢）を定義せよ。
　左手の座標系とは？

1.08　ベクトル A[ ]とB[ ]の内積と外積を定義せよ。
3 x 3 の行列式　M[ ][ ]の値　detM[ ][ ] を定義し、
ロボット座標系の姿勢単位ベクトルの性質を説明せよ。

1.09 姿勢角　Role(ϕ),Pitch(θ),Yaw(ψ)を定義し、
それぞれの姿勢角の回転行列を求めよ。
立体回転行列を求めよ。
回転行列のかけ算には交換則が成り立つか？

1.10 Robot　Arm の　DOF とは？
DOF=1 の Robot Arm の例を示せ。
DOF=3 の　５つの基本 Manipulatorの例を示せ。

1.11 ５つのリンク(Link)による２足歩行ロボットの脚(Leg)の
数学モデルを図を使って説明せよ。

****

1.01 ロボットとは？ その歴史は？

1920年、チェコスロバキアの劇作家 カレル・チャペックの SF戯曲「ロッサム Universal Robot社会」で用いた造語で、Robot には「人間に代わって働いてくれるもの」という意味を持つ。

1961年アメリカで 2つの 産業用ロボット（バーサトラン・ユニメート）が製品化された。

1973年 早稲田大学の加藤一郎教授の研究Group が人間形知能ロボット「WABOT-1」を作る。

1990年 本田技研工業 が P2 を開発、現在の ASIMO でつながっている。身長 130cm，体重 48kg で 時速 9 km で歩行する（2011年）。1990年代から ロボットの知能化が進む。

1.02 産業用ロボットとは？

JIS = Japan Industry Standard（日本工業規格）の定義では、① 自動制御により
② 手作業・工作作業（Manipulation）または移動（mobile）機能を持ち、
③ 各種の作業を Computer Program によって実行でき ④ 産業に使用される機械。

1.03 人工知能を持つ人間支援形ロボット（A2P5 Robot）とは？

① 子供のおもちゃをかしこくしたものや、ペット型ロボットから ② 老人の介護用ロボットや ③ さらに移動機能を持つロボット（自動走行車や車いす型ロボット）などがある。更に ④ 家全体がロボット・ハウスとして機能し、人間を守り、支援する。
（ロボットの動作を制御する電子部品やその集合体の Computer System、そして、その Computer を Program する Software の知識と、ロボットは総合技術で成り立つ）

1.04 ロボット工学三原則とは？

1950年、アイザック・アシモフ（科学者兼SF作家）は、SF小説「われはロボット」の中で提唱した。① Robot は人間に危害を与えてはならない。また人間に危害を与える危険を見過してはいけない。② Robot は人間の命令に従わなくてはならない。ただし、①に反する場合は、その限りではない ③ Robot は、①と②に反するおそれがない限り、自分を守らなければならない。（人間が守らなければならない大原則に近い。）

1.05 ロボットの種類を分類せよ。

- ① 機能による分類
  - 腕型（最初の産業用ロボット バーサトラン・ユニメート）
  - 移動型
    - 車輪型
      - （惑星探査 Rover）
      - （クロール型 レスキューロボット）
    - 脚型
      - 二足歩行 —（ASIMO）
      - 多足歩行 —（昆虫型）
- ② 応用分野による分類
  - 産業分野（組立工作ロボット、自動搬送システム）
  - 民生分野（掃除ロボット，介護ロボット，警備…）

1.06 ロボット工学に必要な基礎知識とは？

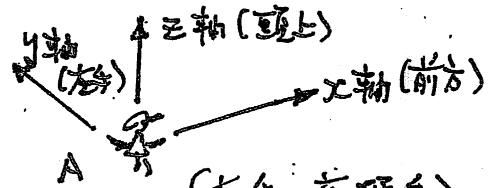
① ロボットの重さと強度の観点から 材料力学、機械工学
② ロボットを動かす駆動制御の観点から、電動モータと関連電気電子工学 制御工学
③ ロボットに人間の世界を理解させる為に、センサー工学、計測工学
④ ロボットにより人間にやさしく、人間の気持ちやルールを理解させる為に、人工知能工学

（ロボットは Soft と Hard の融合体である）

1.07 ロボットの座標系（位置と姿勢）を定義せよ.

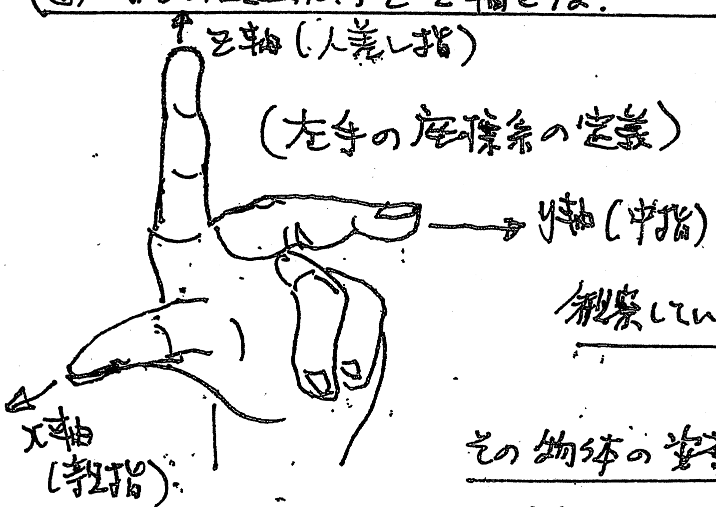
すべての観察者は、世界の中心にいる！
（相対性原理）

（すべての観察者は自分が原点 (0,0,0)。
自分自身の位置を原点とする.）



（左手の座標系）

① 自分が見ている前方方向を x 軸とする.
② 自分の左手の延ばした方向を y 軸とする.
③ 自分の頭上方向を z 軸とする.



（左手の座標系の定義）

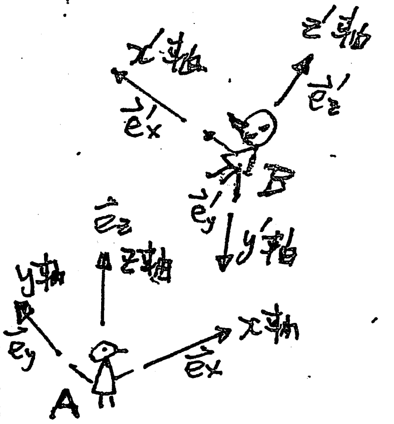
次に、ロボットが観察する物体の位置ベクトル B[ ] と姿勢ベクトル BX[ ], BY[ ], BZ[ ] を定義する.

観察している物体の原点座標ベクトルの定義:

$$B[\ ] = \{X(t), Y(t), Z(t)\}$$

その物体の姿勢単位ベクトルの定義

$$\begin{pmatrix} x'\text{軸ベクトル}\ \vec{e}_x{}' = BX[\ ] = \{XX(t), YX(t), ZX(t)\} \\ y'\text{軸ベクトル}\ \vec{e}_y{}' = BY[\ ] = \{XY(t), YY(t), ZY(t)\} \\ z'\text{軸ベクトル}\ \vec{e}_z{}' = BZ[\ ] = \{XZ(t), YZ(t), ZZ(t)\} \end{pmatrix}$$



Robot A の姿勢単位ベクトルの定義

$$\begin{pmatrix} x\text{軸ベクトル} & AX[\ ] = (1, 0, 0) = \vec{e}_x \\ y\text{軸ベクトル} & AY[\ ] = (0, 1, 0) = \vec{e}_y \\ z\text{軸ベクトル} & AZ[\ ] = (0, 0, 1) = \vec{e}_z \end{pmatrix} \text{と書く.}$$

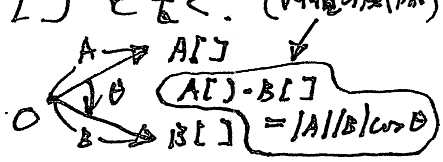
1.08 ベクトル A[ ] と B[ ] の内積と外積を定義せよ

3次元ベクトル $A[\ ] = \{AX, AY, AZ\}$ と $B[\ ] = \{BX, BY, BZ\}$ において,

$$(\text{内積}) = A[\ ] \cdot B[\ ] = (AX)(BX) + (AY)(BY) + (AZ)(BZ)$$

$$(\text{外積}) = \begin{bmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ AX & AY & AZ \\ BX & BY & BZ \end{bmatrix} = A[\ ] \times B[\ ] \text{ と書く.}$$

（内積の関係）



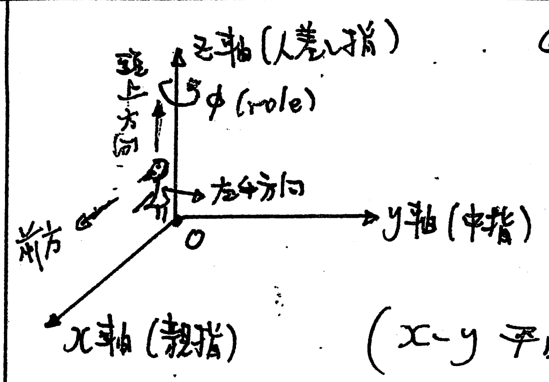
3×3 の行列式の値 (determinant) の定義

$$\det\begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} = a\begin{bmatrix} e & f \\ h & i \end{bmatrix} - b\begin{bmatrix} d & f \\ g & i \end{bmatrix} + c\begin{bmatrix} d & e \\ g & h \end{bmatrix} = a(ei - fh) - b(di - fg) + c(dh - eg) \text{ より}$$

$$(\text{外積}) = A[\ ] \times B[\ ] = \begin{bmatrix} AY & AZ \\ BY & BZ \end{bmatrix}\vec{e}_x - \begin{bmatrix} AX & AZ \\ BX & BZ \end{bmatrix}\vec{e}_y + \begin{bmatrix} AX & AY \\ BX & BY \end{bmatrix}\vec{e}_z \text{ とする.}$$

また、$AX[\ ] \times AY[\ ] = AZ[\ ]$; $AY[\ ] \times AZ[\ ] = AX[\ ]$; $AZ[\ ] \times AX[\ ] = AY[\ ]$ となる.

1.~~09~~ Role(ϕ), Pitch(θ), Yaw(ψ)角を定義せよ.

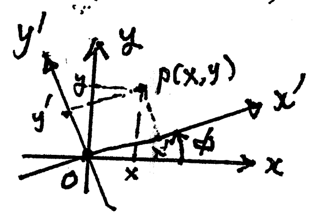


① Role(ϕ)の定義

(z軸(頭上)のまわりを.前方から左方向(x軸からy軸方向へ)回転する角度ϕのこと.
(faiと発音する.))

(z軸の座標は変化しない.∴ $z'=z$)

(x-y平面の回転に対応する.)



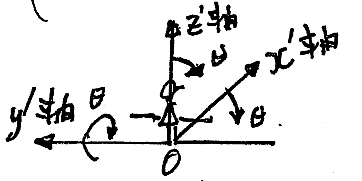
$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

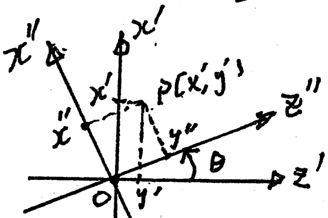
$$\begin{cases} x' = x\cos\phi - y\sin\phi \\ y' = x\sin\phi + y\cos\phi \end{cases}$$

(x-y座標系での座標値が(x,y)の点は.
x'-y'座標系では.(x', y')となるとする.)

② Pitch(θ)の定義

(次に.左手(y'軸)を固定し.($y''=y'$).頭(z'軸)から前方(x'軸)におじぎする方向に.(z'-x')平面をθだけ回転させる.)



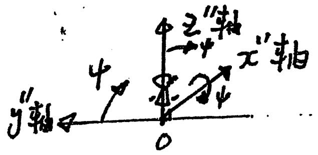


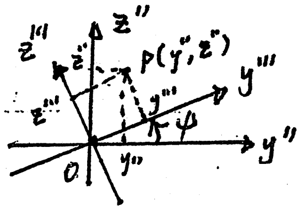
$$\begin{cases} z'' = z'\cos\theta - x'\sin\theta \\ x'' = z'\sin\theta + x'\cos\theta \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

③ YAW(ψ)の定義

(次に.前方軸(x''軸)を固定し.($x'''=x''$).左手(y''軸)を頭上方向(z''軸)に(y''-z'')平面をψだけ.前方(x''軸)を見ながら.首を右にかしげる.)





$$\begin{cases} y''' = y''\cos\psi - z''\sin\psi \\ z''' = y''\sin\psi + z''\cos\psi \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix}$$

(*) 立体回転は ① Role(ϕ)回転 ② Pitch(θ)回転 ③ Yaw(ψ)回転の3つの回転をone setとして定義する.最終的な座標変換は次の様になる.

$$\begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix} = \mathrm{Yaw}(\psi)\,\mathrm{Pitch}(\theta)\,\mathrm{Role}(\phi) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ z''' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\psi & -\sin\psi \\ 0 & \sin\psi & \cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

となる.

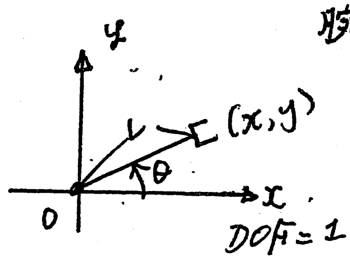
(*) 3次元空間での回転の回転演算子の交換は不可である.

(行列式A[ ][ ]とB[ ][ ]は一般にかけ算の交換則が成立しない.
A[ ][ ]B[ ][ ] ≠ B[ ][ ]A[ ][ ])

$\mathrm{Pitch}(\theta)\,\mathrm{Role}(\phi) \neq \mathrm{Role}(\phi)\,\mathrm{Pitch}(\theta)$

$\mathrm{Yaw}(\psi)\,\mathrm{Pitch}(\theta) \neq \mathrm{Pitch}(\theta)\,\mathrm{Yaw}(\psi)$ など…

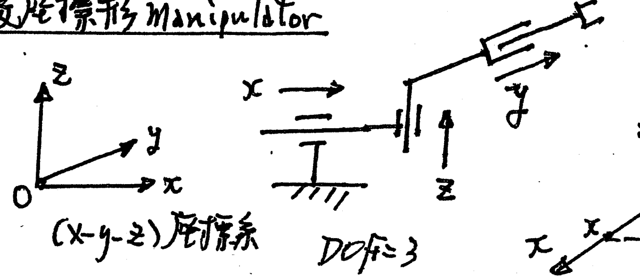
1.10 Robot Arm の DOF とは？



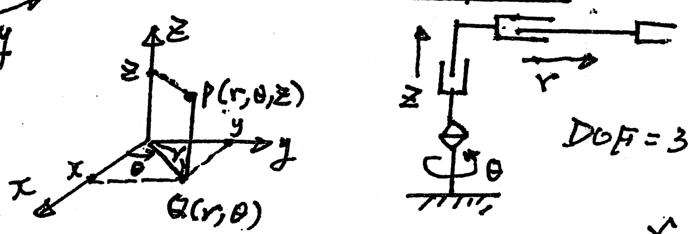
腕の長さがL（固定）で原点を中心に、(x-y)平面で回転が可能な Robot ARM は DOF=1 と定義する。
回転角度 θ が自由度である。(DOF=Degree of Freedom)

$$\begin{pmatrix} x = L\cos\theta \\ y = L\sin\theta \end{pmatrix}$$ となる。 $\left(L^2 = x^2+y^2;\ \tan\theta = \frac{y}{x}\right)$

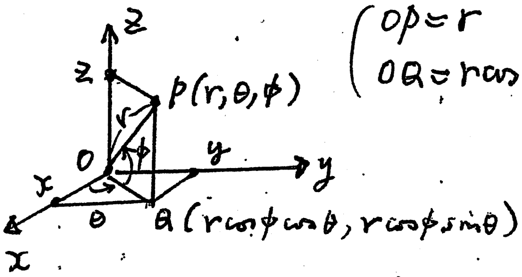
① 直交座標形 Manipulator



② 円筒座標形 Manipulator

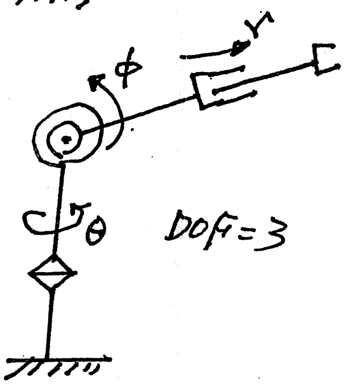


③ 極座標系 Manipulator

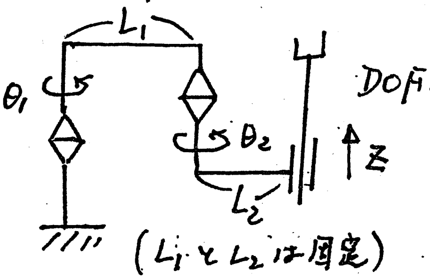


$$\begin{pmatrix} OP = r \\ OQ = r\cos\phi \end{pmatrix}$$

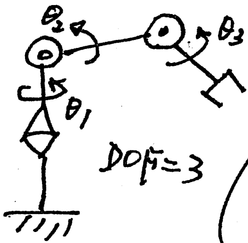
$$\begin{pmatrix} x = r\cos\phi\cos\theta \\ y = r\cos\phi\sin\theta \\ z = r\sin\phi \end{pmatrix}$$



④ 水平多関節形 Manipulator

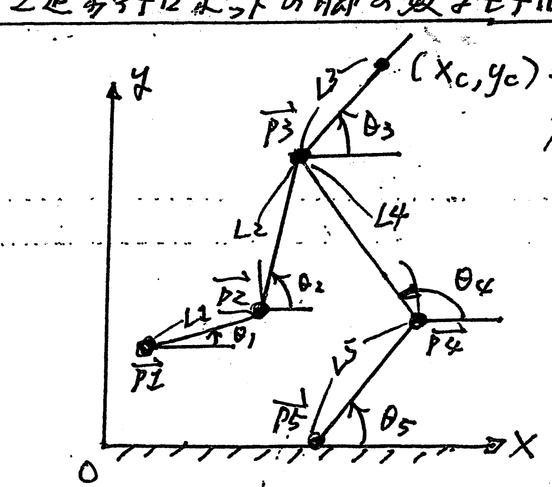


⑤ 垂直多関節形 Manipulator

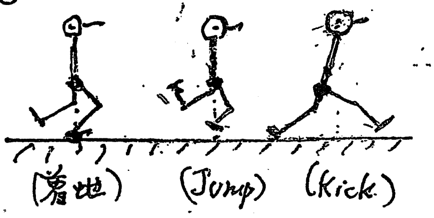


（最も実用化されている type。ARM の長さがすべて固定で、回転用の Servo Motor の制御だけで、Robot Arm が動くもので、人間の腕に近い。人間の腕も伸び縮みしない!!）

1.11 2足歩行ロボットの脚の数学モデル



右図は5つのリンク（Link）による脚（Leg）構造である。各 Joint（かかとやひざ）の位置情報、それに、その回転に必要な力（moment）を Real Time で瞬時に計算し、Servo Motor を動かす電流を供給する電子部品と制御用 Computer が必要となる。また、かかと、ひざ、こしにそれぞれがっちりした小型サーボモーターの研究開発も大変必要となる。既に企業では、実用化されているが、すごい Know How である…



◎ロボットは、Jump したり、Kick もする!!
これは、大変複雑だ…