

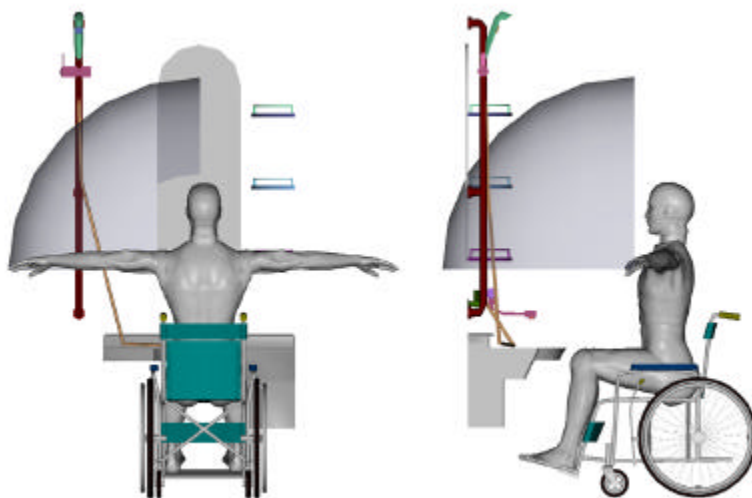
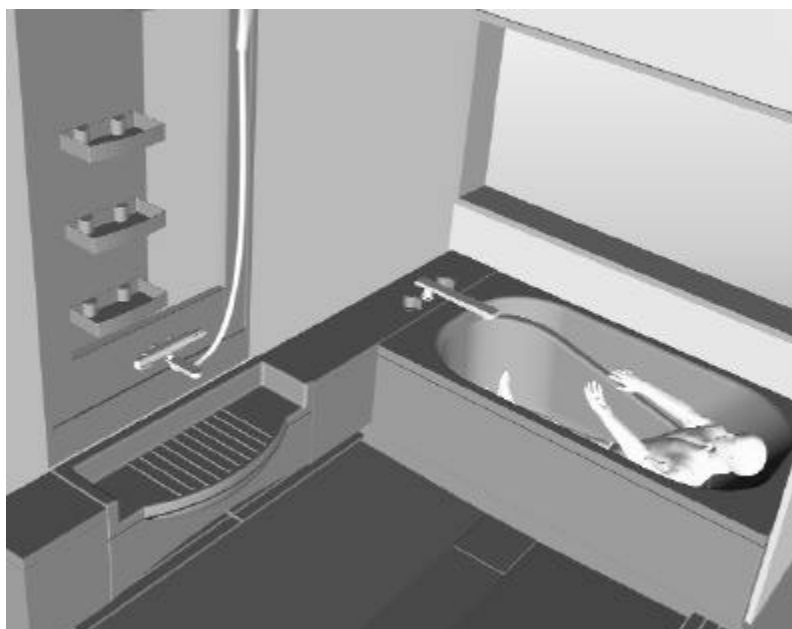


## 2.5 動作モデル

車椅子に乗る，降りる，車輪を前後に回す，車椅子に乗ったままドアのノブに手をかける，介助者が車椅子を押しながら歩く，これらの場面の動作を再現します。ある行動や作業の行い易さ（障害物が無い），動作や作業の開始から終了までに身体にかかる負担の蓄積などの評価を目指します。

以下に現在開発中のコンピュータ・マネキン形態モデルの概要および開発ポイントの一部を紹介します。

## 3. AutoCAD2000，および Mechanical Desktop R4 におけるコンピュータ・マネキン

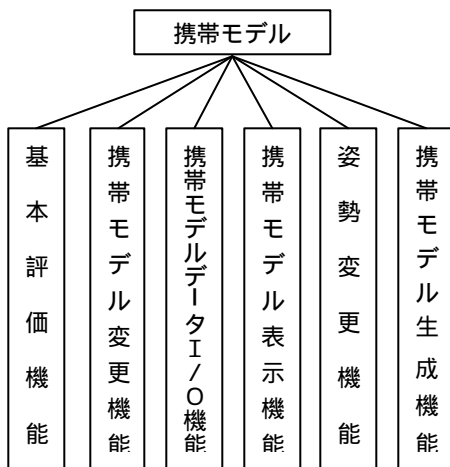


コンピュータ・マネキンの使用例イメージ

AutoCAD2000 ,および Mechanical Desktop R4 におけるコンピュータ・マネキンは、プラグインモジュールとして開発、実装します。

プラグインモジュールの開発に関して ObjectARX を利用します。ObjectARX は、AutoDesk 社から提供される C++言語を使用して AutoCAD をカスタマイズするオブジェクト指向な開発環境です。

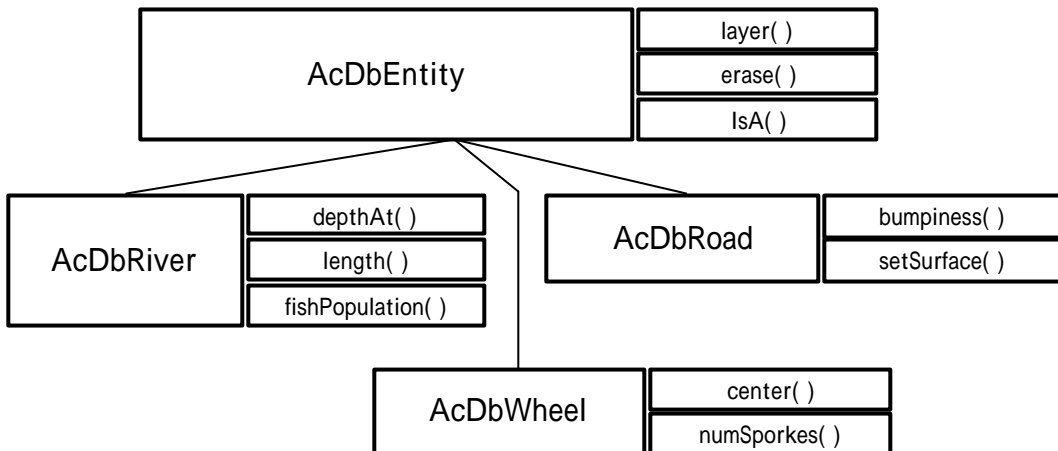
AutoCAD2000 ,および Mechanical Desktop R4 に拡張される機能



### 3.1 形態モデル

形態モデルは、骨と関節によるリンク構造、表面形状および各種人体の特性データにより構成され、関節角度の制御により取り得る姿勢を実現し、属性としての人体の特性データを評価することが可能な AutoCAD 上の カスタムオブジェクトです。プラグインはこのカスタムオブジェクトを AutoCAD 上に構築します。

AutoCAD 上にカスタムオブジェクトを実装する場合、非グラフィカルなオブジェクトの実装とグラフィカルなオブジェクトの実装の2つに分類されます。非グラフィカルオブジェクトは AcDbObject クラス以下から派生したクラスを元にしたオブジェクト、グラフィカルオブジェクトは AcDbEntity クラス以下から派生したクラスを元にしたオブジェクトで作り分けます。また、このシステムにおいてユーザーによるカスタマイズを可能にする為のCOMインターフェイスを実装します。本システムにて実装されるCOMインターフェイスとは、AutoCAD VBA からカスタムオブジェクトに含まれるクラスを扱うためのものです。



クラスの派生のイメージ

### 3.2 形態モデルの生成

人体計測データを基に定義された形態ベースモデル (性別「年齢」身長(低,中,高)「体重(軽,中,重)」)の各パラメータにより統計処理され、寸法データ、および関節点が計算される)と各種制限情報(関節角制限情報、関節力学(モーメント)制限情報、質量、重心等)により形態モデルを生成します。形態ベースモデルにおけるリンク情報、形状情報は、形態モデルごとに属性として登録され、制限情報は形態モデルの Stickと呼ばれる人体の骨に値するオブジェクトごとに属性として登録されます。

### 3.3 姿勢変更

Stick のリンク構造により構成された関節モデルにおいて、各要素 Stick に対し フォワードキネマティクス(forward kinematics)を用い姿勢変更を実現します。各要素 Stick を変更(幾何学的に回転、移動)すれば、リアクタを利用し子要素 Stick、孫要素 Stick、...と変更を伝達し、全てのリンクの下位要素 Stick を変更(幾何学的に回転、移動)します。

#### リアクタ

ObjectARX において、リアクタとは AutoCAD 上で発生した特定のイベントに反応するために使用します。すなわち、AutoCAD 内部のイベントとオブジェクトを連動させます。

#### リアクタのタイプ

AcRxDLinkerReactor = ObjectARX  
アプリケーションのロード、アンロード

をモニターする。

AcEditorReactor = コマンド、AutoLISP の評価、  
図面上のオペレーションをモニターする。

AcDbDatabaseReactor = 図面データベース全体をモニターする。

AcTransactionReactor = トランザクションの開始、  
中止および終了をモニターする。

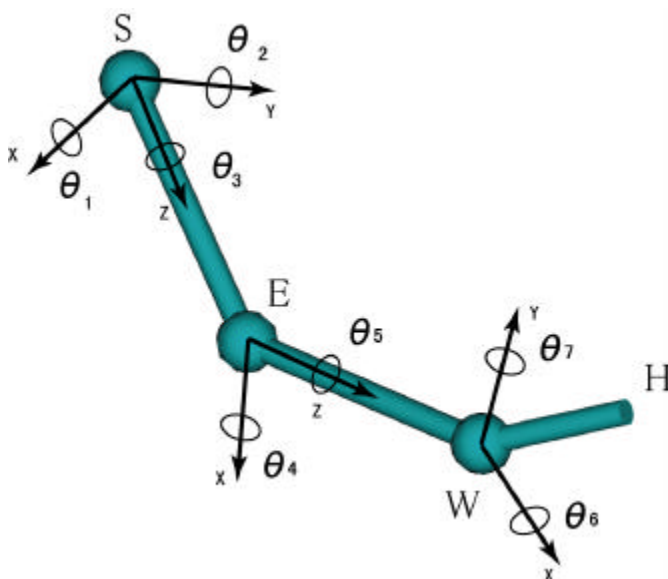
AcDbObjectReactor = 特定のデータベースオブジェクト関連(作成、編集、削除)をモニターする。

AcDbEntityReactor = エンティティ固有の特別なイベントをモニターする。

などが存在します。

### 3.4 フォワードキネマティクス

forward kinematics(順運動学)とは、各関節角度から手先の位置と姿勢を、幾何学的に求めることです。



forward kinematics の例 (三次元ベクトルによる肘、手首、手先位置計算アルゴリズム)

$P_E, P_W, P_H$  :それぞれ, 肩 (S)を原点とした, 肘 (E), 手首 (W), 手先 (H)の位置ベクトル

$l_1, l_2, l_3$  :それぞれ, ベクトル  $\overrightarrow{SE}, \overrightarrow{EW}, \overrightarrow{WH}$  (肘)

$$P_E = -l_1 \begin{bmatrix} s_2 \\ -s_1 c_2 \\ c_1 c_2 \end{bmatrix}$$

(手首)

$$P_W = P_E - l_2 \begin{bmatrix} c_2 s_3 s_4 + s_2 c_4 \\ s_1 s_2 s_3 s_4 - c_1 c_3 s_4 - s_1 c_2 c_4 \\ -c_1 s_2 s_3 s_4 - s_1 c_3 s_4 + c_1 c_2 c_4 \end{bmatrix}$$

(手先)

$$P_H = P_W - l_3 \begin{bmatrix} c_2 c_3 (c_5 s_6 c_7 + s_5 s_7) \\ + (-c_2 s_3 c_4 + s_2 s_4) \\ (s_5 s_6 c_7 - c_5 s_7) + (c_2 s_3 s_4 \\ + s_2 c_4) c_6 c_7 \\ (s_1 s_2 c_3 + c_1 s_3)(c_5 s_6 c_7 + s_5 s_7) \\ + (-s_1 s_2 s_3 c_4 + c_1 c_3 c_4 - s_1 c_2 s_4) \\ (s_5 s_6 c_7 - c_5 s_7) + (s_1 s_2 s_3 s_4 \\ - c_1 c_3 s_4 - s_1 c_2 c_4) c_6 c_7 \\ (-c_1 s_2 c_3 + s_1 s_3) \\ (c_5 s_6 c_7 + s_5 s_7) + (c_1 s_2 s_3 s_4 \\ + s_1 c_3 c_4 + c_1 c_2 s_4)(s_5 s_6 c_7 \\ - c_5 s_7) + (-c_1 s_2 s_3 s_4 - s_1 c_3 s_4 \\ + c_1 c_2 c_4) c_6 c_7 \end{bmatrix}$$

$\sin(q_i) = s_i, \cos(q_i) = c_i$  と表記

### 3.5 インバース・キネマティクス

inverse kinematics(逆運動学)とは, 手先の位置と姿勢から各関節角度 を, 幾何学的に求めることです。

forward kinematics による姿勢変更は手先位置を目的位置に制御することは極めて困難といえま

す。(手先位置を制御する為には, 肩, 肘, 手首の回転角度を入力しなければならない)

ユーザーにとって姿勢変更を容易なものとする為 (ユーザーが目的位置を入力することによって手先位置を制御する。すなわち, 手先位置が簡易なマウスオペレーションにて制御可能となる),

inverse kinematics を実装します。(もちろん手先以外の部位においても同様)

インバース・キネマティクスにおける問題点

解が存在するか否か

解が存在するか否かにおいては, 形態モデルの手先の到達可能な空間という問題が生じます。

手先の移動先の座標がこの到達可能な空間にある時, 少なくとも一つの解が存在します。

複数解の存在

手先の移動先の座標が到達可能な空間にあり, 手先がある位置と姿勢を保持しようとする場合, 求めうる各関節角度 が複数存在する場合があります。インバース・キネマティクスにおいてその複数解のうち一つの解を選択する必要があります。

複数解のうち一つの解を選択する方法

手先の方向とは無関係に, ある姿勢たとえば肘を最も低い位置に下ろした腕の静的な位置エネルギーが

最小となる姿勢をとる。

手先の方向となんらかの関係のある姿勢をとる。

対象とする作業に応じて姿勢を決定する。

形態モデルの機構構造上最も高い精度が得られる姿勢をとる。

以上のような方法によりインバース・キネマティクス機能を様々なケースを想定して実装することを目指します。特にインバース・キネマティクス機能

と 運動拘束の連動が課題です。

### 3.6 運動拘束

形状モデルにおいて、設計物に対する姿勢が重要となります。形状モデルをユーザーが求める(設計物に対する)姿勢に容易に編集できなければなりません。インバースキネマティクスもこの要求に対するものですが、運動拘束もこの要求に対する重要な機能です。

Mechanical Desktop R4 においては「拘束条件」が実装されています。本システムにおいては AutoCAD2000 上でも稼動するオブジェクトが必要である為、プラグインにての運動拘束機能実装が必要となります。形態モデルにおいて、関節構造による各関節の拘束(形態モデル自身に対するもの)機能はもとより、評価する対象物(設計物)への運動拘束拘束が要求されます。例えば「持つ」接する」など。

\*ここに基本的な運動拘束を示します。

自由度の大きい運動拘束は、より単純な運動拘束の合成により得られる」ことから、インバースキネマティクスの解法と同じく、様々なケースを想定した運動拘束計算機能の実装を目指します。

### 3.7 姿勢データベース

またカスタムオブジェクトは、以上に述べた姿勢を再現する機能のための幾何学的な位置情報だけではなくそれぞれの特性情報も保有します。各データは属性テーブル毎に構成されている為、データベースと連動することで、ユーザーに対し様々なシミュレーション機能を提供することが可能となります。例えば作業中に形態モデルを変更(形態モデル変更機能)する、作業中の形態モデルに対しデータベースに保存された姿勢データを呼び出すことで簡易に姿勢を変更できる等です。

### 3.8 形態モデルの表示(関節形状変形)

形態モデルの定義の特性上、関節形状時(特に肘、膝)に隙間が発生します。

	運動	自由度
	三次元空間の剛体運動	6
	三次元空間の一つの回転運動と三つの並進運動	4
	三次元空間の三つの並進運動	3
	球関節運動	3
	平面運動	3
	シリンダ関節運動	2
	平面上の二つの並進運動	2
	一つの並進運動	1
	一つの回転運動	1

これを解決する為に以下の方法が考えられます。

形状の補間 (AutoCAD2000 , Mechanical Desktop R4 標準機能での実現)

形状の補間(カスタムオブジェクト実装機能)

肉盛り形状(あらかじめ関節が曲がっていても隙間が生じないように形状モデルを定義しておく  
今回のシステムにおいて、リアルタイム性を求められる場合が多い為、 の方法を選択しました。

形状の補間 (カスタムオブジェクト実装機能),  
肉盛り形状の複合系も実装予定。

以上、現在開発中のコンピュータ・マネキン形態モデルの概要および開発ポイントの一部を紹介しました。

本研究は通商産業省殿からの委託を受けて行われました。

応用技術株式会社の三村拓也氏、(その他の関係された方々)にはソフトウェア開発において多大の協力を得た。関係各位に感謝の意を表します。



関節変形の無い形状



関節変形した形状

肘部の関節形状変形のイメージ



形態モデル全身のイメージ