



ロボティクス Robotics

先端工学基礎課程講義

小泉 憲裕

講義情報

授業内容と
その進め方

【授業内容とその進め方】

(a) 授業項目

- 第1回 ロボット工学概論
ロボットの歴史、定義、基本構成と分類
数学基礎知識
- 第2回 マニピュレータの基礎
構造と分類、機構表現
- 第3回 センサとアクチュエータ
- 第4回 座標変換
平行、回転変換、同次変換、マニピュレータの座標系の設定
- 第5回 順運動学と逆運動学
- 第6回 ヤコビ行列と静力学
- 第7回 順動力学と逆動力学
- 第8回 中間試験とその解説
- 第9回 フィードバック制御とその安定性
- 第10回 位置制御 (PTP制御とCP制御)
- 第11回 力制御 (インピーダンス制御)
- 第12回 マスタ・スレーブ制御
- 第13回 遠隔操作と自律制御
- 第14回 複数マニピュレータの協調制御
- 第15回 期末試験とその解説

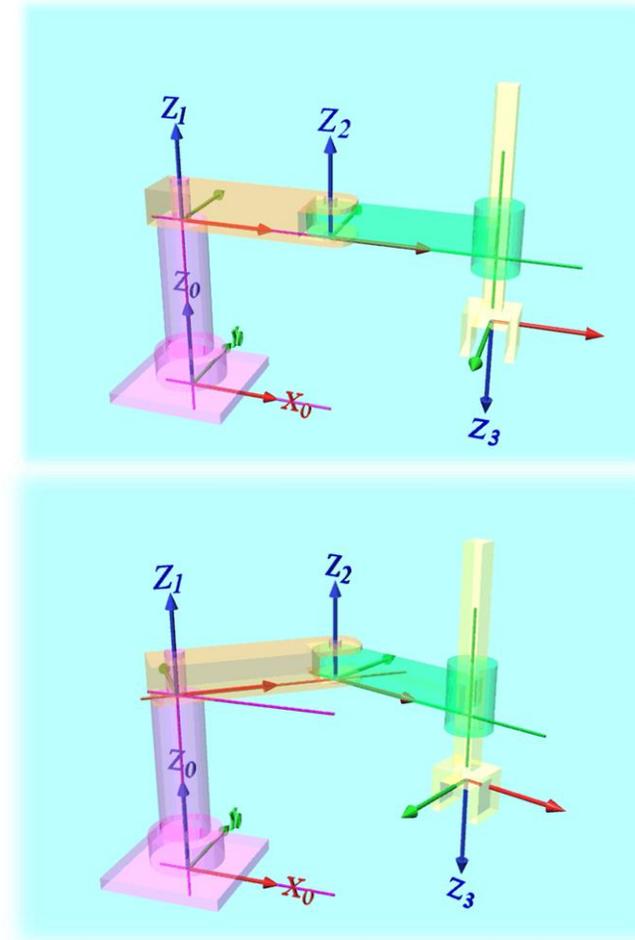
(b) 授業の進め方:

PPTを用いて内容を解説したあと、演習課題を解いてもらう。また、必要に応じて宿題を課すことがある。

修正Denavit-Hartenberg記法

修正DH記法

(1) 基準(腕ロボットなら地面に固定、脚ロボットなら胴体など)となる部分をリンク0として、手先に向かって各リンクに1,2,..nと番号をつける。

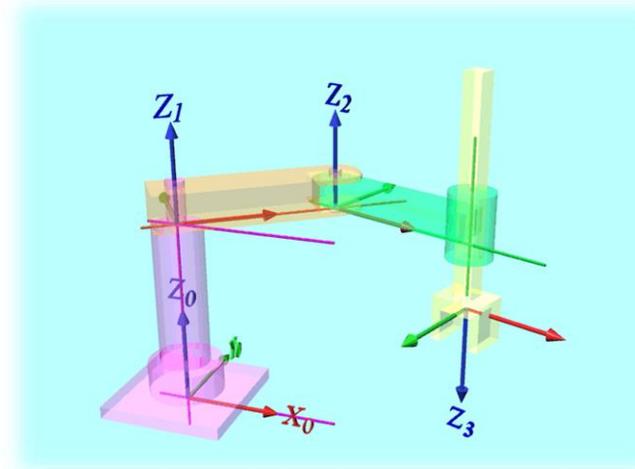
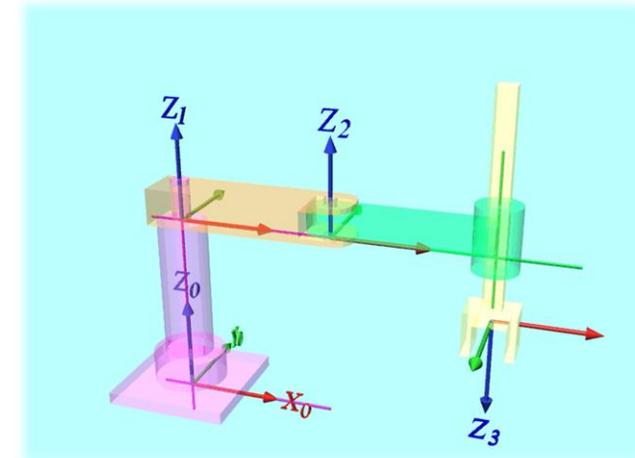


<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/manipulator.html>

修正Denavit-Hartenberg記法

修正DH記法

(2) リンク $i-1$ とリンク i の間の関節を、関節 i とする。つまり、関節番号は $1..n$ となる。

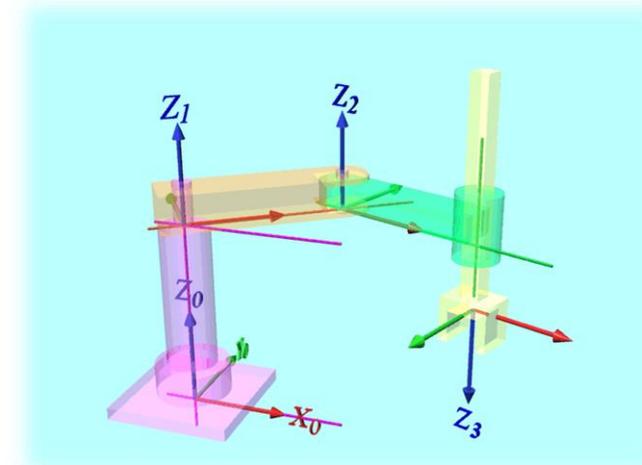
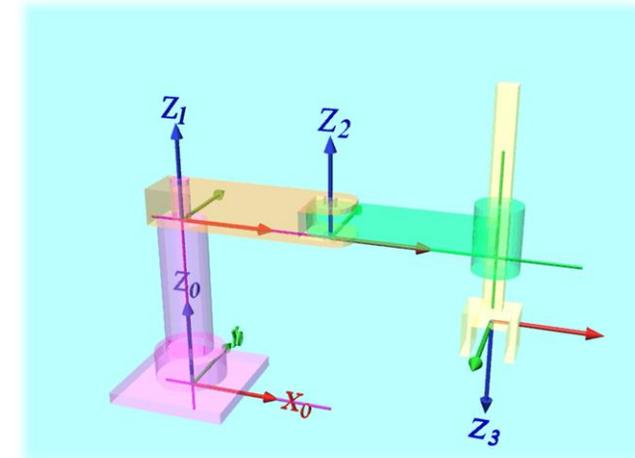


<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/manipulator.html>

修正Denavit-Hartenberg記法

修正DH記法

(3) 各関節に関節軸を定義する。
回転関節(回転対偶)なら回転軸を、直動関節(すべり対偶)なら直動方向に平行な直線を関節軸 i とする。

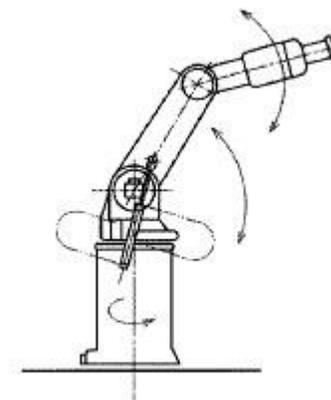
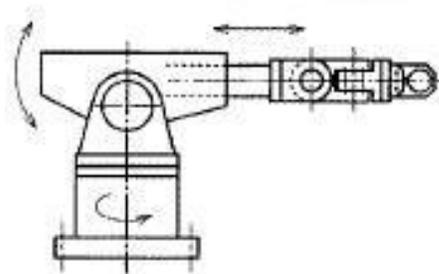
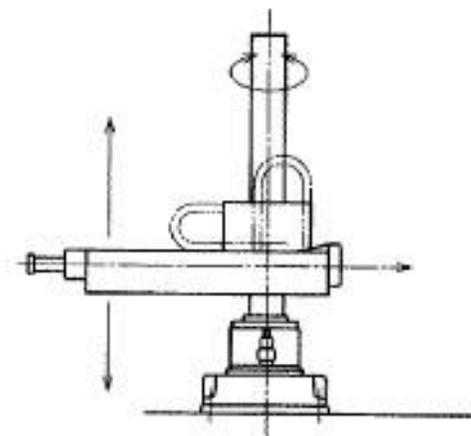
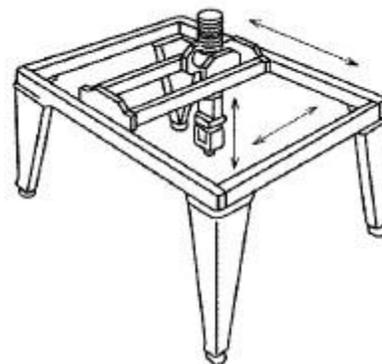


<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/manipulator.html>

ロボットの構造

ロボット・マニピュレータの構造分類

- (構造1) 直交座標ロボット
- (構造2) 円筒座標ロボット
- (構造3) 極座標ロボット
- (構造4) 多関節ロボット
- (構造5) その他



ガンゾン・ロボット3号



人間の手のように
コンパクトで
自由に動く



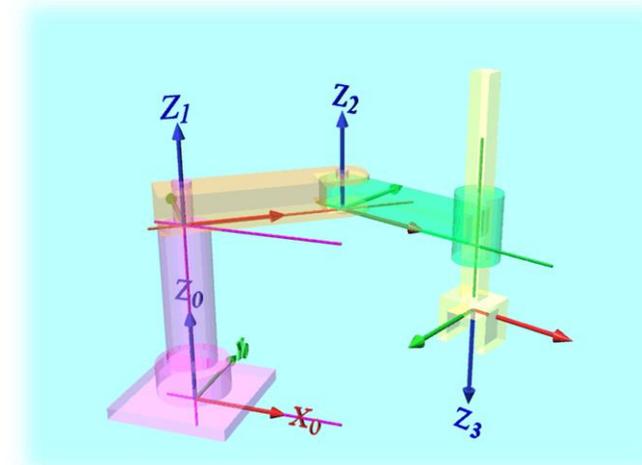
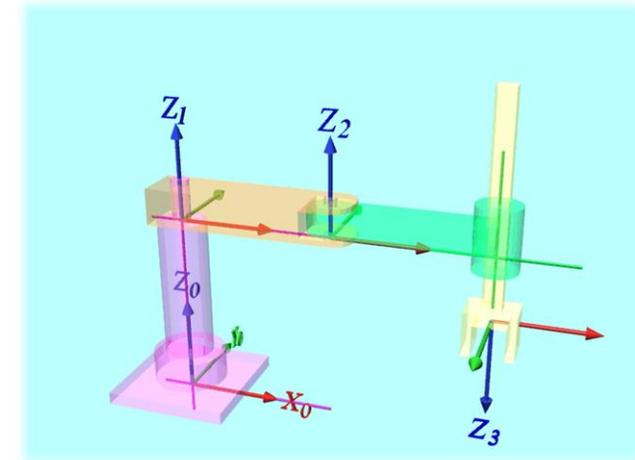
ガンゾン・ロボット1号

http://rbt.jisw.com/01110/post_32.html

修正Denavit-Hartenberg記法

修正DH記法

- (4) Z_i 軸は関節軸 i に一致させる。
- (5) X_i 軸は、 Z_i 軸と Z_{i+1} 軸の共通垂線にする。
- (6) Z_i と X_i の交点が原点 O_i になって、 Z_i と X_i の外積で Y_i 軸が定まる。



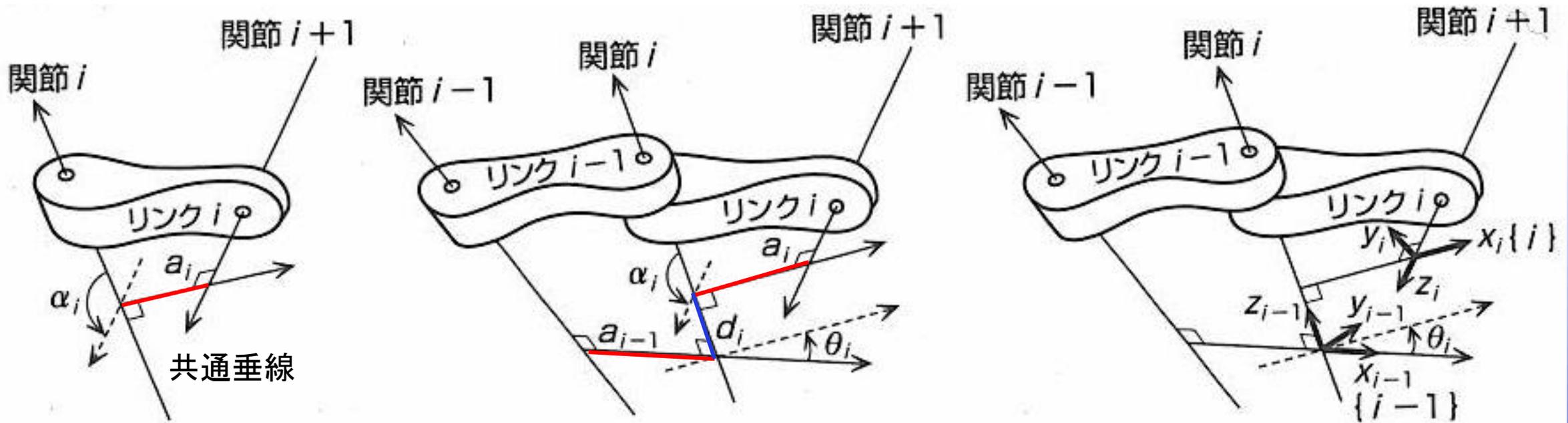
<http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/manipulator.html>

修正Denavit-Hartenberg記法

リンク・パラメータ

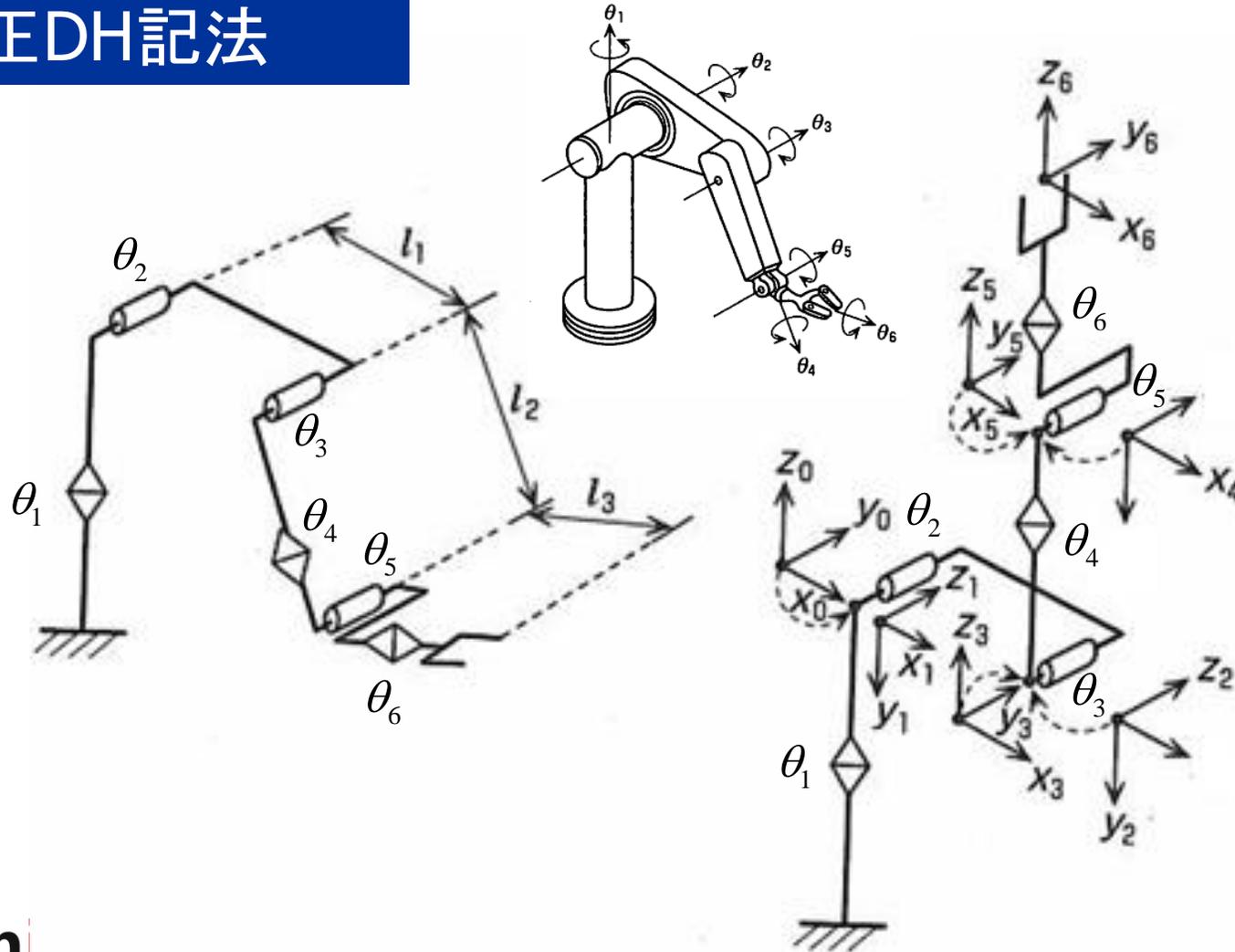
a_i : リンク長さ α_i : リンクねじれ角

d_i : リンクオフセット θ_i : 関節角度



ピューマ型マニピュレータ

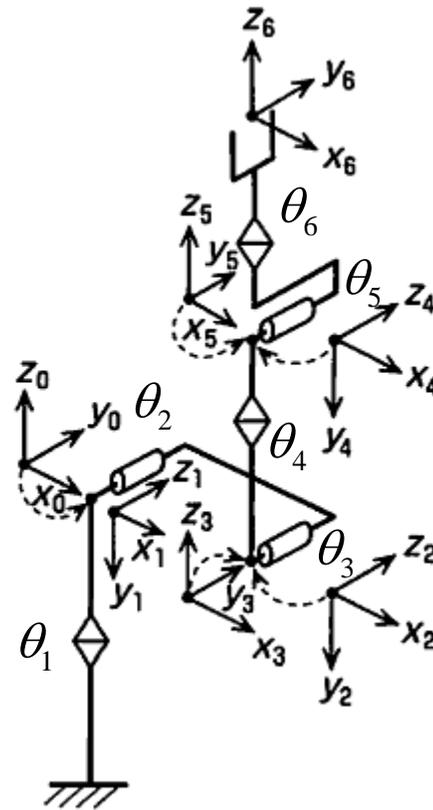
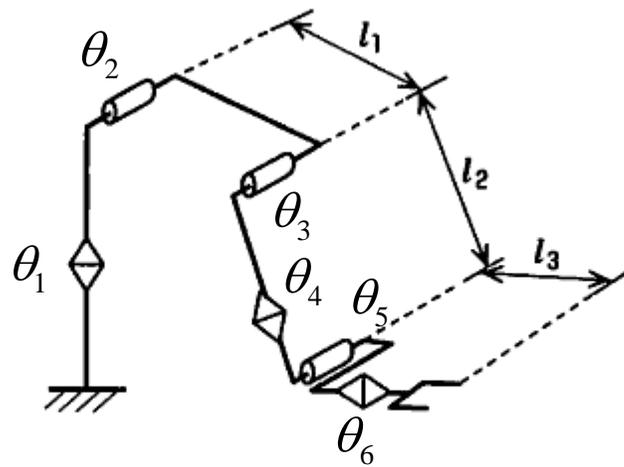
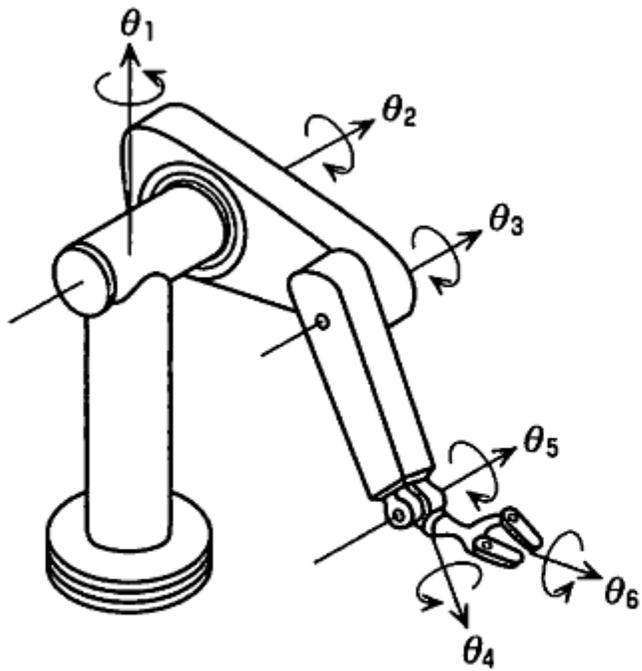
修正DH記法



i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$-\frac{\pi}{2}$	0	変数
2		0	0	変数
3	0		0	変数
4	0	$\frac{\pi}{2}$		変数
5	0	$\frac{\pi}{2}$	0	変数
6	0	0	l_3	変数

ピューマ型マニピュレータ

修正DH記法



i	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	$-\frac{\pi}{2}$	0	変数
2	l_1	0	0	変数
3	0	$\frac{\pi}{2}$	0	変数
4	0	$-\frac{\pi}{2}$	l_2	変数
5	0	$\frac{\pi}{2}$	0	変数
6	0	0	l_3	変数

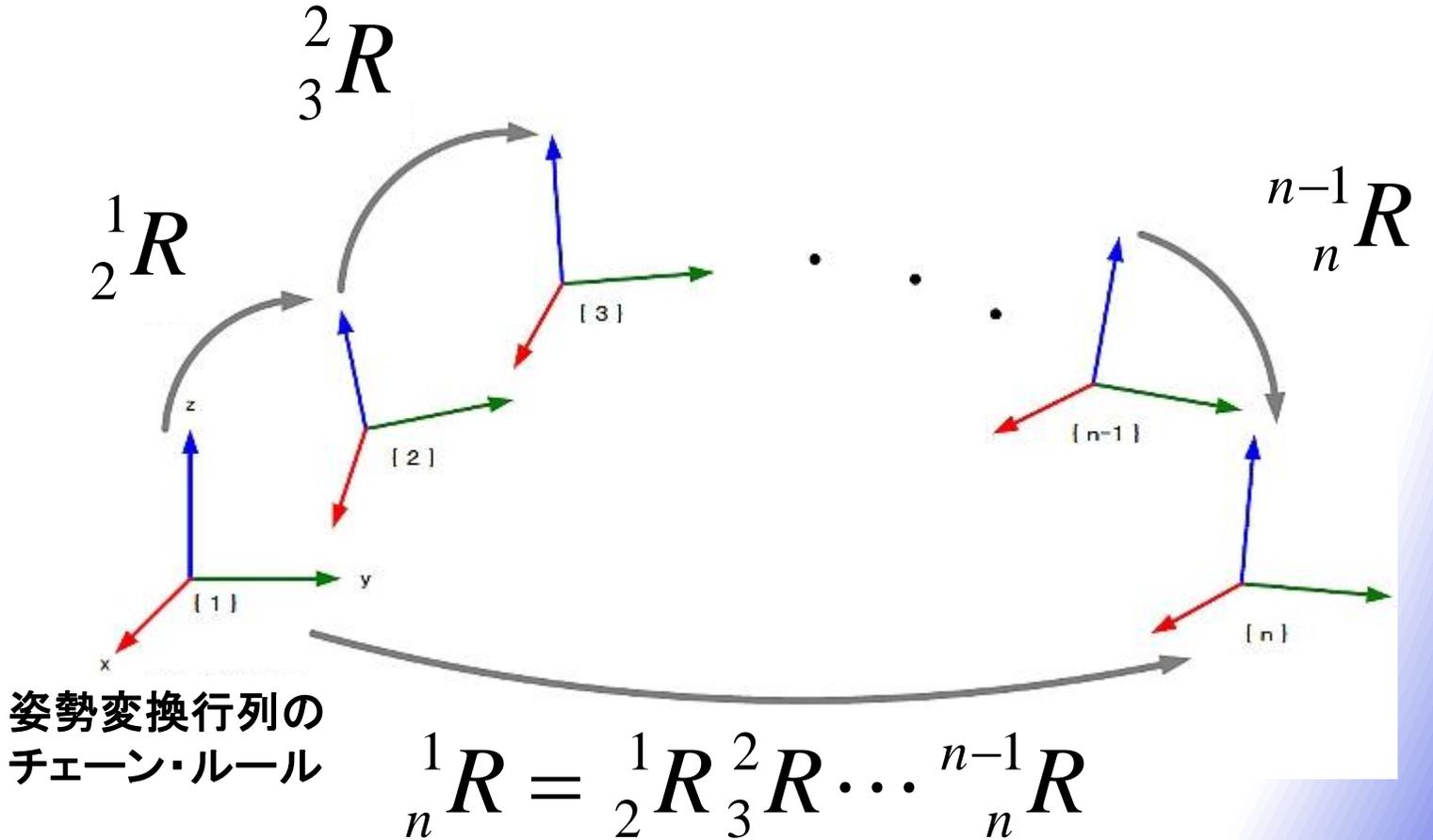
第5回 順運動学と逆運動学

チェーン・ルール

チェーン・ルール

$${}^A_B R = {}^O_A R^T {}^O_B R = {}^O_A R {}^O_B R$$

相対的な姿勢変換
行列を左から右へ
とかけてゆくことで
{1}→{n}の姿勢の
変位を計算できる



同次変換

同次変換行列

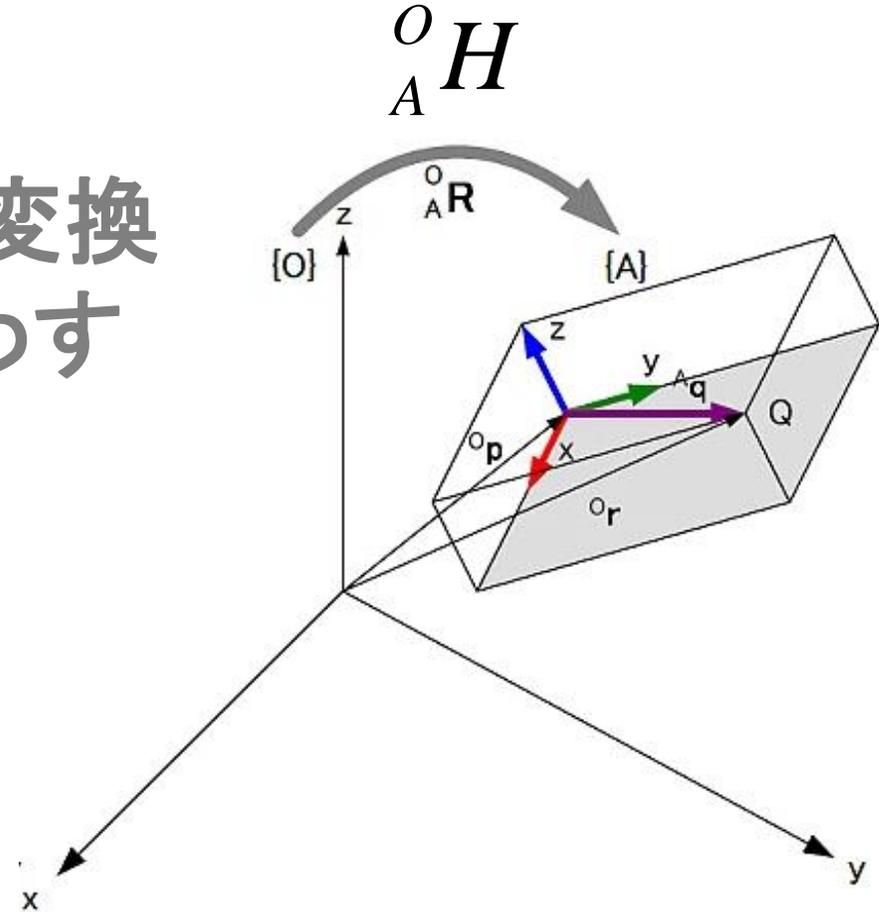
http://www.rugbysensor.com/images/doujitrMatrix_01.jpg

$${}^O r = {}^O p + {}^O R^A q$$

同じ式を 4×4 に拡大した同次変換行列を用いてシンプルにあらわす

$$\begin{bmatrix} {}^O r \\ 1 \end{bmatrix} = {}^O H \begin{bmatrix} {}^A q \\ 1 \end{bmatrix}$$

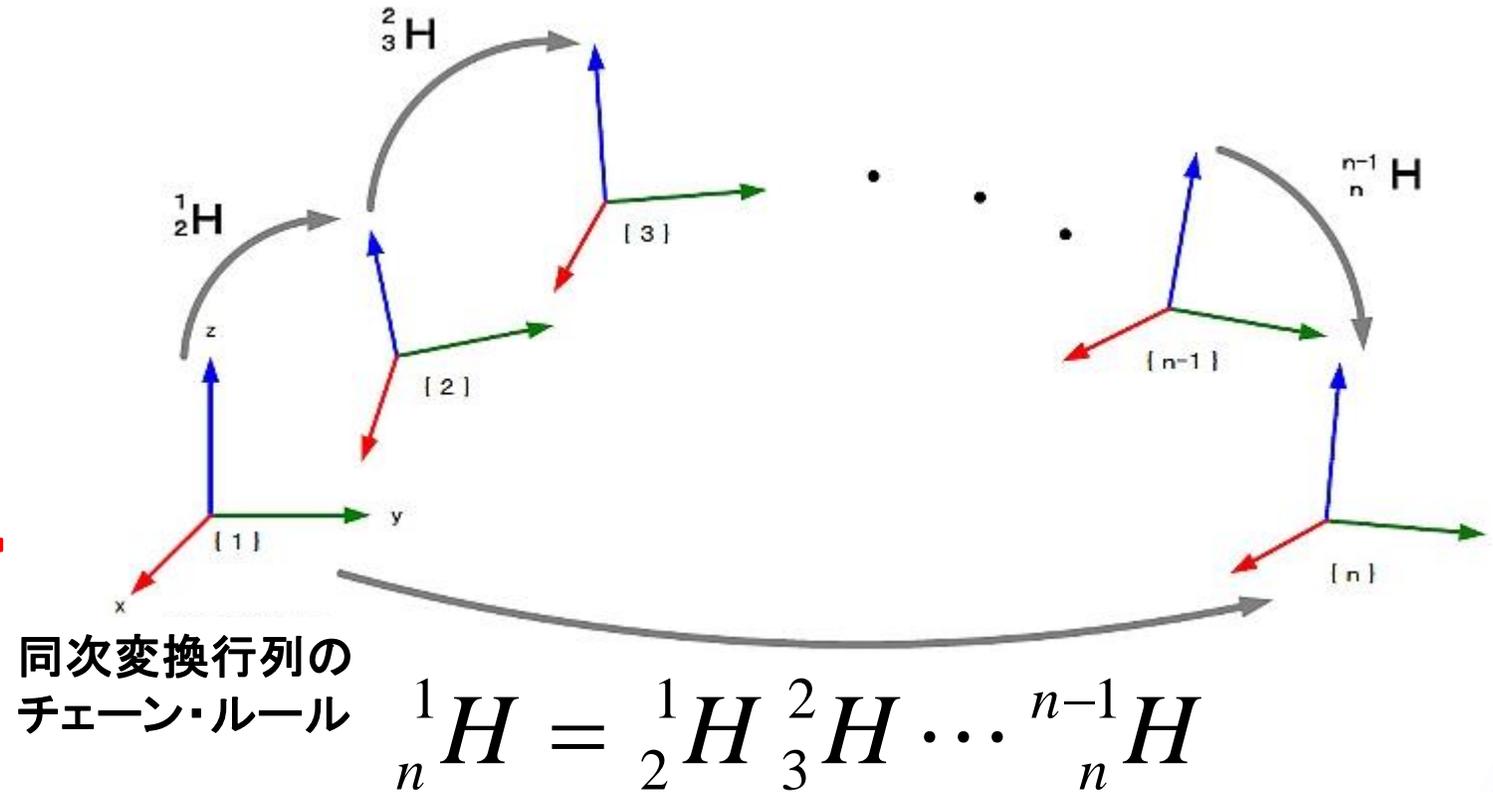
$${}^O H = \begin{bmatrix} {}^O R & {}^O p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



チェーン・ルール

チェーン・ルール

姿勢変換行列と同様に
チェーン・ルールが成立



順運動学

順運動学とは

剛体リンク系としてあらわされるマニピュレータでは絶対座標系からみたエンドエフェクタの位置と姿勢は関節角 θ から求まる。

$${}^0_n H(\theta) = \begin{pmatrix} {}^0_n R & p_n^o \\ O & 1 \end{pmatrix} = {}^0_1 H(\theta_1) {}^1_2 H(\theta_2) {}^2_3 H(\theta_3) \cdots {}^{n-1}_n H(\theta_n)$$

$$\theta = (\theta_1 \quad \theta_2 \quad \cdots \quad \theta_n)$$

逆運動学

逆運動学とは

次式が与えられたときに、 θ をもとめること。

$${}^0_n H(\theta) = \begin{pmatrix} {}^0_n R & p_n^o \\ O & 1 \end{pmatrix}$$

$$\theta = (\theta_1 \quad \theta_2 \quad \cdots \quad \theta_n)$$

ヤコビ行列

ヤコビ行列とは

作業座標における速度と
関節角座標における速度を関係づける

$$r = (x \quad y \quad z \quad \alpha \quad \beta \quad \gamma)^T \quad r = f(\theta)$$
$$\theta = (\theta_1 \quad \theta_2 \quad \dots \quad \theta_n)^T \quad \dot{r} = J(\theta)\dot{\theta} \quad J(\theta) \triangleq \frac{\partial f}{\partial \theta}$$

$n \geq 7$ は冗長

$$\dot{\theta} = J^{-1}(\theta)\dot{r}$$

ヤコビ行列と特異点

ロボットの特異点

ヤコビ行列が正則でないときは逆行列が存在しないため変換ができない。

関節がすこし変化したとき手先がどの程度変化するか？

$$\delta r = J(\theta) \delta \theta$$

$$\delta \theta = J^{-1}(\theta) \delta r$$

$$r = f(\theta)$$

$$\dot{r} = J(\theta) \dot{\theta}$$

$$\dot{\theta} = J^{-1}(\theta) \dot{r}$$

$$J(\theta) \triangleq \frac{\partial f}{\partial \theta}$$

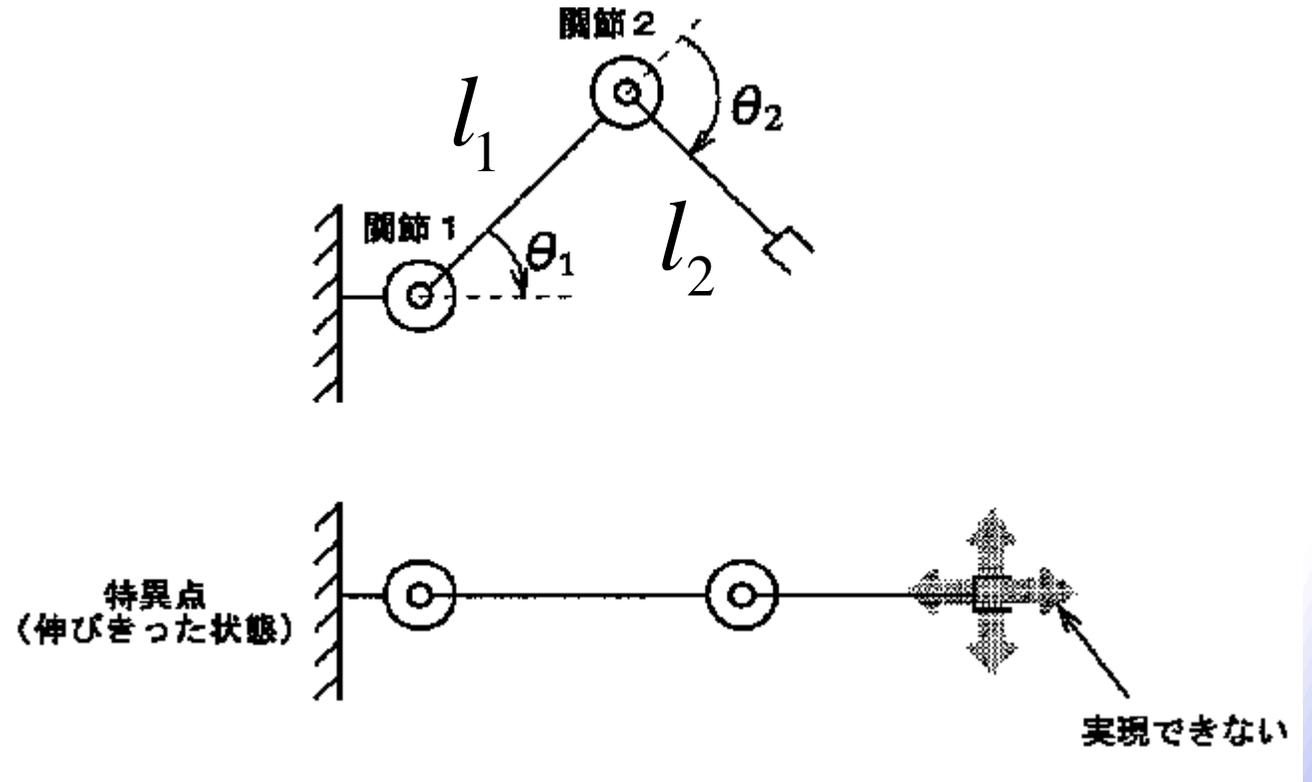
線形関係

ヤコビ行列と特異点

ロボットの特異点

$$\delta r = J(\theta) \delta \theta$$

$$J = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ l_1 + l_2 & l_2 \end{bmatrix}$$



<http://astamuse.com/ja/drawing/JP/992/39/988/A/000012.png>

End

順運動学と逆運動学

参考文献

1. ロボット制御入門: 川村貞夫著 (Ohmsha)
2. ロボットシステム入門: 松日楽信人、大明準治著 (ohmsha)
3. メカトロニクス: 三浦宏文著 (ohmsha)
4. やさしい産業用ロボット読本: 川崎重工編 (日本能率協会)
5. はじめてのロボット創造設計: 坪内孝司、大隅久、米田完 (講談社)
6. ロボットモーション: 内山 勝、中村仁彦 (岩波書店)
7. http://www.tuhep.phys.tohoku.ac.jp/~watamura/kougi/GP2012_11.pdf
8. <http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/course/robotics/manipulator.html>