平成１１年度経済産業省委託事業

高齢者製品設計支援システム等開発
（高齢者適合製品の設計技術開発）

成果報告書

平成１３年３月

社団法人
人間生活工学研究センター

目　次

1．はじめに ____ 1

2　成果報告 ____ 3

2．1　研究開発システムの全容 ____ 3

2．2　高齢者形態モデルの研究開発 ____ 6

2．2．1　研究開発のテーマと適用技術／アルゴリズム ____ 6

2．2．1．1　形態の再現技術 ____ 6

2．2．1．2　姿勢の変更技術 ____ 18

2．2．1．3　関節部の変形技術 ____ 26

2．2．1．4　生活姿勢の再現 ____ 29

2．2．1．5　質量の推定技術 ____ 42

2．2．1．6　視野の再現技術 ____ 44

2．2．2　研究開発システムの内容 ____ 49

2．2．2．1　開発システムの基本構造 ____ 49

2．2．2．2　実装機能 ____ 52

2．2．3　研究開発結果 ____ 55

2．2．3．1　モジュールの種類と機能 ____ 55

2．2．3．2　各モジュールの 処理フロー ____ 57

2．2．3．3　モジュールの詳細 ____ 58

2．2．3．4　モジュールの関係 ____ 67

2．2．3．5　利用イメージ ____ 71

2．3　高齢者動態モデルの研究開発 ____ 76

2．3．1　研究開発のテーマと適用技術／アルゴリズム ____ 76

2．3．1．1　基本動作の解析 ____ 76

2．3．1．2　基本動作の生成技術 ____ 88

2．3．1．3　動作の接続技術 ____ 106

2．3．1．4　負担の推定技術 ____ 108

2．3．2　研究開発システムの内容 ____ 133

2．3．2．1　開発システムの基本構造 ____ 133

2．3．2．2　実装機能 ____ 135

2．3．3　研究開発結果 ____ 137

2．3．3．1　モジュールの種類と機能 ____ 137

2．3．3．2　各モジュールの 処理フロー ____ 140

2．3．3．3　モジュール（クラス）の詳細 ____ 152

２．３．３．４　モジュール（クラス）の関係 １５６
２．３．３．５　利用イメージ １５９
２．４　高齢者用製品評価機能の応用事例研究 １７０
２．４．１　形態モデルシステムの応用事例研究 １７０
２．４．１．１　浴槽および浴室設備 １７０
２．４．１．２　椅子 １７２
２．４．２　形態モデルシステムの評価方法 １７４
２．４．２．１　ユーザビリティ評価 １７４
２．４．２．２　性能評価 １７５
２．４．２．３　精度評価 １７７
２．４．３　形態モデルシステムの評価結果 １７８
２．４．３．１　浴槽および浴室設備 １７８
２．４．３．２　椅子 １８８
２．４．４　動態モデルシステムの応用事例研究 １９６
２．４．４．１　浴槽および浴室設備 １９６
２．４．４．２　椅子 １９６
２．４．５　形態モデルシステムの評価方法 １９７
２．４．５．１　浴槽および浴室設備 １９７
２．４．５．２　椅子 １９７
２．４．６　形態モデルシステムの評価結果 １９９
２．４．６．１　浴槽および浴室設備 １９９
２．４．６．２　椅子 ２１０
３　研究場所 ２２２
４　研究体制 ２２３
５　おわりに ２２４

海外調査報告 ２２７
資料１　形態モデルシステム　操作説明書（概要版） ２３３
資料２　動態モデルシステム　操作説明書（概要版） ２７７
資料３　共通データ定義 ３４５

１．はじめに

本研究開発の目的は、高齢者の衰えた身体機能でも安心・安全・快適に利用できる設備や製品等の開発を支援するシステムの開発である。

我が国は、２０１５年には４人に１人が高齢者になるという、世界に類をみない急速な少子高齢化が進展している。高齢者が「寝たきり」や人的介護を伴う状況に至る場合、本人の身体的・精神的なダメージが大きいだけでなく、社会的コストの負担増も懸念されている。こうした「寝たきり」や人的介護を伴う高齢者の数をできる限り減らすためにも、高齢者が安心して自立し、活き活きと暮らすことをサポートするシステム及び製品を早急に開発・普及することが求められている。

現在、社団法人人間生活工学研究センター（ＨＱＬ）を中心とした公的機関において高齢者の特性計測が実施されている。高齢者の体型、動作、身体機能などの諸特性が計測され、これら特性データを格納したデータベースの構築も行われている。ここで得られたデータは、製品開発の１次指標として活用されている（ここで言う１次指標とは、たとえば、日本人の下肢長の平均は５０ｃｍだから椅子の高さを５０ｃｍとして設計する。この「５０ｃｍ」というような値を意味する）。しかし、高齢者の特性は多様であるため、高齢者に適合する製品は複数の１次指標を積み上げて設計しただけでは作り出せない。そこで多様な人間の特性情報を単に計測データからのみ得るのではなく、人間の構造のメカニズムを基礎にした人間モデルをコンピュータ上に生成し、製品との適合性をシミュレーションする技術、いわゆる「コンピュータ・マネキン」が不可欠である。

コンピュータ・マネキンでは、実際には計測していない状況での人間の状態を、理論上の計算で推定することが可能となる。実際の高齢者を被験者として雇わずとも、仮想的に発生させた高齢者の被験者によって、仮想世界の中で開発対象の製品の評価を行うことが可能である。これは実際の被験者を扱わないため、全く安全であることは言うまでもなく、同時に、非常に多くの高齢者を使った適合性試験が可能となる。

現在、多くの企業（大規模企業の約９割、中規模企業の半数以上、小規模企業の１／４強）がＣＡＤ(コンピュータによる設計支援システム)を利用して製品設計していることを踏まえれば、高齢者にも使いやすく安全な製品の普及のためには、これらＣＡＤと密接に連携して高齢者向け製品設計を行うことを可能とするシステムが重要である。このため、ＣＡＤ内に高齢者を再現するコンピュータ・マネキンを生成し、製品と高齢者の適合性を評価する技術を開発することが、本研究開発の目指すところである。

また、高齢者になると体型や姿勢の変化に加え、筋力、視覚、聴覚、触覚などが衰え、動作に

も様々な制約が生じる。今後、高齢者が無理なく日常生活を送れる環境を整備していくには、高齢者動作を再現可能なコンピュータ・マネキンの登場が期待される。そのため、高齢者の一連の動作を、対象物の変化（浴槽手すりの位置・椅子肘掛けの高さ等）に応じて再現する技術の開発も本研究開発の大きな目標である。

本書は、これらの研究開発の成果を報告するものである。

なお、本研究開発は経済産業省殿からの委託により実施されたものである。

2　成果報告

2．1　研究開発システムの全容

本研究開発では次の３つの技術を開発した。

①高齢者形態モデルの研究開発
②高齢者動態モデルの研究開発
③高齢者用製品評価機能の研究開発

以下、それぞれの内容を記述する。

①　高齢者形態モデルの研究開発

高齢者は若年者に比べ、その外観的形状や、関節の可動範囲などが異なっている。高齢者形態モデルは、この加齢に伴う形態の変化をコンピュータ上でシミュレーションする技術である。

①－１）形態の再現技術

加齢に伴い大きく変化する形態の要素を抽出し、これを再現する技術を開発する。そして、背中が曲がっている人、手足が非常に細い人、この両者を組み合わせた人、と言った、単に独立試行的な形態の再現ではなく、実際の人間について各要素間の関係を解析し、この結果に基づき、これらの要素を１体の人間モデルとして組み立てる。

①－２）姿勢の変更技術

①－１）で再現した人間モデルの、姿勢変更に伴う各部位の変化を再現する技術である。姿勢変更で重要となるのは関節の可動域である。関節可動域も加齢に伴い変化する。計測された個々の関節の可動域データ、その解析により得られた複数の関節間の可動域の関係（相関）などを考慮した姿勢変更技術を開発した。

①－３）関節部の変形技術

①－２）の姿勢変更に伴い肘や膝などの関節部の表面形状の変化を再現する技術である。このために、新たに個々の関節の屈曲に伴う表面形状の変化を３次元計測し、このデータを基にした変形推定技術を開発した。

①－４）生活姿勢の再現

①－３）までの技術により、人間の生活姿勢を再現する基本的な機能は満たされる。そこで、これに実際の姿勢データを入力し、日常の生活での姿勢を再現できるよう構成する。このため、新たに実際の日常生活姿勢を計測し、姿勢のデータベースとして本システムに組み込んだ。

①－５）質量の推定技術

後述する負担の推定のためには、人体の各部位に質量を持たせる必要がある。人体の各部位の質量バランス及び部位の重心は、既存の解剖学データを基にする。これと、計測された体重及び再現した形態モデルの各部位の体積の計算を基に、全体質量（生成した人間モデルの体重）または任意の部位の質量の推定を可能とする技術を開発した。

①－６）視野の再現技術

製品設計の中で、視野は安全性にも直接つながる非常に重要な要素である。人間が入力する情報の大部分は目からの情報であると言われている。高齢者は一般に下を向いていると言われる。それは姿勢（腰や背中が曲がっている）に起因するものと考えられる。加齢による視野の変化（狭窄、視点の変化など）を再現する技術を開発した。このことで、若年者であれば視野に入るものが、高齢者では入りにくい状況を、人間モデルが教えてくれる。

②　高齢者動態モデルの研究開発

加齢による影響は動作に強く現れる。筋力の低下により、まず、体を動す、運ぶという運動能力が低下する。さらに、持久力、敏捷性、平衡性も低下してくる。動態モデル開発の目的はこのような要因からくる安全性や身体的負担などを予測または推定することにある。

②－１）基本動作の解析

日常生活の中での動作を、歩く、座る、立ち上がる、これらの基本的な動作に分解し整理した。車椅子など、比較的日常的な福祉用具に関連した動作も含め各動作に関して計測を実施し、その計測データを基に、動作データベースを構築した。

②－２）基本動作の生成技術

②－１）で構築した動作データベースを基に、動作のシミュレーションを行う技術を開発した。動作は逆運動学の計算を行うことで生成する。ここでは、単なる計測データの再生ではなく、対象の製品の形状などに合った動作を計算及び生成することを目標とした。

②－３）動作の接続技術

椅子に向かって歩き、椅子の前で立ち止まり、向きを変えて、椅子に座る、といった複数の基本動作をつなぎ合わせて、一連の動作を生成する技術、言い換えると、動作と動作を補間する技術を開発した。

②－４）負担の推定技術

階段を上り下りする場合での膝に掛かる力など、動作に伴う人体各部位に掛かる力を計算する。任意の動作における、任意の部位に関して、これらの計算を可能とする技術を開発した。

③　高齢者用製品評価機能の応用事例研究

形態モデル、動態モデルにより、人間の諸特性を再現することが可能となる。次に必要となるのは設計された製品や設備と生成した人間モデルとの適合性を評価する機能である。評価機能は対象製品により異なる。ここでは、コンピュータ・マネキンの性能を評価するための応用事例研究として、具体的な高齢者に対応した製品を選び、その製品に関する適合性評価機能を組み込み、当該高齢者用製品の評価を行った。

③－１）高齢者対応製品の評価技術

健常な高齢者を対象とした製品の評価事例として、浴槽及び浴室設備を対象とした。この製品に関する評価ポイントを検討し、それを評価するための機能を組み込み、その評価機能を使って当該製品を評価した。

また、健康ではあるが、部分的な機能が著しく低下した高齢者が使用する製品として、車椅子を対象とした。同じく、車椅子に関する評価ポイントを検討し、それを評価するための機能を組み込み、その評価機能を使って当該製品を評価した。

２．２　高齢者形態モデルの研究開発

２．２．１　研究開発のテーマと適用技術／アルゴリズム

２．２．１．１　形態の再現技術

①寸法値の決定

形態の再現にあたっては、平成１１年度　国際特定共同研究事業「コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究」に示されているように、「身長」３種類（５、５０、９５パーセンタイル）×「胴囲」３種類（５、５０、９５パーセンタイル）の計９種類の体型を標準体型とした。

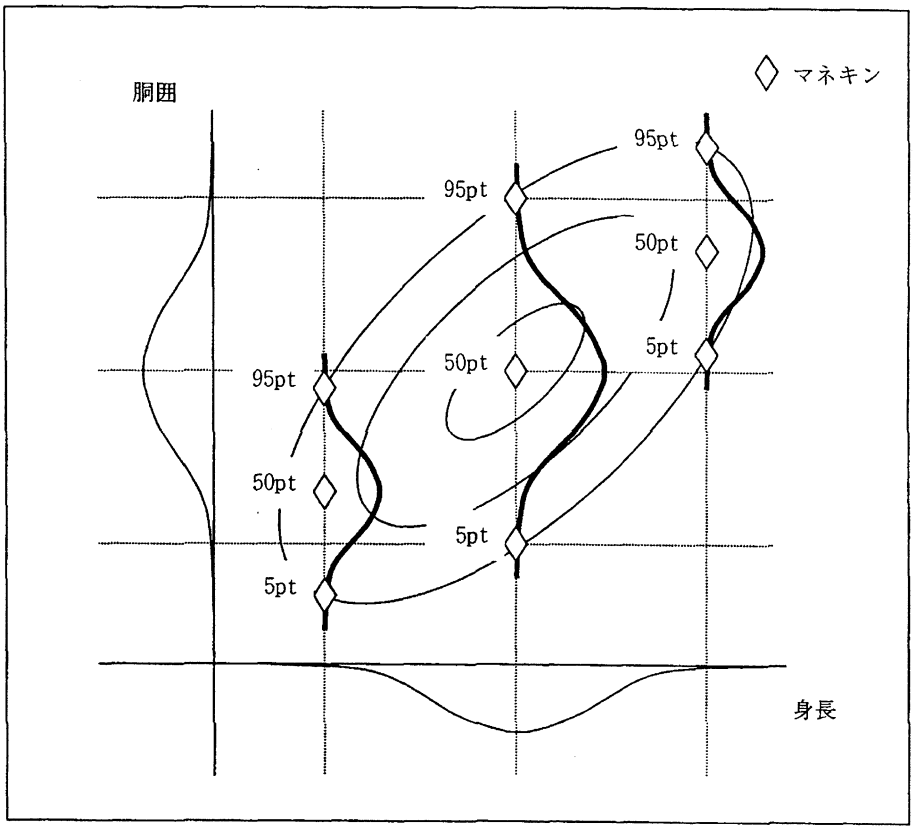


図 2.2-1　基本体型の考え方

そこで、社団法人人間生活工学研究センターが計測した人体計測データから、性別：男・女、年齢層：成人(18 歳～60 歳)・老人(60 歳～75 歳)・日本人(18 歳～75 歳)について、身長・胴囲のパーセンタイル(5%, 50%, 95%)に基づく９体型を表す寸法データを作成した。

次頁以降にその寸法値を掲載する。

表 2.2-1　基本体型の寸法値（高齢者男性）

高齢者男性

type	LL	LM	LS	ML	MM	MS	SL	SM	SS
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
胴囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9
サンプル数	16	17	8	20	40	19	3	28	14
年齢十進	68.90519	68.69176	75.95888	70.6715	71.13498	74.12453	73.67233	76.72046	76.55407
体重	76.11875	65.18824	49.9125	70.225	57.7075	44.4	58	51.53214	40.72857
全頭高	236.5	235.1176	240.875	234.3	229.8974	230.4211	224	222.3929	222.4615
頭頂・瞳孔高	109.2813	107.1353	118.15	108.8944	106.7316	109.2526	108.0333	103.0704	106.5538
頭頂・口裂高	187.7313	186.4059	195.475	183.2389	183.3282	185.3263	178.8	178.163	178.8769
顔高	128.8813	129.6	124.55	126.6222	125.885	123.1474	120.3667	122.4519	118.5643
眼・オトガイ高	127.2188	127.9824	122.725	123.4389	122.7436	121.1684	115.9667	119.2259	116.1857
頭長	192.625	189.9412	186.5	188.3	186.9	183.0526	184.6667	185.5357	179.2143
頭幅	159.25	158.5294	158	157.9	156.125	153.4737	150.3333	155.75	152.0714
瞳孔間距離	65.46875	65.11176	64.8125	65.41111	64.04615	63.56842	59.7	65.77407	60.86429
頭矢状弧長	305.8125	321.3529	297.125	301.5	301.05	291.7895	291	291.6071	284.7143
耳珠間頭頂弧長	373.25	381.8824	372.875	370.7	369.5	363.5263	362	357.5714	351.2857
頭囲	583.8667	575.8824	560.5	574.55	565.275	554.4737	554.6667	559.3214	541.5714
頸囲	396.0625	372	345.25	396.35	369.275	340.3684	379	364.4074	332.3571
身長	1693.438	1696.882	1688.75	1595.05	1590.375	1593.632	1483.667	1479.714	1474.286
眼高	1568.931	1565.529	1551.05	1476.111	1471.11	1477.284	1363.2	1361	1352.071
肩峰高	1387.475	1388.465	1377.35	1309.833	1295.593	1301.426	1196.533	1206.459	1199.607
肩峰幅	392.9	385.4	377.6	378.5389	363.2	341.0211	354.0333	343.5519	346.0643
肩幅	459.625	440.1765	410.625	441.4	417.3333	388.0526	421.3333	402.5357	385.0714
肘間幅	472.6875	437.2353	392.875	479.6	428.725	377.3684	484.3333	416.8214	371.6154
胸部横径	322.9375	303.5294	277.875	318.7	288.4	262.7368	297.6667	280.6923	259.1429
ウエスト幅	326.075	291.4824	243.525	319.9111	281.57	244.1	308.0333	277.5333	233.9857
ヒップ幅	346.55	341.1706	330.6	344.0556	330.855	318.4947	331.0333	328.0889	310.0857
胸部矢状径	220.75	206	178.375	222.8	207.25	182.8947	236.6667	204.3929	183.7143
胸部前後最大距離	265.1	242.5824	212.5	262.2722	243.36	214.8842	244.8	237.1593	203.6857
乳頭位胸囲	986.875	905.9412	807	963.8	884.35	774.4737	937	873.3571	764.4286
ウエスト囲	958.9375	815	664.875	961.55	816.15	650.2105	956.6667	819.4643	657.7143
座高	907.5333	917.7059	885.375	859.8	859.3	858.3684	792.3333	789.1071	792.6923
座位頸椎高	652.375	662.1176	634.375	624.2	617.975	612.3158	572.6667	565.8214	565.0714
座位肩峰高	607.25	610.4706	583.125	578.65	565.8718	566.2105	508	523.6071	525.3077
座位眼高	782.3533	794.6	760.9625	741.0056	743.659	747.8944	692.7333	683.1444	673.8429
座位肘頭下縁高	263.325	275.3294	259.225	256.7167	248.945	251.7333	234.1	224.7667	221.2214
座位大腿中央高	538.9938	533.2529	525.875	518.95	504.04	503.4444	482.7333	470.4889	467.9929
座面高	393.1	394.7235	409.5	379.1167	376.2975	390.0444	352.8667	343.5556	354.7
座位大腿厚	145.8938	138.5294	116.375	139.8333	127.7425	113.4	129.8667	126.9333	113.2929
座位臀・膝距離	582.125	566.1412	560.775	541.7611	534.905	528.7222	518.3667	515.9667	502.9154
座位臀・膝窩距離	466.6125	455.9824	456.4625	433.8944	431.2775	431.2278	418.4	417.363	411.3286
座位臀幅	368.5625	355.9412	325	365.45	347.95	310.3158	394.3333	326.4643	300.5714
座位腹部厚径（前腕水平）	298.2625	249.0882	211.2125	292.1556	247.41	211.3	280.5	252.1074	204.6857
上肢挙上指尖高	2085.667	2101.882	2100.875	1968.4	1956.025	1968.789	1827.667	1843.929	1824.917
橈骨点高	1068.938	1068.571	1062.238	1004.456	994.0475	1000.879	917.7333	920.3704	914.7214
肘頭下縁高	1046.625	1044.353	1041.125	986.65	975.8	976.8421	915.6667	901.7857	903.5714
指尖高	659.4938	655.3118	654.325	619.0111	610.04	608.4	553.2333	549.8778	547.9429
上肢長	734.3625	738.7353	731.6625	693.1	689.28	695.5368	645.7333	660.6037	655.5929
上腕長	324.65	325.3294	324.0875	307.1944	305.3425	304.2842	281.7	291.6667	291.5214
前腕長	249.3625	253.1	253.325	238.6056	236.2425	243.6105	219.5333	220.4037	222.2429
肩峰・肘頭下縁距離	343.925	335.1412	323.9	320.2278	317.0487	315.8778	273.9	298.937	302.7154
背・肩峰距離	107.3125	103.2353	97.425	111.1	103.2675	100.3944	113.8	105.6148	100.4929
背・指尖距離	851.1875	834.5294	819.75	805.6	795.9	792.5263	756.6667	783.0357	768.9286
肘・指尖距離	448.7063	449.8941	447.4125	430.4556	423.355	424.1333	388.4667	406.3778	396.0643
前腕最大囲	264.875	256.4118	224.75	256.5	241.95	220.5789	243	229.4286	213.7143
手長	185.45	184.8882	184.8125	179.4111	177.1077	176.6789	165.1667	171.8692	167.9692
手掌長	104.5188	103.9	102.4125	100.7778	99.41538	99.63158	92.3	97.01538	95.45714
手幅	78.25625	81.23529	76.85	79.40556	77.5	77.53158	79.86667	75.22222	73.58571
手首囲	175.6875	171.3529	160.875	173.75	165.025	157.9474	165	159.4643	155.0714
第2指長	71.2625	71.39412	73.1	69.37222	68.175	66.87368	61.06667	64.75926	64.76923
第2指近位関節幅	21.09375	20.52353	20.525	21.18889	20.415	20.53158	21.5	20.29231	19.35714
第2指遠位関節幅	19.025	18.78824	18.5625	19.03889	18.4125	17.85789	19.9	17.96154	16.97143
腸骨棘高	880.7125	897.3529	912.7	827.1389	834.1846	848.1	798.7	772.2074	795.1786
股下高	734.0625	747.0588	765.875	689.2	683.7	707.6842	619	647.5926	645.7857
脛骨上縁高	434.075	430.9706	425.0125	405.9833	405.395	413.8579	378.5333	377.0852	379.4857
下腿最小囲高	125.0188	120.4353	120.7	117.4833	118.0625	117.4789	107.2667	110.0296	113.9643
外果端高	47.0125	45.18235	44.425	44.5	44.2775	46.51579	39.43333	42.21852	40.56429
大腿囲	525.9375	500.2353	442.625	529.8	486.475	411.0526	508	465.9643	407.7143
下腿最大囲	374.5625	351.4118	311.5	366	333.75	296.4211	325	318.1786	292.5
足長	250.0625	249.7059	252.5	240.65	238.075	237.1053	223.3333	224.1429	226.5714
足幅（足軸直交）	102	100.2941	101	99.4	96.175	92.73684	93.33333	90.92857	93.07143

表 2.2-2　基本体型の寸法値（高齢者女性）

高齢者女性

type	LL	LM	LS	ML	MM	MS	SL	SM	SS
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
胴囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9
サンプル数	4	29	7	26	51	22	9	30	19
年齢十進	70.87825	66.64534	68.171	71.73342	69.91796	71.00874	70.22289	76.3706	78.53374
体重	68.425	56.42414	46.21429	61.6	51.07647	40.91818	56.2	45.64667	33.89474
全頭高	216.25	220.5517	227.8571	227.1154	219.0784	219.1364	218.6667	213.1333	209.9474
頭頂・瞳孔高	93.55	100.7966	109.2	110.512	102.2857	102.3955	107.6	100.2333	101.7526
頭頂・口裂高	168.075	174.3414	185.0286	182.452	174.8224	176.0636	174.6444	169.7033	170.8263
顔高	123.2	121.7586	119.5286	119.36	118.0551	117.4045	112.8556	114.5933	109.7053
眼・オトガイ高	122.7	119.7552	118.6571	117.168	116.8776	116.7409	111.0667	112.9	108.1947
頭長	180.5	177.6552	179.1429	182.8462	178.7451	178.3636	176	178.7667	174.9474
頭幅	153.25	151.7241	151.4286	150.0769	149.5294	147.4545	148.8889	146.6552	145.7778
瞳孔間距離	65.7	63.37586	61.08571	63.576	62.20408	61.56364	61.48889	62.12	59.81579
頭矢状弧長	305.25	296.3793	303.7143	294.7692	297.24	289	280.6667	287	283.0526
耳珠間頭頂弧長	371	369.5517	368.8571	361.2308	359.9804	362.2727	351.7778	347.3333	352.4737
頭囲	572.75	553.069	555.3333	561.4231	550.12	542.2727	547.3333	542.6667	528.8333
頸囲	353.25	341.6552	313.8571	359.6538	332.098	313	350.7778	328.0333	305.3158
身長	1585.25	1569.552	1582.857	1471.808	1471.98	1472.545	1378.667	1362.467	1360.947
眼高	1467.125	1451.452	1474.157	1352.344	1362.053	1358.8	1261.178	1256.61	1247.584
肩峰高	1286.1	1275.121	1292.4	1189.32	1190.21	1187.177	1111.25	1100.721	1092.047
肩峰幅	352.6	347.3172	326.1	349.244	330.9633	325.2273	332.9333	319.369	309.0737
肩幅	437.75	409.8276	372.1429	426.6154	392.902	365.1364	415.4444	379.2	343.8947
肘間幅	474.75	415.5517	360.2857	458.6154	414.5882	364.2727	454.6667	409.6	355
胸部横径	298.5	283.2414	267.1429	301.8077	278.7843	246.6364	292	263.9	230.1579
ウエスト幅	296.55	264.9276	222.1571	297.236	258.4082	221.3045	298.2875	259.9345	216.8632
ヒップ幅	362.075	343.0414	326.6	348.416	332.6469	314.1045	345.2375	326.7379	301.8053
胸部矢状径	227.5	196.5172	187.8571	224.1538	194.84	177.1818	228.5556	203.6333	180.3684
胸部前後最大距離	281.025	255.8931	225.5857	276.976	248.7063	219.9	292.7333	250.5733	205.2579
乳頭位胸囲	963.75	903.069	779.4286	987.2308	883.2157	759.5	996.4444	870.4333	724.4211
ウエスト囲	914.25	753.8621	624.4286	903.3462	752.5686	612.6364	906.4444	757.2667	612.9474
座高	847.75	843.931	853.1429	789.4231	797.6863	797.4545	747.4444	730.1	728.6111
座位頸椎高	611	602.8889	611.1429	566.3462	566.8627	565.6364	533.2222	514.5667	508.1667
座位肩峰高	560	556.1429	560.5714	515.0385	519.62	518.4091	484.3333	471.1667	469.7222
座位眼高	709.675	733.4241	741.8429	672.14	688.0653	688.7682	644.0778	629.1379	608.6474
座位肘頭下縁高	229.5	244.0103	247.2571	224.552	225.851	237.3591	213.8111	199.7724	203.7316
座位大腿中央高	483.625	493.3345	480.2714	469.62	461.7735	459.7091	435.6111	436.7207	433.7474
座面高	344.825	368.1414	368.4571	340.26	343.2776	351.4091	315.6889	321.0483	329.7579
座位大腿厚	138.8	125.1931	111.8143	129.36	118.4959	108.3	119.9222	115.6724	103.9895
座位臀・膝距離	567.225	544.469	532.5143	519.308	511.6714	500.4682	507.6556	495.0034	477.1316
座位臀・膝窩距離	469.85	448.0345	438.9143	426.332	423	410.3318	416.4556	409.0414	394.0105
座位臀幅	384.5	346.5517	331.1429	334.36	340.7255	320.0476	340.5556	327.0333	294.3158
座位腹部厚径(前腕水平)	323.275	260.531	226.6	296.9792	261.0939	213.4773	306.1222	263.7414	219.2263
上肢挙上指尖高	1969.75	1958.69	1947.714	1824.385	1819.725	1826.455	1713.625	1695.897	1693.438
橈骨点高	995.575	979.9897	1000.257	909.096	912.8102	915.9318	852.4222	838.09	830.9895
肘頭下縁高	975.75	965.6897	975.1429	898	894.3333	900.5455	835.2222	827.3	832.3158
指尖高	616.95	605.1862	623.9571	552.212	555.2735	555.3091	518.2222	497.4733	489.6889
上肢長	679	675.6621	675.5571	641.656	639.6082	639.3682	600.1778	607.9333	605.8278
上腕長	299.75	300.8862	299.5	285.548	283.0735	279.0545	266.5889	269.09	272.9053
前腕長	240.4	228.8483	216.6714	211.052	210.8776	215.9227	200.3333	199.8433	200.8
肩峰・肘頭下縁距離	330.5	311.1214	313.3143	289.968	293.6917	281.05	270.5222	270.9517	271.8278
背・肩峰距離	133.6	100.7172	103.4571	113.636	104.2163	97.02727	127.2	115.4621	104.9
背・指尖距離	799.25	781.6207	768.7143	764.2308	745.8039	731.9091	723.6667	733.1667	705.4706
肘・指尖距離	419.8	414.4931	408.3714	399.588	393.6755	390.7636	373.9333	376.469	370.9684
前腕最大囲	247.5	222.3103	209.1429	239	221.549	201.9091	235.8889	211.8	183.4211
手長	175.1	174.631	170.8857	167.2958	165.9837	164.6364	157.9889	160.2333	160.7211
手掌長	97.1	97.65517	97.11429	93.872	92.93469	91.21364	89.73333	89.14667	89.08947
手幅	75.4	73.18966	73.8	69.54583	70.6625	70.50455	75.35556	71.20345	65.86316
手首囲	163	156.6552	153.5714	161.7692	155.3725	147.7727	163	152.1333	139.8947
第2指長	66.95	67.87931	67.62857	65.00833	64.19592	64.96818	60.54444	62.48	62.17368
第2指近位関節幅	19.275	19.91379	19.15714	20	19.24898	18.99545	20.5	19.03667	17.74737
第2指遠位関節幅	17.2	17.7	17.02857	17.04583	17.06327	16.90455	17.35556	17.34	16.2
腸骨棘高	821.25	825.6	851.8714	789	774.9735	790.5727	720.9375	728.6586	733.4158
股下高	714	700.4483	714.1429	635.9231	646.0196	646.4091	584.6667	594.069	602.1053
脛骨上縁高	407.45	394.6069	406.2286	378.424	363.4429	368.4727	336.9	343.5138	343.2947
下腿最小囲高	102.275	106.8483	106.7	101.732	103.1347	101.8591	96.8375	95.35862	95.03158
外果端高	36.775	42.75517	41.18571	39.104	38.38163	40.25909	36.63333	36.54667	36.95789
大腿囲	532.25	514.1429	461.2857	538.0769	498.3725	448.7727	517.2222	473.2	411.8947
下腿最大囲	366	309.2414	318.5714	356.5769	328.5294	297.5909	332.2222	311.8667	269.3684
足長	241	232.1379	232.5714	222.7692	220.1765	218.2273	215	211.5667	211.0526
足幅(足軸直交)	98.25	92.31034	94.71429	94	91.27451	89.13636	91.66667	89.8	85.57895

表 2.2-3　基本体型の寸法値（成人男性）

成人男性

type	LL	LM	LS	ML	MM	MS	SL	SM	SS
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
胴囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9
サンプル数	93	206	69	185	443	234	72	212	92
年齢十進	33.6083	27.69491	24.00252	40.27683	33.35342	26.02412	46.22489	42.74303	30.03512
体重	89.03763	71.78107	59.49855	79.03892	64.73183	55.13932	70.68889	57.9783	50.29891
全頭高	244.6593	241.6456	240.4058	239.7459	234.4218	233.1795	230.9583	228.7264	228.4945
頭頂・瞳孔高	116.3761	116.3404	116.7735	114.7995	112.3592	113.0639	109.6465	109.2914	110.8573
頭頂・口裂高	192.3477	192.7364	193.4044	190.671	187.6907	188.307	183.6592	183.2818	184.3978
顔高	129.0733	125.9177	124.1368	125.3743	121.9334	120.0965	121.5437	119.8823	117.7367
眼・オトガイ高	128.2367	125.4475	123.8	124.9601	121.8617	120.1035	121.1704	119.455	117.5967
頭長	192.3846	189.9854	188.8696	189.0378	187.1084	186.4274	186.25	185.4623	183.413
頭幅	164.3152	161.5756	160.5942	162.7027	160.5624	158.412	159.9583	158.3302	157.3187
瞳孔間距離	67.58111	66.20758	65.7913	66.26721	65.4181	64.97401	65.55915	64.70957	63.73222
頭矢状弧長	325.5054	319.6942	319.2754	314.9081	314.7517	314.3419	311.9583	307.9716	308.8791
耳珠間頭頂弧長	390.7849	382.922	381.2319	382.6757	378.5869	374.6266	371.875	369.1043	367.587
頭囲	593.3656	584.1366	577.2029	586.2162	577.0993	570.5365	574.5211	569.5849	561.9891
頸囲	405.6022	375.6553	355.029	398.8859	370.1991	351.4979	396.7361	364.9717	345.7826
身長	1796.677	1793.786	1793.087	1687.827	1687.598	1688.568	1580.375	1582.142	1581.859
眼高	1667.736	1665.309	1664.123	1563.001	1564.84	1564.301	1461.465	1464.976	1460.469
肩峰高	1473.599	1464.974	1466.522	1376.536	1372.55	1369.354	1288.915	1280.499	1275.26
肩峰幅	409.9233	401.3576	388.2014	398.594	390.6634	383.0387	378.8296	369.5514	368.9689
肩幅	493.1124	466.0195	440.2754	474.0649	449.181	430.7082	454.75	431.9104	416.1957
肘間幅	497.1477	447.0683	407.2206	487.1547	435.9025	402.3419	472.5972	431.1571	399.2198
胸部横径	345.0989	318.2585	296.4928	334.0984	308.0587	290.8718	320.7639	299.1896	279.5978
ウエスト幅	326.2744	282.4237	251.3783	318.0549	277.5629	245.8487	311.0634	271.7447	239.9167
ヒップ幅	371.08	352.7525	337.3754	355.2321	338.7935	326.4633	341.3732	326.713	312.9044
胸部矢状径	226.5714	197.1659	181.3333	223.6	192.2851	176.4316	216.6389	191.2877	174.1099
胸部前後最大距離	264.7967	234.2152	212.2377	260.1802	230.6658	211.3568	253.7183	227.5938	208.7256
乳頭位胸囲	1028.409	915.9466	834.087	997.1359	896.1018	828.794	967.1389	880.9052	813.913
ウエスト囲	942.6022	779.8883	671.8551	936.973	778.1738	669.188	934.4444	779.1557	668.5
座高	960.3478	955.1214	951.6087	909.1622	909.4457	906.8504	856.9306	861.1274	858.4565
座位頸椎高	697.5699	689.9272	684.1594	658.7622	651.8488	648.4077	620.8056	615.7915	609.3261
座位肩峰高	647.6129	633.5146	632.8406	607.2649	599.6772	594.1325	571.9861	565.91	558.663
座位眼高	835.8944	828.7823	826.158	790.6283	789.3423	787.1397	744.0239	749.2483	740.9189
座位肘頭下縁高	290.9822	280.9944	284.7246	277.8967	269.8224	266.0969	263.1606	257.6593	253.58
座位大腿中央高	579.4222	573.3015	564.4145	539.3315	535.9182	532.6562	502.5239	495.9636	497.96
座面高	421.4889	427.2551	433.2348	386.938	395.7451	403.3093	354.6887	358.8177	369.4289
座位大腿厚	157.9333	146.0465	131.1797	152.3935	140.1731	129.3469	147.8352	137.1459	128.5311
座位臀・膝距離	600.7318	591.5538	574.9529	565.8967	559.2007	549.681	533.5592	522.8938	521.3289
座位臀・膝窩距離	483.2256	478.0303	470.3696	453.4685	453.0499	446.908	428.9423	423.7005	423.2511
座位臀幅	389.6333	360.6569	339.7353	377.6304	347.6122	332.1897	358.9722	335.1943	317.1758
座位腹部厚径（前腕水平）	271.3011	224.3667	202.7957	276.2694	225.5131	202.3044	276.3127	232.3612	203.1022
上肢挙上指尖高	2238.424	2229.762	2224.471	2093.081	2093.376	2092.116	1949.817	1956.132	1951.359
橈骨点高	1145.78	1135.832	1133.842	1069.012	1062.343	1058.497	997.0761	990.9134	986.0089
肘頭下縁高	1124.62	1114.16	1112.957	1047.178	1041.228	1037.897	976.9028	970.4976	968.337
指尖高	715.6756	707.3187	706.4855	665.4967	658.0937	651.9802	621.138	613.8947	606.4854
上肢長	767.3422	765.8431	763.1348	718.935	720.2309	721.2758	673.4563	671.7636	674.1674
上腕長	335.7678	335.0616	334.3609	313.2279	314.4814	313.396	295.8366	293.034	292.9822
前腕長	269.9689	269.8263	270.2304	252.6792	251.8279	255.5361	233.1563	232.9627	234.2556
肩峰・肘頭下縁距離	356.5067	352.4197	348.1159	329.5272	329.9416	328.3412	308.1634	308.3288	305.2311
背・肩峰距離	117.0034	114.5421	106.1926	115.1055	104.9728	102.2973	110.6732	101.3866	100.6544
背・指尖距離	878.3871	862.7805	850.2353	834.4	818.1558	810.2586	786.5694	776.6651	767.7609
肘・指尖距離	472.1522	469.168	466.671	442.2207	440.6893	441.665	416.4042	413.5852	414.09
前腕最大囲	277.663	256.534	238.6957	272.7705	251.2754	236.2094	265.3056	247.4076	234.956
手長	193.12	191.3959	189.7014	183.1236	181.493	181.5621	173.7915	173.0617	171.9944
手掌長	109.8756	108.3877	106.5377	104.1088	103.1531	102.3824	99.79718	98.53684	97.81444
手幅	83.02444	81.9359	80.12609	81.41429	79.48956	77.95947	78.73521	77.28278	75.99556
手首囲	176.3333	167.3902	160.8261	172.4286	162.9615	156.3004	166.0556	159.1232	153.8261
第2指長	73.86222	73.62462	74.44203	69.71989	69.70302	70.23789	65.42113	65.93014	65.84111
第2指近位関節幅	20.83556	20.01897	19.95507	20.51264	19.76721	19.23717	20.21831	19.72201	19.10889
第2指遠位関節幅	18.56556	17.90462	17.43333	18.03297	17.36209	17.07168	17.62817	17.43684	16.95333
腸骨棘高	937.1211	960.8803	957.7014	874.2315	887.2594	892.5823	805.2	820.2428	825.3133
股下高	801.7957	807.2976	813.7681	736.0707	747.6018	755.7564	678.9859	686.3868	695.0652
脛骨上縁高	459.1178	457.8929	454.613	427.5076	423.552	422.269	393.7986	393.8827	389.1244
下腿最小囲高	128.63	125.951	126.5696	122.556	120.9657	119.8093	116.4746	115.4346	114.9889
外果端高	50.47667	49.50505	47.87391	47.95574	46.06279	45.28222	45.24085	43.33636	42.46556
大腿囲	604.0215	554.5583	490.2174	576.0216	534.2421	488.6094	552.3611	511.4198	481.7826
下腿最大囲	409.7527	378.7463	343.4348	396.3641	365.3341	339.859	381.6806	351.7972	336.1304
足長	264	262.6049	260.5217	248.0486	246.4018	244.8419	231.4583	233.3774	230.9348
足幅（足軸直交）	103.2111	100.0583	97.15942	99.07065	96.37557	93.85897	94.4507	93.87678	91.35165

表 2.2-4　基本体型の寸法値（成人女性）

成人女性

type	LL	LM	LS	ML	MM	MS	SL	SM	SS
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
胴囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9
サンプル数	32	172	31	131	354	188	118	117	58
年齢十進	32.10656	22.92219	23.02913	44.04053	27.53365	23.24897	50.71792	37.31654	28.8791
体重	68.9875	55.59884	48.49677	63.65954	51.33023	44.85745	56.76525	46.20855	39.94138
全頭高	225.1875	226.8187	224.871	223.1221	221.0989	219.1915	216.2991	211.6667	212.431
頭頂・瞳孔高	105.6871	111.2781	110.5516	105.2867	107.804	107.4835	101.9322	100.527	104.0086
頭頂・口裂高	177.6839	183.8337	183.1129	177.3039	178.9023	177.9968	171.5887	169.7919	172.4466
顔高	119.3484	115.5535	112.7839	117.893	113.0251	111.4415	114.7983	111.1228	108.6103
眼・オトガイ高	119.3452	115.61	114.3194	117.7289	113.2701	111.708	114.5845	111.2781	108.4224
頭長	181.5	180.6667	177.871	179.1298	178.7131	177.1064	178.2881	175.0261	174.4138
頭幅	153.5938	153.3392	152.871	154.2538	153.0932	151.5319	151.1186	149.4615	149.375
瞳孔間距離	62.86129	63.33118	62.87097	63.21406	62.63846	61.38032	61.75603	61.03652	60.11034
頭矢状弧長	305	305.1053	300.9355	296.687	301.5398	300.2663	293.8348	294.7826	293.9138
耳珠間頭頂弧長	375.4375	368.5349	367.3871	369.6031	365.6299	361.5	360.7607	356.7179	355.0517
頭囲	572.125	565.6667	557.5484	563.3385	559.2479	552.4731	552.6017	546.1466	543.2241
頸囲	341.375	317.6628	303.5806	344.1692	315.2712	299.4521	342.7627	310.1026	297.1207
身長	1659.656	1664.029	1663	1567.405	1568.356	1567.59	1462.839	1464.085	1461.397
眼高	1534.841	1538.619	1534.632	1450.11	1447.378	1445.575	1350.924	1353.041	1344.793
肩峰高	1354.463	1355.072	1352.539	1273.08	1267.904	1263.137	1183.96	1179.973	1173.81
肩峰幅	370.1563	358.6276	352.0613	357.1806	346.5526	343.6138	340.1241	331.36	328.95
肩幅	448.625	407.386	389.9333	433.6336	400.8523	381.6738	417.3898	385.4569	368.6207
肘間幅	443.9688	382.4211	347.8065	449.2698	384.983	350.3529	442	381.5439	349.069
胸部横径	304.375	278.1047	264.7419	298.5846	272.983	258.8457	289.3966	264.4017	247.8793
ウエスト幅	279.0938	231.4706	209.2226	278.3597	230.6719	208.4601	273.4621	228.3557	205.819
ヒップ幅	358.0875	338.3088	323.6774	350.3039	332.2241	317.984	336.6474	323.5548	310.7517
胸部矢状径	194.4375	168.3372	161.3871	201.1908	168.847	156.6183	198.5897	170.2991	155.8448
胸部前後最大距離	261.8563	224.25	209.8839	262.076	224.9316	208.392	261.4776	223.74	203.5632
乳頭位胸囲	952	829.0698	784.1613	949.5846	826.6186	769.1604	937.7288	815.069	754.3966
ウエスト囲	794.6563	649.0291	579.871	799.1374	648.4237	577.0798	803.4661	649.2564	575.2069
座高	890.125	892.7849	892.3871	849.1603	850.4237	849.7754	803.0085	804.094	800.7241
座位頸椎高	643.2813	637.5	635.2903	607.2154	603.1102	601.4439	572.8103	567.913	563.8103
座位肩峰高	591.9677	585.8779	586.871	560.7231	554.1356	551.4574	529.7863	524.0172	516.1207
座位眼高	770.675	770.3066	767.929	736.2612	730.7963	729.0246	696.8313	693.0186	685.0569
座位肘頭下縁高	271.9125	263.9592	265.8677	258.0535	250.5077	251.7968	248.1983	238.7079	237.9707
座位大腿中央高	526.0719	517.3402	509.5581	494.6659	485.4631	480.2745	461.4017	455.9974	444.3948
座面高	385.0188	389.4959	391.7742	358.2279	359.6315	362.3851	330.675	334.2947	330.4948
座位大腿厚	141.0531	127.8444	117.7839	136.438	125.8315	117.8894	130.7267	121.7026	113.9
座位臀・膝距離	570.0531	554.5833	540	540.6008	529.902	519.7452	507.2517	496.5211	486.2103
座位臀・膝窩距離	468.1156	459.316	450.1742	442.4713	436.4864	429.5574	412.6845	409.8281	401.1793
座位臀幅	375.9375	350.4561	335.0645	365.0231	342.4164	328.2849	346.7179	331.0965	315.8909
座位腹部厚径(前腕水平)	250.2188	208.7876	185.5516	263.6791	210.3045	189.0989	270.6922	216.7202	191.2638
上肢挙上指尖高	2053.031	2046.233	2050.742	1935.55	1924.555	1919.07	1801.839	1792.735	1783.483
橈骨点高	1052.413	1047.441	1048.981	987.4961	981.2702	980.1883	914.9543	912.1661	905.2483
肘頭下縁高	1031.406	1028.436	1033.484	968.1603	963.3446	964.0802	899.8729	895.7265	893.2241
指尖高	662.1419	655.6135	657.7	613.9868	608.5776	610.4505	569.7431	567.3383	563.1897
上肢長	702.3226	702.8747	696.5774	666.3225	663.9966	657.2846	619.3534	618.5087	613.6439
上腕長	310.9594	309.7282	304.4516	291.6411	290.0551	285.75	272.9224	272.1496	269.7053
前腕長	241.3742	245.5171	242.5161	229.6047	229.3284	228.2963	207.7241	208.0044	208.5362
肩峰・肘頭下縁距離	321.0258	321.887	321.0032	303.1438	303.6571	299.6606	281.6183	285.4673	278.15
背・肩峰距離	105.3813	92.16864	77.87742	108.0147	91.85824	84.58138	105.2336	88.20965	84.30862
背・指尖距離	805.4063	784.0233	770.4839	770.7176	747.3994	738.0638	726.8814	709.8376	694.7931
肘・指尖距離	430.4906	425.1899	420.4613	407.5047	402.623	400.3266	381.8776	375.9	373.7948
前腕最大囲	244.6563	218.5058	202.7419	239.7	217.4153	203.0851	233.2034	212.5385	199.8103
手長	176.0097	175.9651	173.7	169.5103	167.6888	167.1814	161.6586	158.4391	156.4293
手掌長	98.83871	98.70059	96.76452	95.56772	94.15584	93.69362	91.22672	89.24696	88.05345
手幅	75.30968	72.69412	70.86129	73.60236	70.53875	69.52128	70.94828	68.96696	66.54655
手首囲	155.9333	148.8187	142.6129	156.5954	144.5382	140.1176	151.4746	142.0769	135.3333
第2指長	68.24667	69.38698	69.28387	65.98651	66.07179	65.8	63.08609	61.69565	61.4
第2指近位関節幅	18.82903	17.84379	16.95161	19.6063	17.91254	17.19734	19.0181	17.97739	17.08793
第2指遠位関節幅	16.37742	15.42959	14.71613	16.98889	15.49915	14.94468	16.73276	15.62696	14.51034
腸骨棘高	886.1781	892.9077	892.6567	826.9394	832.8509	832.6106	761.7548	766.2574	763.1879
股下高	754.8438	760.1404	764.5806	695.9771	703.0678	706.8503	633.9407	642.547	644.6552
脛骨上縁高	415.8161	417.5183	412.61	390.4157	388.8012	386.9931	359.399	358.6619	355.1404
下腿最小囲高	112.1219	111.1059	112.7516	106.531	105.7801	104.9527	101.3552	99.52087	101.181
外果端高	41.76875	41.70059	42.12903	41.52636	40.03125	40.72181	39.12672	37.65217	38.21897
大腿囲	586.0313	533.0116	487.6452	561.2824	525.0876	486.9681	534.7863	508.3162	467.8966
下腿最大囲	385.2813	352.2294	329.2903	368.7538	343.0028	325.5668	349.9237	328.5726	313.931
足長	240	238.0116	235.7419	228.8855	226.1926	224.1968	215.1017	212.4522	210.0862
足幅(足軸直交)	93.6129	90.30233	88.09677	92.38168	87.89174	85.64706	88.22881	85.17699	83.59259

表 2.2-5　基本体型の寸法値（男性）

全男性

type	LL	LM	LS	ML	MM	MS	SL	SM	SS
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
胴囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9
サンプル数	94	236	84	197	479	265	97	216	95
年齢十進	33.94882	28.76627	24.26988	42.93454	34.2252	26.72412	62.29225	55.7342	50.71609
体重	89.12553	71.66907	59.3369	78.66193	64.63507	54.44755	66.75417	55.28611	46.92105
全頭高	244.4239	241.3136	240.3095	238.5888	234.2905	234.0151	229.1856	226.4398	226.1613
頭頂・瞳孔高	116.1378	115.9281	116.7578	113.4747	112.3384	114.0898	108.5113	106.5153	107.9283
頭頂・口裂高	192.0844	192.4636	193.4349	189.1361	187.6063	189.498	183.467	181.1586	182.5359
顔高	129.2033	125.8667	124.0084	125.8758	122.034	119.8254	122.3278	121.09	119.4096
眼・オトガイ高	128.3478	125.4974	123.688	125.1129	121.837	119.9063	120.6742	119.5182	118.2809
頭長	191.8478	190.0763	188.8571	189.264	187.0835	186.4377	186.6701	184.9306	183.1895
頭幅	163.8925	161.8376	160.4762	162.3655	160.1862	158.2205	157.7604	156.4047	154.3191
瞳孔間距離	67.81413	66.20088	65.8	66.42113	65.23632	65.02266	64.05258	64.45095	62.60957
頭矢状弧長	323.1383	319.2966	319.5714	313.2335	314.7724	313.6415	305.4742	301.5833	300.3404
耳珠間頭頂弧長	390.2447	382.8638	380.8214	380.9391	378.1169	373.6679	366.7938	364.1907	359.8842
頭囲	592.3191	583.8766	576.8095	585.9848	576.2902	569.9924	569.7526	563.5648	554.0737
頸囲	406.3404	375.9153	354.869	399.3469	369.9561	350.4129	393.6186	362.0698	341.5263
身長	1793.255	1790.932	1789.417	1682.406	1681.775	1682.423	1557.526	1555.875	1547.253
眼高	1665.652	1662.36	1660.264	1559.306	1558.827	1557.629	1437.121	1438.553	1427.97
肩峰高	1470.903	1462.054	1462.563	1373.049	1367.607	1365.123	1269.513	1260.588	1251.002
肩峰幅	411.0196	402.0395	388.7905	397.3826	388.8002	380.9047	368.5474	362.7643	357.633
肩幅	494.3444	465.5106	439.6667	473.5685	448.5597	428.2755	441.5876	420.5163	404.0211
肘間幅	497.5393	446.9191	407.253	486.1641	436.8473	400.0604	472.4742	423.4112	390.828
胸部横径	344.1739	317.6851	295.369	332.841	307.5283	288.3864	311.0729	290.2664	270.0316
ウエスト幅	327.3533	282.7421	251.3167	319.7421	278.1457	245.3656	309.9784	272.6194	239.5766
ヒップ幅	371.6739	351.8154	337.1048	354.8574	338.5991	325.032	338.3896	325.4175	311.6926
胸部矢状径	226.0217	197.1404	181.4643	223.9797	192.7694	175.8409	219.3402	194.8333	181.3053
胸部前後最大距離	265.1098	233.7193	211.8964	261.8809	231.0483	209.8961	255.3546	229.6108	210.3681
乳頭位胸囲	1029.074	915.4576	836.5	997.8673	896.2343	823.6226	956.1031	869.8704	800.2
ウエスト囲	945.8191	781.6441	672.0714	941.4924	780.8539	668.1019	938.5361	781.6898	669.0632
座高	959.3656	954.3686	949.7024	905.9592	907.3013	902.6113	840.3196	844.293	835.0753
座位頸椎高	697.5745	689.1907	682.9405	655.5635	650.3048	644.2386	608.2316	603.1628	591.9255
座位肩峰高	648.766	633.6102	631.2976	604.2893	598.499	590.9962	557.375	554.3519	544.172
座位眼高	835.6054	828.8627	824.581	788.2933	787.3037	782.6741	729.7155	735.1241	721.2851
座位肘頭下縁高	291.5946	281.8561	284.1833	276.6677	270.1731	265.2133	252.7165	250.6212	242.2628
座位大腿中央高	579.2717	571.6544	563.6619	536.8826	534.5133	530.7789	499.5309	488.2382	486.2021
座面高	421.0217	426.4044	432.5119	384.5446	394.4224	401.4121	357.1619	356.3123	365.1585
座位大腿厚	158.25	145.25	131.15	152.3379	140.091	129.3668	142.3691	131.9259	121.0436
座位臀・膝距離	600	589.5076	573.8735	567.5236	557.005	549.2313	528.7577	518.6024	513.7817
座位臀・膝窩距離	482.3913	476.6868	469.2988	454.2015	450.9467	446.729	424.2392	419.4632	418.633
座位臀幅	390.3956	360.9871	340	375.4031	349.174	329.4867	360.1895	333.7222	316.1474
座位腹部厚径（前腕水平）	272.4989	224.8649	203.6488	280.0092	227.2948	201.5906	281.5299	235.8236	204.6564
上肢挙上指尖高	2235.419	2226.102	2219.566	2087.25	2085.434	2084.515	1922.326	1920.926	1909.846
橈骨点高	1143.127	1134.509	1130.22	1064.78	1058.68	1055.16	978.0629	971.2741	964.3138
肘頭下縁高	1122.344	1112.428	1110.964	1042.462	1038.056	1034.36	960.3299	952.9537	947.0421
指尖高	712.7717	706.4838	703.9167	661.1751	654.9609	650.1047	602.5313	598.2656	586.5097
上肢長	768.1967	764.1419	761.856	719.234	718.2752	719.0346	670.424	666.7099	667.8161
上腕長	336.5533	333.9101	334.2333	313.6871	313.0699	312.7451	294.7134	293.1425	290.4872
前腕長	268.3326	269.7833	268.6036	250.9345	250.5838	254.0747	229.1969	229.3429	232.4074
肩峰・肘頭下縁距離	356.8402	351.6702	347.1143	328.0656	328.4333	325.9117	304.8479	303.6854	301.5978
背・肩峰距離	117.689	113.1031	107.853	113.7856	105.7591	101.9778	115.0639	101.5429	100.1892
背・指尖距離	876.9894	861.417	849.1084	833.3147	814.4331	806.8106	785.5729	777.0972	775.2842
肘・指尖距離	471.4714	467.8194	466.0548	441.7677	438.8	439.4219	413.3557	409.7028	408.1021
前腕最大囲	278.2796	256.8602	238.6786	271.8872	251.1192	235.1849	258.0625	241.1636	226.766
手長	192.862	191.0969	189.6881	183.233	181.1156	180.9184	173.6278	172.259	172.3011
手掌長	109.588	108.2396	106.625	104.3464	102.955	101.8773	98.68763	97.93491	97.2828
手幅	83.4337	82.01244	80.1369	81.28247	79.36317	77.4957	78.46289	76.7981	75.77419
手首囲	176.7021	167.3489	160.6071	172.3402	162.6324	156.2113	167.6186	159.9486	154.7263
第2指長	73.84457	73.42222	74.23571	69.63368	69.39313	70.11797	65.78866	65.64976	66.58804
第2指近位関節幅	20.81413	20.05467	19.8381	20.50722	19.86524	19.24784	20.56907	20.01226	19.35591
第2指遠位関節幅	18.55978	17.96044	17.39405	18.06443	17.43863	17.04588	18.19381	17.83868	17.28817
腸骨棘高	934.037	958.0754	954.169	871.7605	883.3112	891.3523	799.5489	808.3009	814.5479
股下高	799.1064	804.6314	811.6786	733.2908	742.4456	752.5132	668.2421	674.8233	679.9053
脛骨上縁高	457.7087	456.636	451.8274	427.0544	421.7056	420.3977	393.6526	388.2213	386.9468
下腿最小囲高	128.6326	126.0974	126.119	121.9051	119.9004	119.4355	115.4443	113.7512	115.0436
外果端高	49.96739	49.39868	47.84881	47.76495	46.03547	45.15686	43.71443	43.15	41.79892
大腿囲	604.734	553.5975	491.0476	572.7817	533.7782	485.75	530.2268	491.1157	453.1596
下腿最大囲	410.0851	378.4511	342.8072	394.0765	365.6221	337.8264	364.9691	339.0648	319.0532
足長	263.8696	261.8638	259.9167	247.6294	245.6785	244.3849	230.7708	232.0324	230.5745
足幅（足軸直交）	102.8478	99.98729	96.78571	99.03571	96.22594	93.83396	95.5	94.12558	91.97872

表 2.2-6　基本体型の寸法値（女性）

全女性

type	LL	LM	LS	ML	MM	MS	SL	SM	SS
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
胴囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9
サンプル数	23	215	40	105	387	217	206	116	44
年齢十進	34.03165	23.65151	22.80223	52.08539	30.27339	24.18945	70.27334	58.91299	44.18077
体重	74.13478	56.31628	48.4525	64.54095	51.57054	44.42212	54.44806	43.26983	37.84091
全頭高	224.7826	226.8558	224.95	223.4327	220.8312	218.0645	218.6634	211.4569	212.2273
頭頂・瞳孔高	105.2227	110.3906	111.2125	104.848	107.2055	106.7747	104.1575	99.6	103.1333
頭頂・口裂高	176.5619	183.2877	183.68	176.9586	178.3711	177.0571	174.6765	169.6857	171.5116
顔高	119.4091	116.4783	112.625	119.3287	113.4146	111.1272	115.9856	113.0214	109.6116
眼・オトガイ高	119.3227	116.4208	113.7375	118.4	113.6337	111.2899	114.4841	112.1838	108.8429
頭長	180.9565	180.3738	177.4	179.9524	178.2254	176.9167	179.1893	174.913	174.3864
頭幅	156.7826	153.9812	153.65	153.9619	152.3773	151.4931	148.8341	148.3362	148.2791
瞳孔間距離	63.6	63.47123	63.0475	63.27723	62.37807	61.34055	61.73632	60.97143	60.43333
頭矢状弧長	308.3182	303.4579	298.45	296.8667	299.5248	298.1215	289.9806	289.0957	290.0227
耳珠間頭頂弧長	375.4348	370	366.55	370.4286	363.4545	361.2627	355.6068	354.2069	352.9318
頭囲	576.6087	566.1792	556.525	562.3714	557.5144	551.75	549.1756	539.7845	539.2727
頸囲	357.2609	320.1628	304.2	350.1635	315.9121	299.6111	345.4286	313.5431	301.2045
身長	1653.565	1661.14	1660.325	1557.152	1557.984	1558.659	1425.35	1430.509	1434.068
眼高	1527.3	1536.616	1532.818	1439.567	1438.252	1436.421	1313.802	1319.642	1319.784
肩峰高	1356.087	1352.458	1350.828	1265.17	1259.692	1254.286	1153.065	1152.003	1151.784
肩峰幅	374.9652	359.6844	352.845	359.8412	344.3358	342.8051	336.5532	324.4688	322.2907
肩幅	458.8261	409.7103	390.641	437.5333	400.1974	381.2074	406.9655	376.5776	360.7273
肘間幅	462.3043	386.5047	349.975	461.2451	389.2592	351.3889	440.2732	377.0431	350.8409
胸部横径	311.3043	280.3615	266.25	300.7404	272.3091	258.0046	285.6569	255.0609	246.5227
ウエスト幅	290.9136	235.7118	210.2475	286.4186	234.001	208.7272	279.1106	231.1451	205.9279
ヒップ幅	365.9739	340.8042	324.38	350.8412	332.9727	317.9313	338.2195	319.1195	306.493
胸部矢状径	206.9565	169.5327	159.65	207.9714	172.8446	155.7373	215.0441	176.5086	158.0227
胸部前後最大距離	276.9087	228.1462	209.125	271.951	227.4326	207.3816	268.712	222.6637	200.7585
乳頭位胸囲	978.6522	836.9256	780.85	966.7788	833.4599	764.3442	944.5561	799.9741	734.2045
ウエスト囲	846.6957	658.493	582.5	831.5619	656.4315	578.8479	841.3301	657.7845	576.1591
座高	894.3478	891.4233	890.8	843.0476	844.4238	847.375	769.7864	777.7826	777.7045
座位頸椎高	652.3043	639.1349	635.375	605.4038	598.9093	600.2917	549.561	549.25	544.9545
座位肩峰高	598.3478	585.3163	586.425	559.0777	550.4234	550.1751	504.4829	504.2456	499.7674
座位眼高	770.5826	768.6507	766.18	727.6127	727.593	726.4187	664.3065	670.7304	667.6
座位肘頭下縁高	275.6783	263.9858	264.49	254.0539	249.7836	249.6419	223.0881	225.0283	226.1419
座位大腿中央高	524.587	517.2038	511.285	490.248	483.1888	478.288	453.3886	447.5805	440.9628
座面高	374.2087	388.1137	393.4525	352.4765	356.9738	360.8037	332.0925	330.108	333.0302
座位大腿厚	150.3783	129.0901	117.8325	137.7716	126.2151	117.4843	121.296	117.4726	107.9326
座位臀・膝距離	575.2739	556.9529	538.9026	542.301	529.7486	516.8041	504.5811	492.6434	486.3767
座位臀・膝窩距離	466.2783	459.3557	449.145	442.5912	434.8974	427.229	411.3353	405.4283	401.914
座位臀幅	383.5217	352.229	333.75	368.0476	341.6501	325.2269	343.0829	320.087	308.7619
座位腹部厚径(前腕水平)	262.85	210.8406	185.87	277.2529	214.9821	189.318	288.3199	229.1912	199.1186
上肢挙上指尖高	2040.217	2042.558	2048.425	1929.657	1913.614	1907.551	1767.886	1767.027	1754.568
橈骨点高	1051.878	1045.023	1046.863	980.0892	973.7696	970.7438	885.209	886.0106	886.1571
肘頭下縁高	1025.826	1026.079	1030.925	961.9429	956.1714	956.9861	870.6068	872.1913	874.1591
指尖高	657.9174	654.1467	653.3725	607.602	604.5595	603.2922	539.126	540.6726	546.5357
上肢長	706.2391	702.3604	698.375	666.5108	660.2473	655.259	620.1475	615.8257	610.0537
上腕長	311.8913	310.1038	303.9625	293.2578	289.7374	285.9848	274.1545	271.2566	269.4341
前腕長	240.1565	244.6363	242.21	227.7186	227.7753	224.6406	205.4845	206.8115	205.7786
肩峰・肘頭下縁距離	322.6696	321.25	321.935	305.437	300.7715	300.5332	281.582	278.8342	275.8024
背・肩峰距離	115.7261	93.4316	80.82564	110.4716	92.65312	86.43687	114.8224	99.08673	85.73256
背・指尖距離	810.7391	784.2186	772.35	772.2571	746.8912	735.7696	741.3024	718.7565	698.2273
肘・指尖距離	435.2261	425.5283	421.025	408.4431	400.214	397.1548	384.4294	375.4451	370.8163
前腕最大囲	254.8696	220.6215	203.375	241.0769	217.6873	202.125	228.2341	206.8522	195.2273
手長	177.7	175.3318	174.32	169.028	166.983	165.5449	162.013	158.8036	157.7786
手掌長	100.15	98.21462	97.2125	94.74158	93.86136	92.96343	91.215	88.96339	88.35476
手幅	77.33182	72.56132	71.5225	73.6901	70.69504	69.28426	70.74925	69.92	66.4
手首囲	162.3636	148.9202	142.675	158.781	145.2031	139.2744	157.165	144.5862	136.3182
第2指長	68.97619	69.23128	69.335	65.956	65.40522	64.99352	62.77487	61.74911	62.42857
第2指近位関節幅	19.07727	17.91517	17.165	19.76238	18.08616	17.18	19.32587	18.75536	17.53571
第2指遠位関節幅	16.81818	15.71327	14.7525	17.224	15.64961	14.89488	17.09055	16.32679	14.93333
腸骨棘高	882.9957	889.9398	892.0744	821.0206	825.6771	825.5249	750.1176	756.6204	759.1233
股下高	749.1739	757.229	765.65	686.7238	696.553	700.4769	618.5294	629.6379	634.0227
脛骨上縁高	411.981	417.1675	412.3846	388.4021	385.7235	382.3664	356.1702	354.8589	353.5558
下腿最小囲高	111.7435	110.7623	110.95	106.2186	105.1836	104.5157	99.113	97.64602	99.11163
外果端高	42.63913	42.3533	42.255	40.77157	40.28987	40.26037	38.123	36.64513	38.65952
大腿囲	608.2174	537.1581	488.525	558.0857	525.5452	485.2166	505.561	476.4741	450.8182
下腿最大囲	394.3913	353.7934	331.35	365.4175	344	324.0833	333.1019	311.0603	302.0227
足長	239.3913	237.7944	235.725	229.0571	224.5974	222.6204	216.6602	211.8534	209.4318
足幅(足軸直交)	94.13043	90.65581	88.125	93.42857	87.92987	85.28241	90.28431	86.35088	83.39024

②人間らしい表面形状の再現

自由曲面を持ち変形可能な表面形状をＣＡＤ上にて表現するにあたり、一般にはサーフェイスモデルを用いることが多いが、寸法制御の必要があることから、下図に示すようなスティックモデルにリングをアタッチする方式を採用することとした。

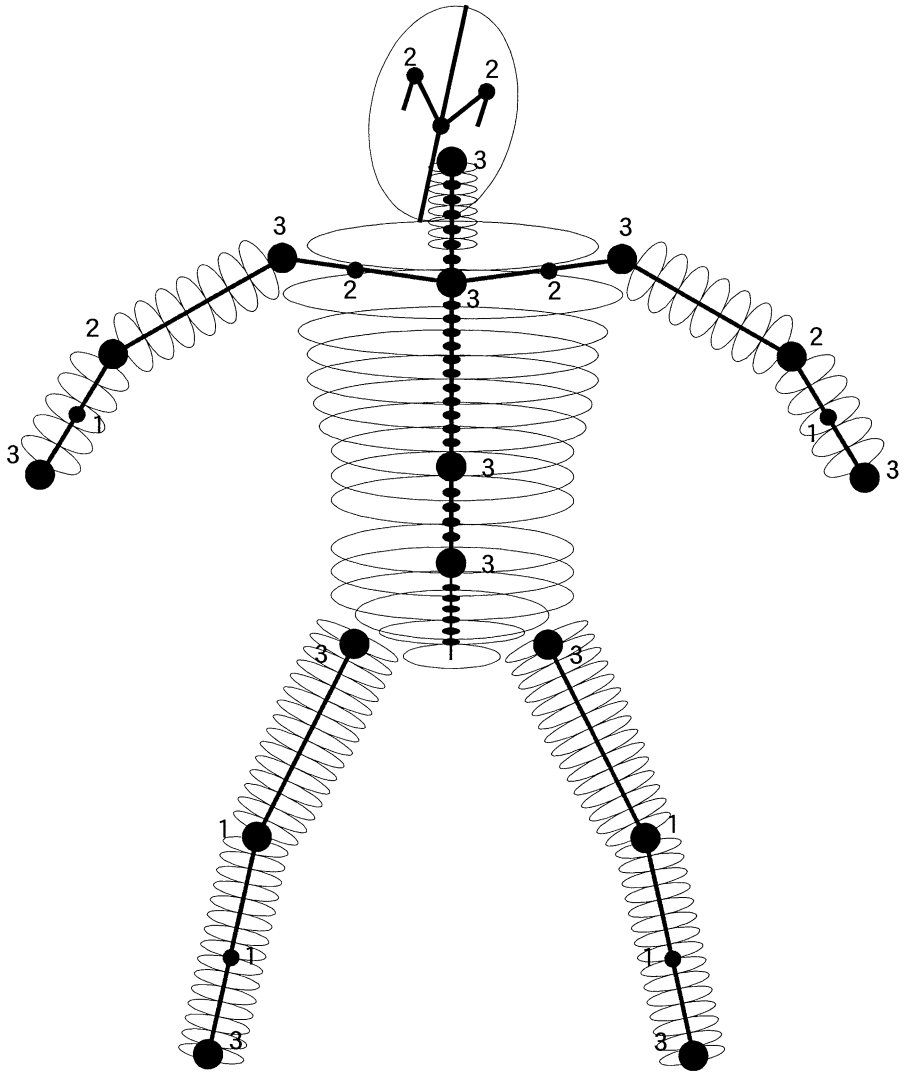


図 2.2-2　形状データの持ち方

表面形状は、このリングをポリラインで接続することで表現するのであるが、人間らしい形状を表現するには、リングの直径とスティックの通過位置を決定する必要がある。

リングの直径については、市販の人体形状データ（高齢者男性・女性、成人男性・女性）を３次元モデリングツールに取り込みこの人体モデルをスライスすることで直径を決定した。

スティックの通過位置については、解剖学の教科書に示された写真データから求めた。

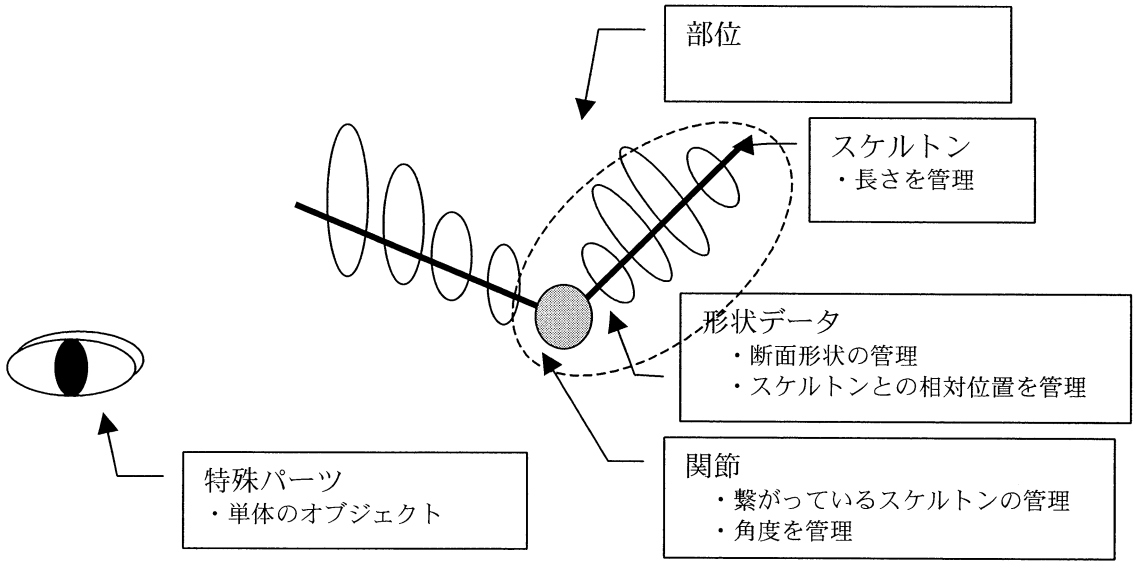
③形態モデルの決定

表面形状の表現方法の決定を踏まえて、形態モデルは次の表に示す要素から構成することとした。

すなわち形態モデルは、「関節」「スケルトン」「形状データ」の情報を持つデータ（これを**「部位」**と呼ぶ）で構成する。また、上述データ（部位）を特定の単位でセットにした「パーツ」や、最初からオブジェクトとして作成されている「特殊パーツ」もある。

表 2.2-7　形態モデルを構成する要素

関節	スケルトンとスケルトンをつなぐデータを持つ。つながっているスケルトンの角度情報を保持しているので、姿勢制御の役割を担う。
スケルトン	スケルトン自身の長さを持っているので、スケルトンの大きさ決定の役割を担う。
形状データ	断面形状でデータが保持されており、表面形状の表現・物体との干渉・肉付けの機能を担う。
パーツ	「関節」「スケルトン」「形状データ」で構成されたものである。
特殊パーツ	単独のオブジェクトとして存在する。



形態モデルの構造は下図に示す通りである。各関節に与えられた数字は、関節の自由度を表す。モデル全体では、関節は１２７個、自由度は２１３である。

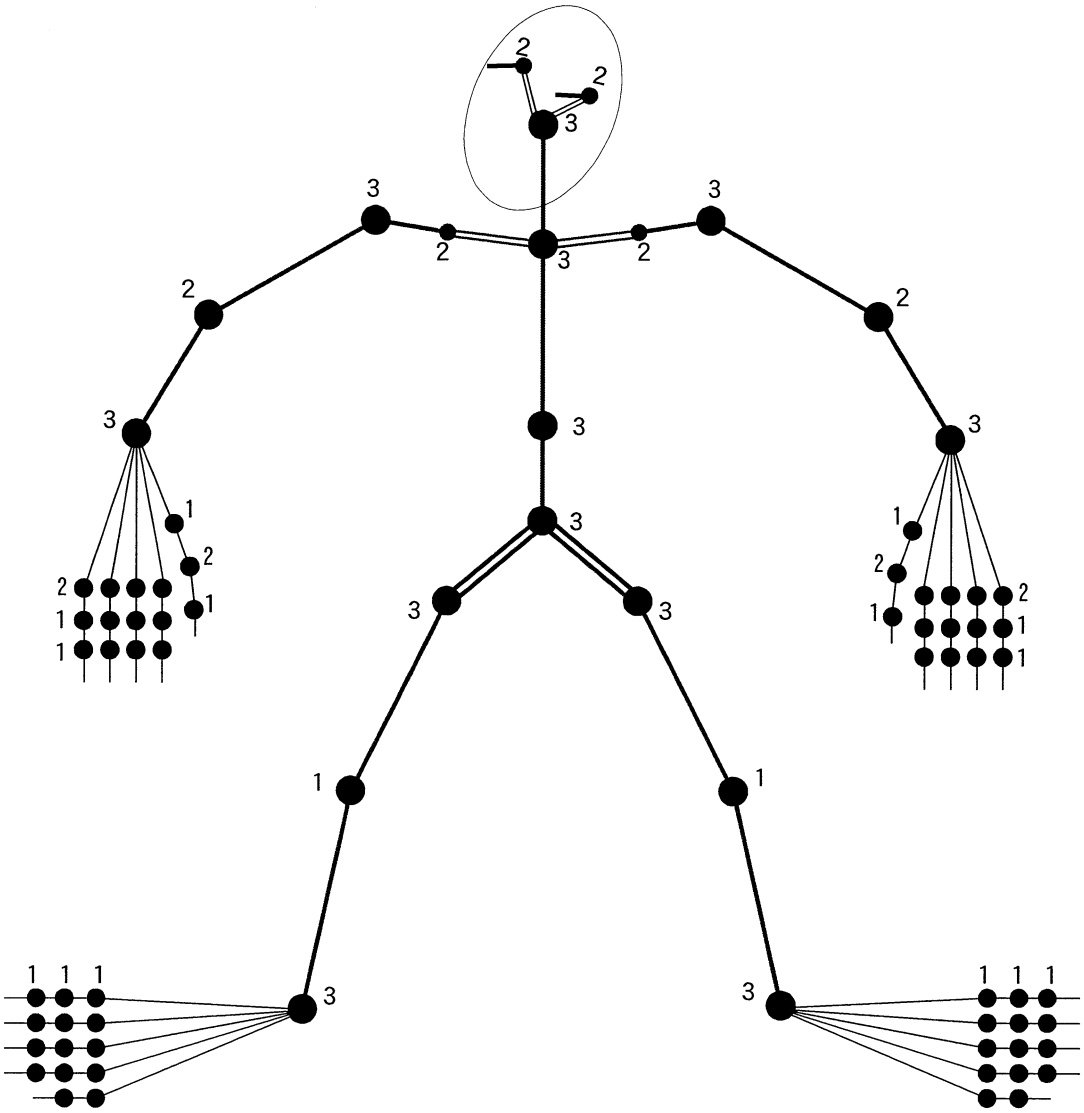


図 2.2-3　形態モデルの構造（関節、スケルトン）とその自由度

次頁以降、各構成要素のデータ項目について示す。

表 2.2-8　関節のデータ項目

データ項目	備考
名前	関節の識別名称
スケルトン連結情報	どのスケルトンと繋がっているか
関節点連結情報	親・子情報
回転角	スケルトンの同士のなす角
相対座標値	位置情報
回転角制限	稼動範囲の制限情報
端点フラグ	関節か端点かの情報
回転角採用フラグ	自由度により採用される回転角の採用情報
回転角採用フラグ（IK 用）	インバースキネマティクス時に採用される回転角の採用情報
リンクフラグ	関節位置の決定方法 －　スケルトンにより決定 －　他の関節により決定か
トルク	評価時の荷重情報
仮想関節フラグ	
固定点フラグ	姿勢制御時に固定点となるかの情報
表示フラグ	
選択フラグ	GUI からの選択フラグ
その他予備フィールド	項目増加・特殊な性質用
力の向き	加えられる力の向き
視野角	視野の範囲
荷重制限	荷重に耐えうる制限値

表 2.2-9　スケルトンのデータ項目

データ項目	備考
名前	スケルトンの識別名称
スケルトン連結情報	親・子情報
関節点連結情報	どの関節と繋がっているか
長さ	
断面情報	
断面フラグ	断面を持つか持たないか
相対座標位置オフセット	始点・終点
表示フラグ	
選択フラグ	GUI からの選択フラグ
その他予備フィールド	項目増加・特殊な性質用
荷重制限	荷重に耐えうる制限値

表 2.2-10　形状データのデータ項目

データ項目	備考
名前	形状データの識別名称
断面連結情報	親・子情報
スケルトン連結情報	どのスケルトンに属するか
スケルトンからの相対位置	
点群/スプライン情報	断面の形状
断面回転角	スケルトンとの回転角
表示フラグ	
選択フラグ	GUI からの選択フラグ
その他予備フィールド	項目増加・特殊な性質用
色情報	

表 2.2-11　部位またはパーツのデータ項目

データ項目	備考
名前	部位の識別名称
関節構成情報	含まれる関節
スケルトン構成情報	含まれるスケルトン
形状データ構成情報	含まれる形状データ
部位の繋がり情報	部位同士の親子関係
重心位置	
質量	
慣性モーメント	インバースキネマティクスに関しての慣性モーメント情報
表示フラグ	表示・非表示・ロボット表示...等
スイープフラグ	部位同士の繋ぎデータ情報
選択フラグ	GUI からの選択フラグ
その他予備フィールド	項目増加・特殊な性質用
色情報	色・テクスチャ情報

２．２．１．２　姿勢の変更技術

①年齢ごとの関節可動域の決定

関節可動域については、総合リハビリテーション８巻１号１９８０年１月「各年代における健康人の関節可動域について」（ｐ41～ｐ56 岡部とし子、渡辺英夫、天野敏夫）に示された数値を採用することとした。

次頁以降に参考とした数値を示す。

表 2.2-12　年齢別関節可動域

	肩関節屈曲 ▲180°							肩関節伸展 ▲50°							肩関節外転 ▲180°							肩関節内転 ▲0°						
	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定
	n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.	
新生児	32	171°	2.4	30	173°	2.6		32	86°	2.7	30	87°	2.9		32	181°	1.9	30	181°	3.0		32	0°	0	30	0°	0	
～4カ月未満	26	172	3.3	31	173	3.5		26	82	4.4	29	85	3.1		25	177	2.2	31	177	2.6		26	0	0	31	0	0	
4～8 〃	34	179	3.2	20	174	3.3	★	34	80	4.6	20	79	8.4		34	180	3.3	20	178	4.0		34	0	0	20	0	0	
8～12 〃	19	177	2.2	26	176	4.2		19	83	5.2	24	83	4.1		19	179	3.7	26	177	4.3		19	0	0	26	0	0	
1歳代	36	179	2.2	28	181	2.6		36	83	2.4	28	84	1.9		36	180	2.6	28	183	2.7		36	0	0	28	0	0	
2 〃	31	182	1.6	26	178	2.9	★	30	91	2.7	26	88	2.5		31	188	2.2	26	186	3.4		34	0	0	26	0	0	
3 〃	36	178	2.0	27	181	3.3		36	87	3.3	27	89	4.9		36	187	2.2	27	186	3.3		36	0	0	27	0	0	
4 〃	36	178	1.5	22	181	2.7	★	36	86	2.8	22	87	2.2		36	185	3.3	22	188	2.0		36	0	0	22	0	0	
5 〃	23	180	1.2	36	182	1.9		23	86	3.8	36	92	3.5	★	23	187	3.1	36	190	1.8		23	0	0	36	0	0	
6 〃	21	181	1.3	32	179	1.7		21	88	3.1	32	90	3.2		21	191	2.6	32	189	2.3		21	0	0	32	0	0	
7 〃	31	180	2.2	27	179	1.6		30	86	4.3	27	87	2.5		31	187	2.7	27	192	2.6	★★	31	0	0	27	0	0	
8 〃	32	179	2.2	22	183	2.7	★	32	85	3.6	20	91	6.0		32	192	2.8	22	196	3.5		32	0	0	22	0	0	
9 〃	28	179	2.7	26	183	2.1	★	28	86	2.6	26	87	3.2		28	192	1.8	26	191	1.9		28	0	0	26	0	0	
10～15歳未満	39	178	1.8	22	183	2.0	★★	38	78	2.9	21	84	4.4	★	39	190	3.0	22	190	2.7		39	0	0	22	0	0	
15～20 〃	38	174	2.4	28	181	2.2	★★	38	68	3.2	28	78	3.4	★★	38	191	2.8	28	191	3.2		38	0	0	28	0	0	
20～30 〃	30	172	3.2	28	180	1.7	★★	30	74	3.2	28	75	3.6		30	190	3.2	28	188	2.6		30	0	0	28	0	0	
30～40 〃	28	177	1.9	28	176	3.2		28	68	4.8	28	80	3.3	★★	28	188	1.4	28	190	2.8		28	0	0	28	0	0	
40～50 〃	28	175	2.3	30	174	3.3		28	64	4.9	30	77	3.9	★★	28	184	2.3	30	186	2.8		28	0	0	30	0	0	
50～60 〃	28	176	2.7	27	174	3.2		28	62	4.8	27	67	3.0		28	181	3.1	27	184	3.2		28	0	0	27	0	0	
60～70 〃	20	166	3.4	22	163	4.5		20	66	3.9	22	71	3.9		20	173	5.5	22	176	6.2		20	0	0	22	0	0	
70～80 〃	48	159	3.6	48	161	3.5		48	64	3.4	48	74	3.9	★★	48	169	4.7	46	173	3.9		48	0	0	46	0	0	

表 2.2-12　年齢別関節可動域（続き）

	肩関節外旋 ▲90°							肩関節内旋 ▲90°							肩関節水平屈曲 ▲135°							肩関節水平伸展 ▲30°						
	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定
	n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.	
新生児	32	130°	6.3	30	139°	7.7		32	87°	1.6	30	88°	1.9		32	118°	6.3	30	120°	3.8		32	79°	4.9	30	83°	4.0	
～4カ月未満	26	129	5.1	31	124	4.9		26	70	5.7	31	74	7.1		26	119	5.6	31	125	5.0		26	81	4.3	31	80	4.5	
4～8 〃	34	120	8.5	20	121	5.9		34	79	5.3	20	77	9.5		32	123	4.9	18	119	7.9		30	79	5.0	18	84	5.4	
8～12 〃	19	122	5.0	26	125	7.4		19	81	4.0	26	84	4.6		19	132	6.2	24	135	3.4		19	84	5.1	24	80	5.5	
1歳代	36	114	5.1	28	119	5.2		36	85	4.5	28	96	4.7	★★	36	143	2.7	28	139	4.5		36	85	3.2	28	83	4.6	
2 〃	34	118	7.0	26	119	5.2		33	86	5.4	26	81	6.3		34	146	1.9	26	148	2.5		34	89	4.0	26	87	2.9	
3 〃	36	114	4.4	27	119	3.5		36	92	4.7	27	90	6.3		36	145	2.2	21	142	5.2		36	90	4.0	21	92	6.0	
4 〃	36	107	6.0	22	111	6.9		36	92	4.2	22	86	6.5		34	145	1.8	22	145	2.7		34	89	3.5	22	87	3.2	
5 〃	23	117	6.1	36	121	4.4		23	79	4.9	36	84	4.4		23	147	1.6	36	148	1.4		23	86	4.4	36	92	2.0	★
6 〃	21	116	5.7	32	113	4.7		21	77	7.4	32	82	4.4		21	145	2.1	30	150	1.7	★★	21	84	3.5	30	89	2.5	★
7 〃	29	107	4.4	27	108	5.3		31	91	3.8	27	87	6.1		29	148	2.4	27	144	2.0	★	30	83	6.9	27	88	2.3	
8 〃	32	115	6.8	22	120	7.1		32	80	5.3	22	96	1.0	★★	32	148	1.8	20	147	2.8		32	79	7.1	20	89	4.2	★
9 〃	28	110	5.8	26	109	5.7		28	89	4.5	26	94	4.0		28	144	3.2	25	148	2.7		28	81	6.5	26	83	7.2	
10～15歳未満	35	114	6.1	22	108	5.2		37	85	5.0	22	91	5.0		36	147	2.0	20	148	3.5		36	79	5.0	20	82	7.9	
15～20 〃	38	107	3.0	28	117	4.6	★★	38	80	2.2	28	90	2.9	★★	38	143	1.7	28	137	2.4	★★	38	66	4.4	28	74	6.4	★
20～30 〃	30	112	4.7	28	111	4.3		30	78	3.3	28	84	3.9	★	30	136	4.3	28	134	4.2		30	75	4.5	28	64	7.1	★★
30～40 〃	28	106	3.8	28	108	4.4		28	84	4.0	28	86	3.2		28	136	2.9	28	138	4.3		28	57	7.0	28	80	4.7	★★
40～50 〃	28	101	4.4	30	103	4.8		28	83	4.4	30	83	3.2		28	131	5.3	30	130	3.9		28	52	7.5	30	70	5.5	★★
50～60 〃	28	98	4.3	27	103	3.6		28	83	3.2	27	89	3.0	★	28	125	3.4	28	128	3.9		28	59	7.3	28	70	4.7	★
60～70 〃	14	88	3.9	16	97	5.5	★★	14	82	5.4	14	71	7.0	★★	20	128	3.0	21	129	4.8		20	49	12.5	19	57	10,8	
70～80 〃	42	85	5.3	32	97	3.5	★★	42	62	4.7	30	69	7.2		44	128	3.0	46	133	3.1		46	45	7.8	46	70	6.8	★★

n：測定数　　x̄：平均値　　C.I.：信頼区間　　t検定：★ p＜0.05　★★ p＜0.01　　▲：学会による正常値

表 2.2-12　年齢別関節可動域（続き）

	肘関節屈曲 ▲145°							肘関節伸展 ▲5°							前腕回内 ▲90°							前腕回外 ▲90°						
	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定
	n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.	
新生児	32	157°	1.4	30	158°	1.6		32	−15°	2.0	30	−12°	1.8		32	90°	2.7	30	91°	3.8		32	87°	1.7	30	84°	2.3	
～4カ月未満	26	151	3.8	31	149	2.2		26	− 5	2.7	31	− 6	2.7		23	92	2.8	31	92	2.3		23	82	4.1	31	80	4.5	
4～8 〃	32	147	3.1	20	150	2.7		32	0	1.9	20	0	1.7		32	93	3.0	18	91	4.8		32	82	3.6	18	84	3.7	
8～12 〃	19	148	4.3	26	148	1.4		19	0	1.5	26	1	2.5		19	90	3.8	26	91	2.9		19	87	3.8	26	84	3.0	
1歳代	36	149	1.8	28	151	1.5		36	3	1.4	28	3	1.5		36	95	3.8	28	96	2.9		36	89	2.0	28	90	2.3	
2 〃	33	151	1.5	26	153	1.8		31	5	1.4	26	5	1.7		33	93	3.0	26	94	3.4		34	91	1.3	26	95	3.0	★★
3 〃	36	151	1.9	27	150	2.1		36	6	1.7	27	6	2.0		36	92	1.4	27	93	2.7		36	92	2.1	27	90	3.5	
4 〃	35	151	2.5	22	153	1.5		35	5	1.5	22	10	1.9	★★	35	91	1.3	22	92	3.3		35	92	1.5	22	91	1.2	
5 〃	23	149	2.9	36	156	1.4	★★	23	4	1.8	36	9	1.8	★★	21	89	3.2	36	91	1.2		21	92	1.9	36	93	1.1	
6 〃	21	152	2.9	32	153	1.7		21	6	1.7	32	9	2.3		21	91	1.5	32	90	1.4		21	93	2.1	32	92	1.3	
7 〃	30	151	2.7	27	151	1.3		30	8	2.2	27	9	1.7		30	90	0.8	25	89	1.6		30	94	2.0	25	92	1.4	
8 〃	32	151	1.5	22	153	1.4		32	9	1.6	22	12	2.7	★	32	90	0.8	22	91	1.9		32	93	1.4	22	95	2.3	
9 〃	27	153	1.5	26	153	2.7		27	9	2.6	26	12	1.2		28	91	1.7	26	92	1.9		28	96	5.3	26	96	5.2	
10～15歳未満	41	150	2.2	24	152	2.5		40	9	1.9	24	8	2.3		38	89	1.6	22	91	2.1		38	92	2.8	22	95	2.8	
15～20 〃	38	149	1.2	28	146	2.3	★	38	4	1.1	28	10	1.9	★★	38	87	1.7	28	91	2.4	★★	38	93	1.4	28	101	3.9	★★
20～30 〃	30	149	1.4	28	145	2.7	★	30	5	1.4	28	11	2.2	★★	30	87	2.0	28	86	2.0		30	94	1.4	28	99	1.8	★★
30～40 〃	28	143	2.7	28	150	1.5	★★	28	6	1.7	28	8	2.2		28	87	1.7	28	89	4.0		28	93	1.7	28	96	1.6	★
40～50 〃	28	145	2.3	30	148	1.7		28	4	1.9	30	6	2.1		28	83	2.6	30	87	1.9	★	28	93	2.1	30	95	1.8	
50～60 〃	28	144	3.2	28	148	1.9	★	28	4	1.5	28	7	2.2	★	28	83	2.7	28	83	2.1		28	90	9.1	28	92	1.9	
60～70 〃	20	139	7.2	22	145	4.1		20	− 5	2.9	22	− 5	3.6		19	86	3.8	22	86	3.2		19	88	2.8	22	91	1.5	
70～80 〃	47	137	4.4	48	145	2.7	★★	47	− 8	3.3	48	− 2	2.4	★★	47	87	2.8	46	87	1.9		47	88	1.8	46	91	1.6	

n：測定数　　$\bar{x}$：平均値　　C.I.：信頼区間　　t検定：★ P <0.05　★★ P <0.01　　▲：学会による正常値

表 2.2-12　年齢別関節可動域（続き）

	手関節背屈 ▲70°							手関節掌屈 ▲90°							股関節屈曲 ▲125°							股関節伸展 ▲15°						
	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定
	n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.	
新生児	32	84°	2.5	30	82°	2.7		32	96°	2.6	30	96°	1.9		32	120°	0	30	120°	0		32	−26°	2.8	30	−25°	2.9	
～4カ月未満	26	83	2.9	31	82	3.0		26	89	2.9	31	92	2.0		30	136	4.4	32	140	2.8		30	−12	4.3	32	−11	5.4	
4～8 〃	32	84	2.6	20	84	4.9		32	89	2.8	18	88	3.6		34	135	3.3	20	138	4.9		34	− 5	3.1	20	− 3	5.4	
8～12 〃	19	89	3.0	26	89	2.3		19	85	3.6	26	89	1.6	★	19	141	5.3	26	136	2.9		19	− 1	5.6	26	6	4.7	
1 歳 代	36	86	2.1	28	91	1.4	★★	36	89	1.5	28	91	1.9	★	36	141	2.6	28	142	4.0		36	16	2.5	28	13	3.2	
2 〃	33	89	1.4	26	87	1.8		34	92	1.4	26	91	2.6		33	142	3.0	24	146	3.6		33	21	2.2	24	22	3.5	
3 〃	36	91	2.5	27	88	2.8		36	93	2.2	27	93	3.1		34	142	2.3	25	139	2.9		32	25	2.1	25	19	3.3	★★
4 〃	36	89	1.4	20	90	2.3		36	91	1.8	20	95	2.0	★★	35	143	2.3	22	142	5.4		35	22	3.2	22	25	3.1	
5 〃	23	88	2.1	36	88	1.8		23	90	3.4	36	93	1.3		22	143	4.2	35	145	3.5		22	24	3.0	35	24	3.4	
6 〃	21	89	1.4	32	88	1.5		21	94	3.0	32	91	1.9		19	144	3.2	31	151	2.5	★★	18	24	2.7	31	24	2.9	
7 〃	30	92	1.1	27	88	2.1	★★	30	94	2.4	27	91	1.4	★	28	145	2.9	27	141	2.6		26	26	1.9	27	26	2.5	
8 〃	32	87	2.4	22	90	2.0		32	93	2.2	22	96	2.4		30	142	2.8	20	143	2.7		30	26	3.2	20	26	2.1	
9 〃	28	92	2.6	26	92	2.9		28	93	2.8	26	97	6.8		27	144	2.9	26	147	2.7		27	24	2.3	26	28	2.8	★
10～15歳未満	41	86	2.5	24	88	2.8		41	91	2.2	24	90	3.0		39	139	2.7	24	143	1.8	★	39	25	1.4	24	27	2.2	
15～20 〃	38	78	3.1	28	88	3.5	★★	38	89	2.2	28	100	3.6	★★	38	134	1.8	28	133	2.5		38	18	1.7	28	23	2.5	★★
20～30 〃	30	83	3.2	28	85	2.4		30	93	2.6	28	95	2.0		30	129	3.4	28	136	2.8	★★	30	14	2.6	28	16	1.9	
30～40 〃	28	82	3.0	28	76	4.3	★	28	89	2.3	28	90	2.4		28	130	2.9	28	130	3.6		28	15	2.2	28	16	2.4	
40～50 〃	28	78	3.7	30	73	3.1	★	28	87	3.1	30	87	2.7		28	130	3.0	30	131	3.2		28	13	2.9	30	11	2.7	
50～60 〃	28	80	3.3	27	82	2.5		28	85	3.0	37	88	2.3		28	130	2.6	28	133	1.2	★	28	11	1.9	28	15	2.7	★
60～70 〃	20	75	4.6	22	73	6.3		20	75	3.3	22	75	3.7		20	130	5.7	22	126	4.5		20	10	2.6	22	8	6.5	
70～80 〃	46	73	4.0	47	74	3.7		46	70	3.4	47	70	3.9		48	128	2.4	41	130	2.6		48	8	2.7	46	15	3.1	★★

n：測定数　　x̄：平均値　　C.I.：信頼区間　　t検定：★ $p<0.05$　★★ $p<0.01$　　▲：学会による正常値

表 2.2-12　年齢別関節可動域（続き）

	股関節外転 ▲45°							股関節内転 ▲20°							股関節外旋 ▲45°							股関節内旋 ▲45°						
	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定
	n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.	
新生児	32	46°	3.5	30	49°	3.9		32	0°	3.4	30	1°	2.2		26	77°	4.4	30	76°	2.8		26	19°	2.6	30	22°	3.0	
～4カ月未満	30	50	3.5	30	52	3.2		26	17	3.9	30	19	3.5		18	72	6.3	28	63	6.7		18	17	3.3	28	29	2.9	★★
4～8 〃	34	53	2.7	20	58	6.6		32	21	2.4	20	18	5.8		32	67	6.1	14	64	10.1		32	39	6.9	14	40	10.8	
8～12 〃	19	60	5.0	26	59	6.6		17	21	5.9	24	21	3.9		18	74	10.7	26	83	3.8		18	37	10.9	26	38	8.0	
1歳代	36	65	3.7	28	67	3.8		36	30	2.1	28	28	3.3		36	74	6.2	28	74	5.8		36	48	5.9	28	51	7.0	
2 〃	33	61	2.4	24	65	2.4	★	31	30	1.8	22	29	5.4		31	61	7.8	22	53	8.2		31	50	6.9	24	63	7.3	★
3 〃	34	59	1.9	25	67	3.6	★★	34	31	1.4	25	30	3.0		32	57	5.8	25	44	6.2	★★	32	60	5.6	25	63	7.4	
4 〃	35	61	2.3	22	63	3.9		35	31	2.2	22	30	2.5		35	53	5.6	22	36	7.1	★★	35	57	4.6	22	75	4.6	★★
5 〃	22	61	3.0	35	63	2.0		22	28	2.6	35	31	2.5		22	45	9.7	35	40	6.2		22	61	7.6	35	70	5.1	★
6 〃	19	61	3.5	31	65	3.3		17	30	2.4	29	32	1.7		17	36	7.4	31	32	4.8		17	53	8.7	31	70	3.2	★★
7 〃	28	61	3.9	27	61	2.5		26	31	1.9	27	30	2.0		26	41	5.3	27	32	4.5	★★	26	56	5.3	27	66	3.8	★★
8 〃	30	60	3.2	20	65	6.7		28	31	1.4	20	33	1.2	★	30	43	6.3	20	40	5.2		30	56	5.5	20	68	4.8	★★
9 〃	27	61	3.2	26	69	3.9	★★	27	30	2.1	26	33	1.0	★★	27	42	4.0	26	39	2.7		27	53	5.7	26	62	4.3	★
10～15歳未満	39	55	2.5	24	65	4.0	★★	37	30	2.5	22	33	1.3		39	49	5.4	24	45	7.5		39	46	4.9	24	58	5.6	★★
15～20 〃	38	48	1.6	28	53	3.8	★★	38	29	2.0	28	25	1.9	★★	38	56	3.0	28	44	4.7	★★	38	36	3.9	28	51	4.6	★★
20～30 〃	30	47	1.7	28	48	2.4		30	22	2.1	28	22	2.6		30	48	4.2	28	38	3.5	★★	30	39	6.2	28	52	5.3	★★
30～40 〃	28	43	3.1	28	50	3.6	★★	28	19	2.6	28	24	2.2	★★	28	45	5.6	28	36	5.0	★	28	33	5.4	28	56	4.0	★★
40～50 〃	28	45	2.5	30	45	3.0		28	18	2.6	30	23	2.7	★	28	41	5.4	30	42	4.4		28	26	5.3	30	46	5.2	★★
50～60 〃	28	44	1.2	28	46	3.0		28	17	2.1	28	21	2.2	★★	28	45	6.7	28	49	5.3		28	24	4.0	28	37	6.3	★★
60～70 〃	18	36	3.3	20	36	2.9		12	25	4.1	20	22	2.4		20	55	8.4	20	46	8.7		20	22	8.3	20	31	7.3	
70～80 〃	48	37	1.5	46	33	1.9	★★	42	22	2.8	46	23	1.6		40	56	4.6	41	49	5.3		40	20	4.1	42	32	4.0	★★

n：測定数　　$\bar{x}$：平均値　　C.I.：信頼区間　　t検定：★ P＜0.05　★★ P＜0.01　　▲：学会による正常値

表 2.2-12　年齢別関節可動域（続き）

	股関節屈曲位外旋							股関節屈曲位内旋							膝関節屈曲 ▲130°							膝関節伸展 ▲0°						
	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定	男性			女性			t検定
	n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.		n	x̄	C.I.	n	x̄	C.I.	
新生児	32	89°	3.0	30	90°	2.3		32	53°	4.5	30	53°	6.2		32	159°	1.1	30	160°	0.4		32	−17°	3.1	30	−16°	3.2	
～4カ月未満	30	75	5.0	32	81	5.3		30	46	5.9	32	59	7.1	★★	30	156	2.1	32	150	2.9	★★	30	−13	2.6	32	−11	2.9	
4～8 〃	34	76	4.8	20	79	7.4		34	56	6.5	20	60	9.1		34	146	4.4	18	152	3.5		34	− 5	2.0	20	− 2	1.6	★
8～12 〃	19	91	5.2	26	89	4.3		19	61	8.2	26	59	8.8		19	154	3.2	26	149	4.4		19	− 1	2.5	26	− 1	2.9	
1歳代	36	84	2.9	28	85	5.5		36	51	5.3	28	75	6.9	★★	36	153	1.7	28	153	1.7		36	4	2.2	28	2	1.2	
2 〃	33	76	3.6	24	75	3.4		33	60	6.6	24	66	7.8		34	154	1.6	26	155	2.7		34	7	2.6	26	6	2.6	
3 〃	34	70	3.9	25	72	5.5		34	58	5.9	25	58	7.0		34	157	1.5	25	154	2.3	★	34	8	1.8	25	7	2.6	
4 〃	35	70	5.1	22	60	6.0	★	35	56	6.7	22	68	8.6	★	36	156	1.6	22	158	2.0		36	3	1.0	22	8	2.8	★★
5 〃	22	64	8.3	35	68	4.2		22	55	8.5	35	60	5.6		23	156	2.2	36	158	1.4		23	1	0.7	36	4	1.8	★
6 〃	18	59	5.4	31	59	4.0		18	49	8.2	31	69	4.9	★★	21	155	5.4	31	158	1.3		21	4	2.2	31	3	1.6	
7 〃	28	67	4.8	27	65	4.5		27	63	5.9	27	62	6.5		28	157	1.6	27	160	0.5	★★	28	2	1.0	27	3	1.5	
8 〃	30	63	4.7	20	77	4.5	★★	30	54	5.8	20	72	6.8	★★	32	158	1.8	22	158	1.8		32	1	0.7	22	3	1.5	★★
9 〃	27	63	4.7	26	71	2.3	★★	27	52	5.1	26	75	4.6	★★	27	157	1.5	26	159	1.4		27	3	1.6	26	2	1.5	
10～15歳未満	39	62	4.6	24	66	4.9		39	41	5.1	24	62	7.2	★★	42	157	1.4	24	157	2.0		42	1	0.7	24	1	0.8	
15～20 〃	38	59	3.1	28	62	5.3		38	31	3.6	28	52	4.3	★★	38	152	1.7	28	151	3.7		38	1	0.4	28	3	1.3	★★
20～30 〃	30	61	5.8	28	57	3.9		30	28	2.6	28	58	5.6	★★	30	152	3.9	28	152	2.6		30	0	1.2	28	0	0	
30～40 〃	28	60	4.5	28	44	4.6	★★	28	26	3.6	28	48	4.0	★★	28	147	3.7	28	156	2.2	★★	28	0	0	28	1	1.1	★
40～50 〃	28	59	5.0	30	45	4.7	★★	28	24	3.9	30	42	3.5	★★	28	154	2.5	30	154	2.3		28	1	0.9	30	0	0.3	
50～60 〃	28	59	3.6	28	59	3.6		28	22	2.9	28	39	5.3	★★	28	156	2.2	28	155	2.2		28	0	0.5	28	0	0.8	
60～70 〃	20	57	9.8	20	49	7.2		20	21	4.7	20	39	6.3	★★	20	152	3.6	22	155	2.8		20	− 2	1.5	22	− 1	1.5	
70～80 〃	40	57	4.3	40	48	5.0	★★	40	23	4.1	40	33	2.1	★★	48	152	3.3	48	159	2.8	★★	48	− 1	0.9	48	− 3	1.5	

n：測定数　　x̄：平均値　　C.I.：信頼区間　　t検定：★ $P<0.05$　★★ $P<0.01$　　▲：学会による正常値

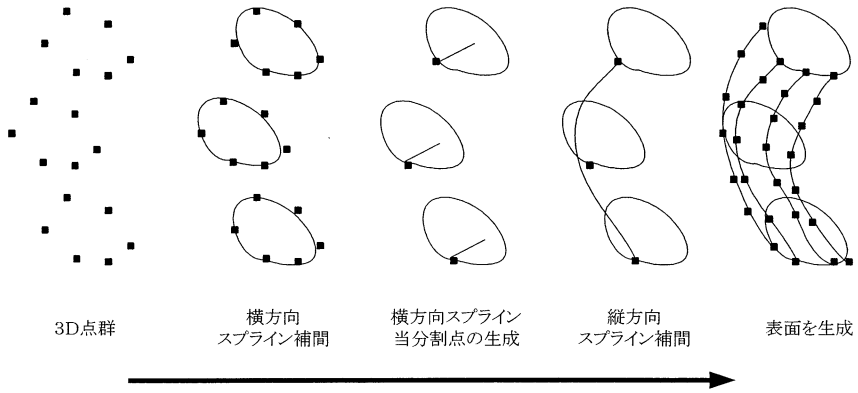
表 2.2-12　年齢別関節可動域（続き）

	足関節背屈 ▲20°							足関節底屈 ▲45°						
	男性			女性			t 検定	男性			女性			t 検定
	n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.		n	$\bar{x}$	C.I.	n	$\bar{x}$	C.I.	
新生児	30	54°	3.2	30	55°	2.7		30	44°	5.0	30	43°	5.1	
～4カ月未満	21	53	3.7	32	53	2.8		21	56	2.3	32	59	2.3	
4～8 〃	25	50	2.9	20	51	2.7		25	59	1.7	18	61	3.6	
8～12 〃	17	51	5.1	24	49	2.7		17	57	4.6	24	61	1.2	
1歳代	33	46	2.5	28	45	4.5		33	62	1.0	28	62	1.2	
2 〃	34	41	2.7	23	42	4.5		32	62	1.3	22	62	1.5	
3 〃	34	40	2.5	22	40	1.9		34	62	1.7	22	62	1.5	
4 〃	36	35	2.0	22	39	3.1	★	36	61	1.9	22	61	1.2	
5 〃	23	43	2.4	36	39	2.6	★	23	62	1.7	36	62	1.2	
6 〃	22	42	4.2	31	37	3.2	★	22	62	1.4	31	63	2.3	
7 〃	25	34	2.7	27	34	2.2		25	64	2.1	27	62	1.1	
8 〃	32	36	3.4	21	40	3.9		32	64	1.3	21	66	1.9	
9 〃	26	32	2.5	26	35	2.9		26	63	1.4	26	66	1.2	★★
10～15歳未満	38	34	3.3	22	37	3.7		41	59	1.2	22	63	2.0	★★
15～20 〃	38	27	1.5	28	27	1.8		38	61	1.2	28	60	1.8	
20～30 〃	30	26	2.1	28	28	1.9		30	55	1.9	28	60	0.7	★★
30～40 〃	28	26	1.8	28	29	1.2	★★	28	59	0.7	28	58	1.2	
40～50 〃	28	25	1.7	30	25	1.7		28	58	1.4	30	57	1.3	
50～60 〃	28	24	1.4	28	27	1.6	★★	28	56	1.6	28	60	0.6	★★
60～70 〃	20	21	2.2	22	22	3.0		20	50	2.2	22	53	2.0	★
70～80 〃	48	19	1.8	48	21	1.8		48	51	1.2	48	53	1.1	★★

２．２．１．３　関節部の変形技術

①関節部 肩、肘、膝、股等 関節の曲げ時の形状補間

個々の関節の屈曲に伴う表面形状の変化を、３次元形状計測器により計測した。この状況を先に示したリングモデルで再現するために、次頁の図に示すような姿勢変更に伴う各部位の形状変形を実現するＣＡＤオブジェクトを開発した。



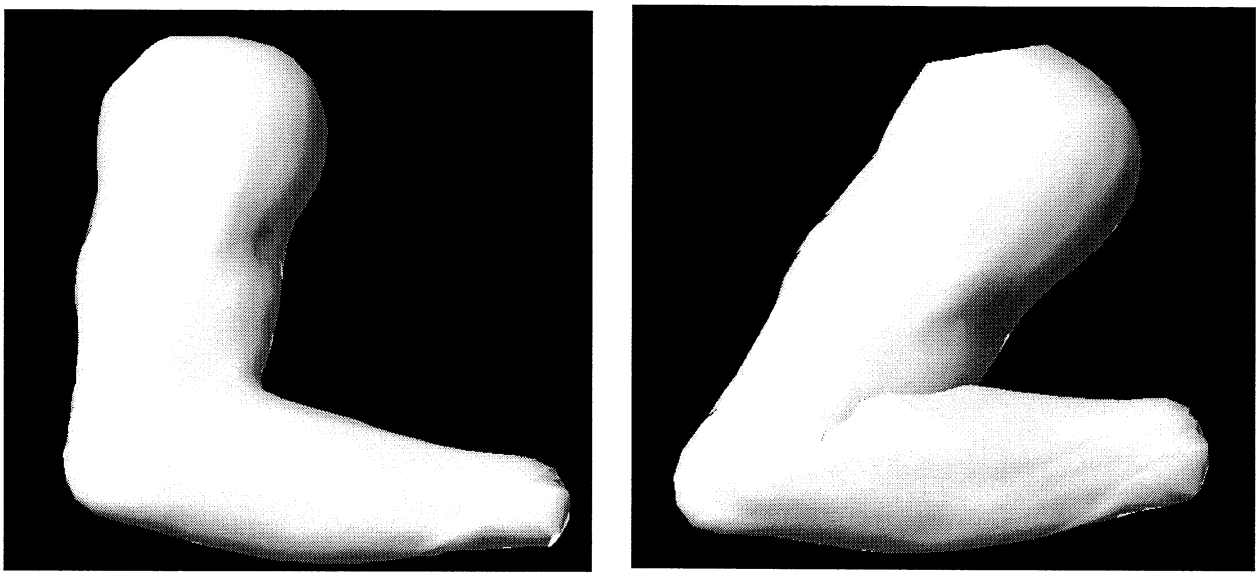
①3D点群の各点は同一平面状に必ずしも乗っていない。
②3D点群の各断面は必ずしも平行ではない。
③3D点群の各断面間の距離は必ずしも等しくない。

・マネキンモデルはスケルトンとジョイントと上記ＣＡＤオブジェクトによって生成されるスキンで構成される。
・顔（耳鼻目等）、へそ、肘膝の頂点、乳首等は上記ＣＡＤオブジェクトを拡張する必要がある。

図 2.2-4　ＣＡＤによる関節部の表現方法

②変形結果

以下、関節形状のサンプルを提示する。



肘の曲げ（９０度）　　肘の曲げ（１２０度）

図 2.2-5　肘の関節形状サンプル

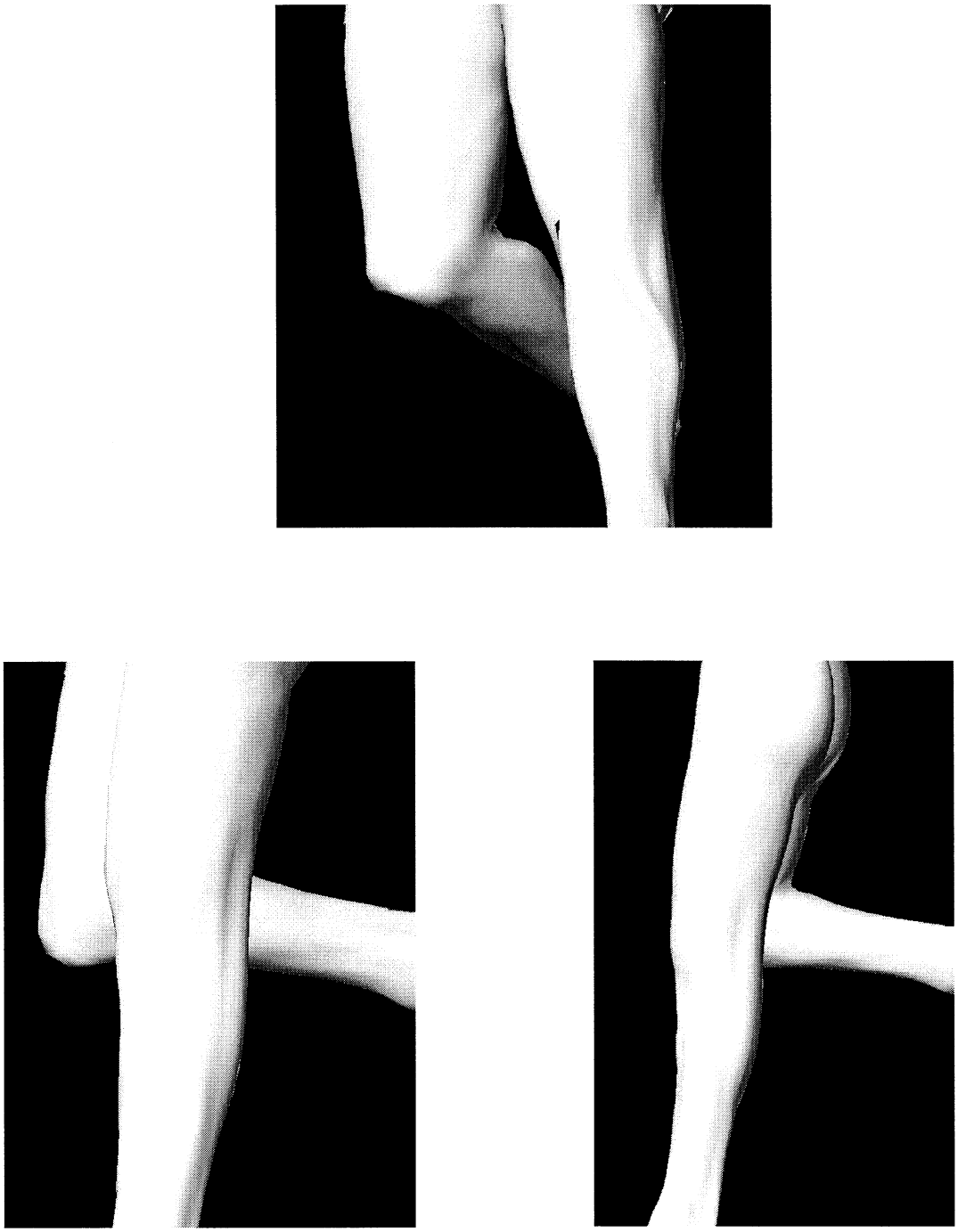


図 2.2-6　膝の関節形状サンプル

２．２．１．４　生活姿勢の再現

①姿勢データの取り込み

生活の中で高齢者がとる姿勢パターンを、既存の文献等により調査し、生活姿勢を分類整理する。この整理を基に生活姿勢の計測を行う。得られたデータを姿勢データベースとして構成し、形態モデルに組み込むこととした。

この計測は一般にモーションキャプチャシステムにおいて実施することから、形態モデルに取り込むためには、**マーカーの位置情報から関節角度への変換が必要**となる。

モーションキャプチャデータは標準化されていないため、データフォーマットやマーカー位置補正などの１対１対応が必要になるが、特徴点と関節位置との関係を整理し、マーカーを指定する特徴点に設置した上で測定することで、１対１の対応はデータフォーマットに限定することができる。

②関節点の定義

形態モデルを生成し、外部データの取り込みを行うために、関節点を定義した。なお、関節点とは、“スティック”同士を繋ぎ、姿勢変化に伴う角度変更が行える機能を提供するものである。

関節点の総数は、154 個(仮想関節,端点を含む)とした。

全身　　78 個　（仮想関節：４９個，　端点：27 個）

頭	…	2 個	（仮想関節　0 個，端点　4 個）
脊椎	…	4 個	（仮想関節　27 個，端点　1 個）
腕	…	8 個	（仮想関節　2 個，端点　0 個）
下腿	…	6 個	（仮想関節　2 個，端点　0 個）
手指	…	30 個	（仮想関節　8 個，端点 10 個）
足指	…	28 個	（仮想関節　10 個，端点 12 個）

自由度の総数は、210 自由度（仮想関節の自由度含む）とした。

全身　　122 自由度（仮想関節　88 自由度）

頭	…	4 自由度	（仮想関節　0 自由度）
脊椎	…	12 自由度	（仮想関節　60 自由度）
腕	…	20 自由度	（仮想関節　2 自由度）
下腿	…	14 自由度	（仮想関節　2 自由度）
手指	…	40 自由度	（仮想関節　8 自由度）
足指	…	32 自由度	（仮想関節　16 自由度）

関節のデータを保持する構造は、追加・削除が可能な構造になっている。

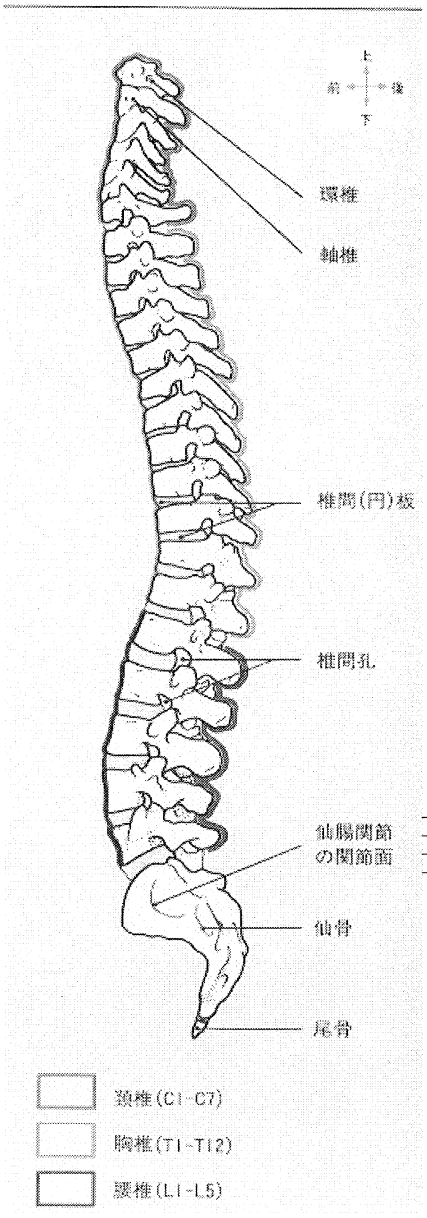
今回利用する関節点を以下に示す。

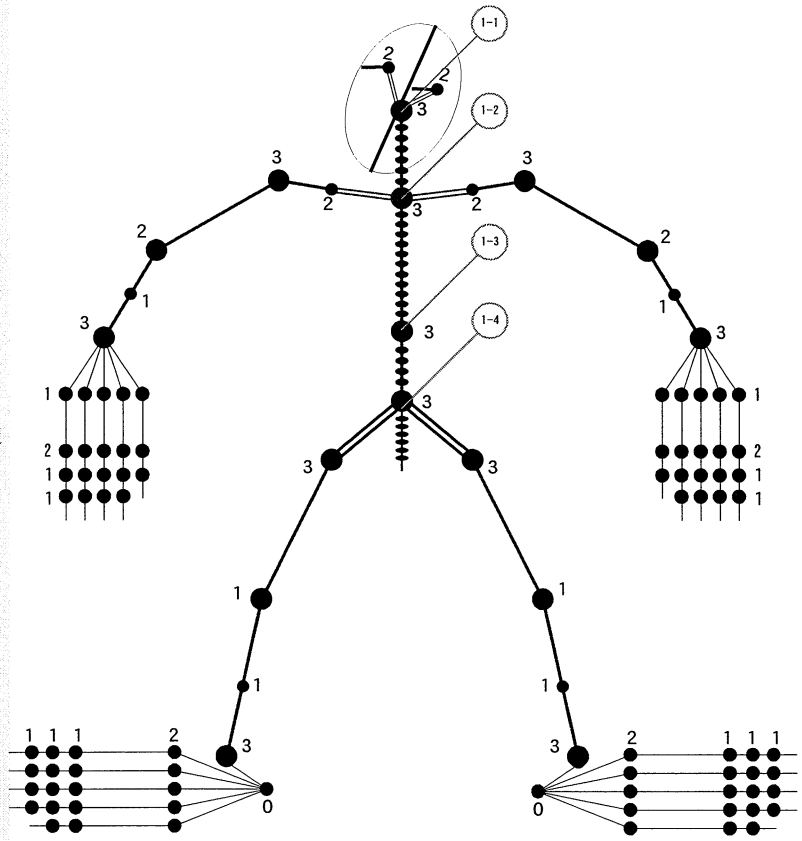
○頭・脊椎

頭・脊椎の関節点の個数は、以下に示す 32 個（頭 6 個、脊椎 3 2 個）となる。

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
頭	頭頂	Vertex	Vertex_Joint	端点	
	目（R）	Eye R	rEye_Joint		
	目（L）	Eye L	lEye_Joint		
	視線（R）	Look Away R	rLookAway_Joint	端点	
	視線（L）	Look AwayL	lLookAway_Joint	端点	
	顎	Chin	Chin_Joint	端点	
頚椎	第 1 頚椎	Cervical 1	Cer1_Joint		1-1
	第 2 頚椎	Cervical 2	Cer2_Joint	仮想	
	第 3 頚椎	Cervical 3	Cer3_Joint	仮想	
	第 4 頚椎	Cervical 4	Cer4_Joint	仮想	
	第 5 頚椎	Cervical 5	Cer5_Joint	仮想	
	第 6 頚椎	Cervical 6	Cer6_Joint	仮想	
	第 7 頚椎	Cervical 7	Cer7_Joint	仮想	
胸椎	第 1 胸椎	Thoracic 1	Tho1_Joint		1-2
	第 2 胸椎	Thoracic 2	Tho2_Joint	仮想	
	第 3 胸椎	Thoracic 3	Tho3_Joint	仮想	
	第 4 胸椎	Thoracic 4	Tho4_Joint	仮想	
	第 5 胸椎	Thoracic 5	Tho5_Joint	仮想	
	第 6 胸椎	Thoracic 6	Tho6_Joint	仮想	
	第 7 胸椎	Thoracic 7	Tho7_Joint	仮想	
	第 8 胸椎	Thoracic 8	Tho8_Joint	仮想	
	第 9 胸椎	Thoracic 9	Tho9_Joint	仮想	
	第 1 0 胸椎	Thoracic 10	Tho10_Joint	仮想	
	第 1 1 胸椎	Thoracic 11	Tho11_Joint	仮想	
	第 1 2 胸椎	Thoracic 12	Tho12_Joint	仮想	
腰椎	第 1 腰椎	Lumbar 1	Lum1_Joint		1-3
	第 2 腰椎	Lumbar 2	Lum2_Joint	仮想	
	第 3 腰椎	Lumbar 3	Lum3_Joint	仮想	
	第 4 腰椎	Lumbar 4	Lum4_Joint	仮想	
	第 5 腰椎	Lumbar 5	Lum5_Joint	仮想	
仙骨	第 1 仙椎	Sacral 1	Sac1_Joint		1-4
	第 2 仙椎	Sacral 2	Sac2_Joint	仮想	
	第 3 仙椎	Sacral 3	Sac3_Joint	仮想	

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
	第 4 仙椎	Sacral 4	Sac4_Joint	仮想	
	第 5 仙椎	Sacral 5	Sac5_Joint	仮想	
尾椎	第 1 尾椎	Coccygeal 1	Coc1_Joint	仮想	
	第 2 尾椎	Coccygeal 2	Coc2_Joint	仮想	
	第 3 尾椎	Coccygeal 3	Coc3_Joint	端点	



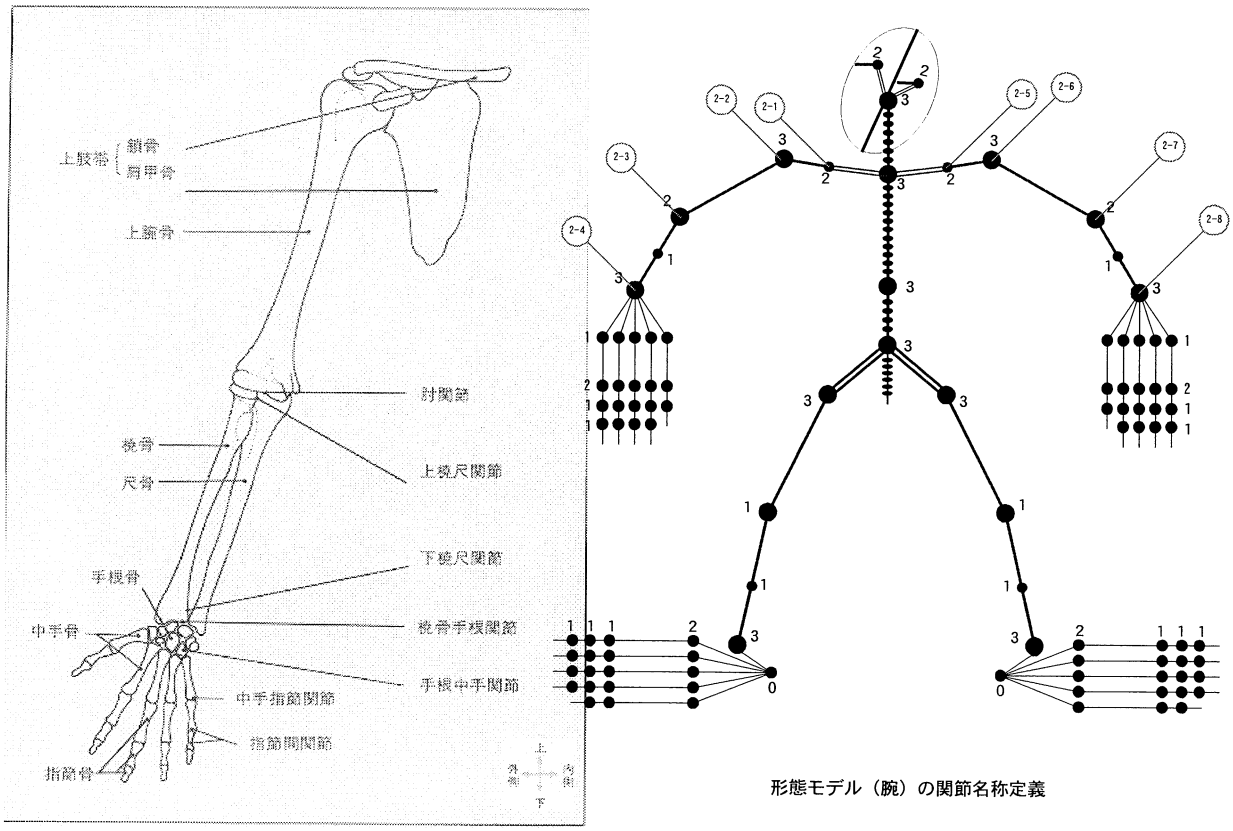


形態モデル（脊椎）の関節名称定義

○腕

腕の関節点の個数は、以下に示す 10 個となる。

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
右腕	鎖骨（R）	Clavicle R	rClavicle_Joint		2-1
	肩（R）	Shoulder R	rShoulder_Joint		2-2
	肘（R）	Elbow R	rElbow_Joint		2-3
	架空前腕（R）	Fictional_Forearm R	rFFArm_Joint	仮想	
	手根（R）	Carpus R	rCarpus_Joint		2-4
左腕	鎖骨（L）	Clavicle L	lClavicle_Joint		2-5
	肩（L）	Shoulder L	lShoulder_Joint		2-6
	肘（L）	Elbow L	lElbow_Joint		2-7
	前腕仮想（L）	Fictional_Forearm L	lFFArm_Joint	仮想	
	手根（L）	Carpus L	lCarpus_Joint		2-8

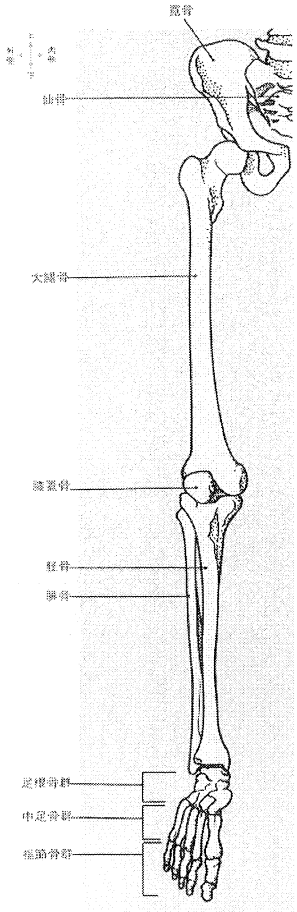


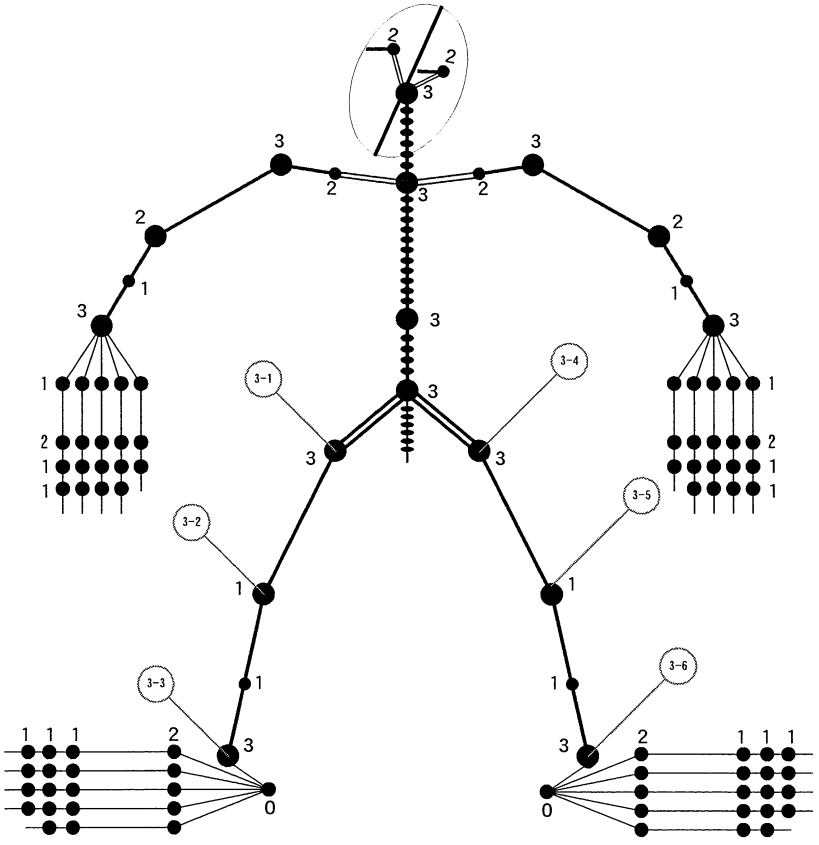
形態モデル（腕）の関節名称定義

○下腿

下腿の関節点の個数は、以下に示す 8 個となる。

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
右脚	股（R）	Hip R	rHip_Joint		3-1
	膝（R）	Knee R	rKnee_Joint		3-2
	仮想足（R）	Fictional_Tibia R	rFTibia_Joint	仮想	
	足根（R）	Tarsal R	rTarsal_Joint		3-3
左脚	股（L）	Hip L	lHip_Joint		3-4
	膝（L）	Knee L	lKnee_Joint		3-5
	仮想足（L）	Fictional_Tibia L	lFTibia_Joint	仮想	
	足根（L）	Tarsal L	lTarsal_Joint		3-6





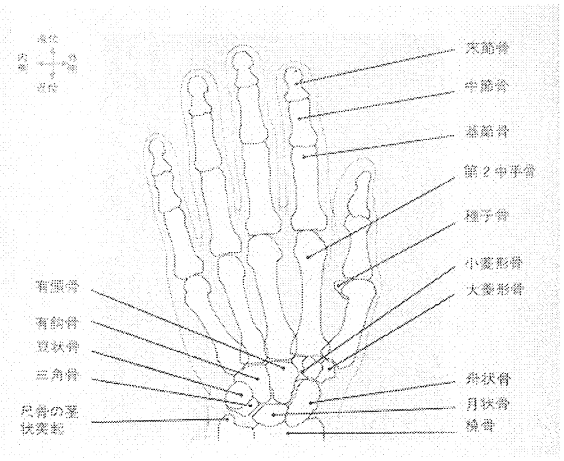
形態モデル（脚）の関節名称定義

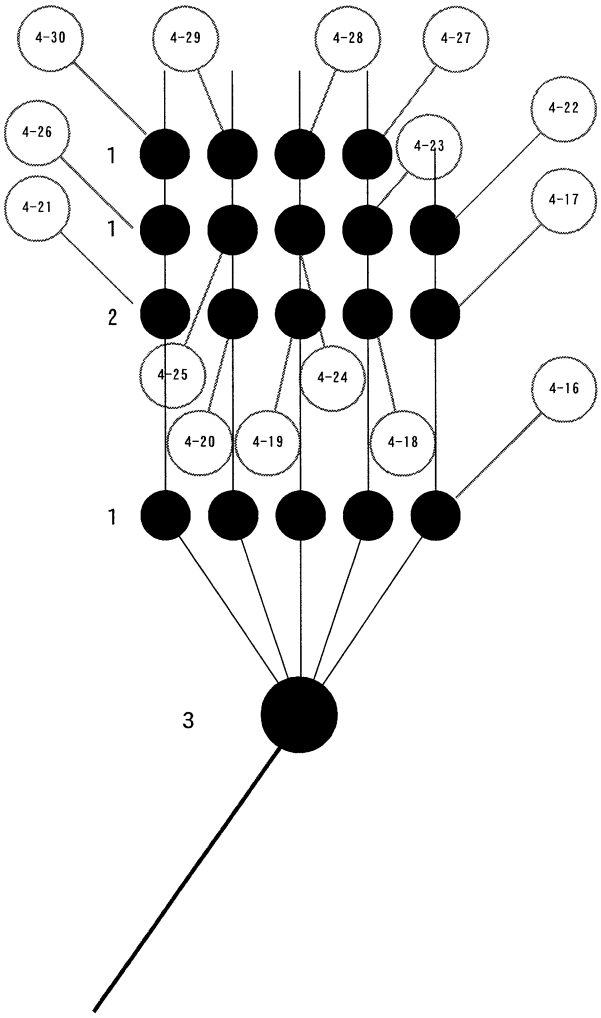
○手指

手指の関節点の個数は、以下に示す 48 個（左右　各 24 個づつ）となる。

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
右手	手根（R）	Carpus R	rCarpus_Joint		
	第１中手（親指）（R）	Intermetacarpal 1 Thumb Finger R	rHandThumbM1_Joint		4-1
	第１中手（人差し指）（R）	Intermetacarpal 1 Index Finger R	rHandIndexM1_Joint	仮想	
	第１中手（中指）（R）	Intermetacarpal 1 Middle Finger R	rHandMiddleM1_Joint	仮想	
	第１中手（薬指）（R）	Intermetacarpal 1 Third Finget R	rHandThirdM1_Joint	仮想	
	第１中手（子指）（R）	Intermetacarpal 1 Little Finget R	rHandLittleM1_Joint	仮想	
	第２中手（親指）（R）	Intermetacarpal 2 Thumb Finger R	rHandThumbM2_Joint		4-2
	第２中手（人差し指）（R）	Intermetacarpal 2 Index Finger R	rHandIndexM2_Joint		4-3
	第２中手（中指）（R）	Intermetacarpal 2 Middle Finger R	rHandMiddleM2_Joint		4-4
	第２中手（薬指）（R）	Intermetacarpal 2 Third Finget R	rHandThirdM2_Joint		4-5
	第２中手（子指）（R）	Intermetacarpal 2 Little Finget R	rHandLittleM2_Joint		4-6
	基節（親指）（R）	Proximal Phalanx Thumb Finger R	rHandThumbPP_Joint		4-7
	基節（人差し指）（R）	Proximal Phalanx Index Finger R	rHandIndexPP_Joint		4-8
	基節（中指）（R）	Proximal Phalanx Middle Finger R	rHandMiddlePP_Joint		4-9
	基節（薬指）（R）	Proximal Phalanx Third Finget R	rHandThirdPP_Joint		4-10
	基節（子指）（R）	Proximal Phalanx Little Finget R	rHandLittlePP_Joint		4-11
	中節（人差し指）（R）	Middle Phalanx Index Finger R	rHandIndexMP_Joint		4-12
	中節（中指）（R）	Middle Phalanx Middle Finger R	rHandMiddleMP_Joint		4-13
	中節（薬指）（R）	Middle Phalanx Third Finget R	rHandThirdMP_Joint		4-14
	中節（小指）（R）	Middle Phalanx Little Finget R	rHandLittleMP_Joint		4-15
	指先（親指）（R）	Distal Phalanx Thumb Finger R	rHandThumbDP_Joint	端点	
	指先（人指し指）（R）	Distal Phalanx Index Finger R	rHandIndexDP_Joint	端点	
	指先（中指）（R）	Distal Phalanx Middle Finger R	rHandMiddleDP_Joint	端点	
	指先（薬指）（R）	Distal Phalanx Third Finget R	rHandThirdDP_Joint	端点	

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
	指先（小指）（R）	Distal Phalanx Little Finget R	rHandLittleDP_Joint	端点	
左手	手根（L）	Carpus L	lCarpus_Joint		
	第１中手（親指）（L）	Intermetacarpal 1 Thumb Finger L	lHandThumbM1_Joint		4-16
	第１中手（人差し指）（L）	Intermetacarpal 1 Index Finger L	lHandIndexM1_Joint	仮想	
	第１中手（中指）（L）	Intermetacarpal 1 Middle Finger L	lHandMiddleM1_Joint	仮想	
	第１中手（薬指）（L）	Intermetacarpal 1 Third Finget L	lHandThirdM1_Joint	仮想	
	第１中手（子指）（L）	Intermetacarpal 1 Little Finget L	lHandLittleM1_Joint	仮想	
	第２中手（親指）（L）	Intermetacarpal 2 Thumb Finger L	lHandThumbM2_Joint		4-17
	第２中手（人差し指）（L）	Intermetacarpal 2 Index Finger L	lHandIndexM2_Joint		4-18
	第２中手（中指）（L）	Intermetacarpal 2 Middle Finger L	lHandMiddleM2_Joint		4-19
	第２中手（薬指）（L）	Intermetacarpal 2 Third Finget L	lHandThirdM2_Joint		4-20
	第２中手（子指）（L）	Intermetacarpal 2 Little Finget L	lHandLittleM2_Joint		4-21
	基節（親指）（L）	Proximal Phalanx Thumb Finger L	lHandThumbPP_Joint		4-22
	基節（人差し指）（L）	Proximal Phalanx Index Finger L	lHandIndexPP_Joint		4-23
	基節（中指）（L）	Proximal Phalanx Middle Finger L	lHandMiddlePP_Joint		4-24
	基節（薬指）（L）	Proximal Phalanx Third Finget L	lHandThirdPP_Joint		4-25
	基節（子指）（L）	Proximal Phalanx Little Finget L	lHandLittlePP_Joint		4-26
	中節（人差し指）（L）	Middle Phalanx Index Finger L	lHandIndexMP_Joint		4-27
	中節（中指）（L）	Middle Phalanx Middle Finger L	lHandMiddleMP_Joint		4-28
	中節（薬指）（L）	Middle Phalanx Third Finget L	lHandThirdMP_Joint		4-29
	中節（小指）（L）	Middle Phalanx Little Finget L	lHandLittleMP_Joint		4-30
	指先（親指）（L）	Distal Phalanx Thumb Finger L	lHandThumbDP_Joint	端点	
	指先（人指し指）（L）	Distal Phalanx Index Finger L	lHandIndexDP_Joint	端点	
	指先（中指）（L）	Distal Phalanx Middle Finger L	lHandMiddleDP_Joint	端点	
	指先（薬指）（L）	Distal Phalanx Third Finget L	lHandThirdDP_Joint	端点	
	指先（小指）（L）	Distal Phalanx Little Finget L	lHandLittleDP_Joint	端点	





形態モデル（左手指）の関節名称定義

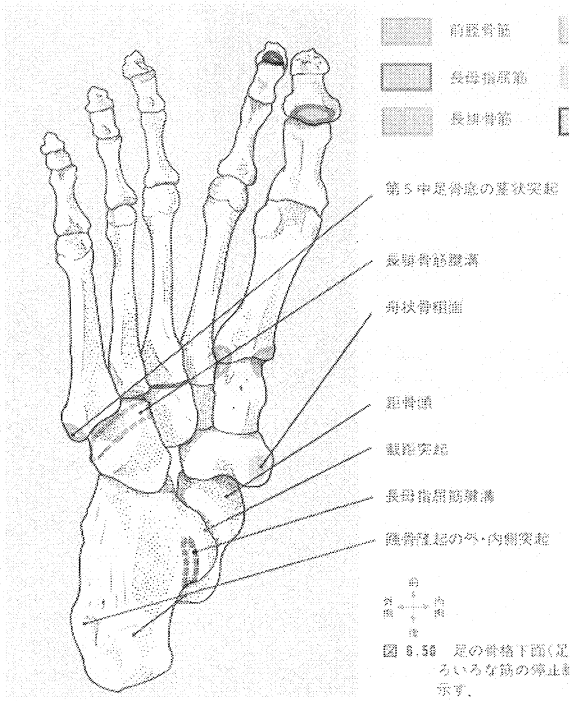
○足指

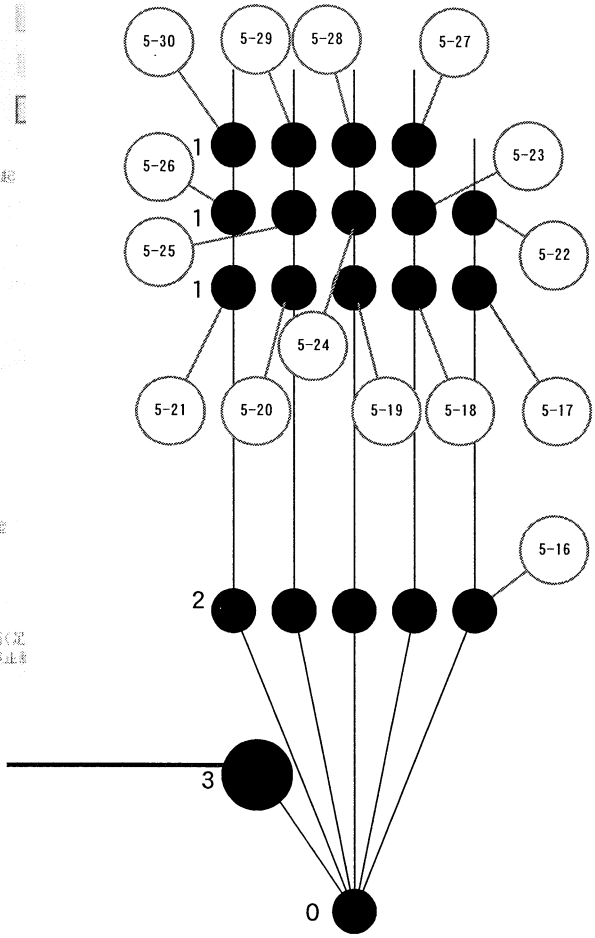
足指の関節点の個数は、以下に示す　60 個（左右　各 30 個づつ）となる。

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
右足	足根（R）	Tarsal R	rTarsal_Joint		
	踵（R）	Heel R	rHeel_Joint	端点	
	足根中足（親指）（R）	Tarsometatarsal Big Toe R	rToeBigT_Joint		5-1
	足根中足（人差し指）（R）	Tarsometatarsal Index Toe R	rToeIndexT_Joint	仮想	
	足根中足（中指）（R）	Tarsometatarsal Middle Toe R	rToeMiddleT_Joint	仮想	
	足根中足（薬指）（R）	Tarsometatarsal Third Toe R	rToeThirdT_Joint	仮想	
	足根中足（子指）（R）	Tarsometatarsal Little Toe R	rToeLittleT_Joint	仮想	
	中足指節（親指）（R）	Metatarsophalangeal Big Toe R	rToeBigMP_Joint		5-2
	中足指節（人差し指）（R）	Metatarsophalangeal Index Toe R	rToeIndexMP_Joint		5-3
	中足指節（中指）（R）	Metatarsophalangeal Middle Toe R	rToeMiddleMP_Joint		5-4
	中足指節（薬指）（R）	Metatarsophalangeal Third Toe R	rToeThirdMP_Joint		5-5
	中足指節（子指）（R）	Metatarsophalangeal Little Toe R	rToeLittleMP_Joint		5-6
	基節（親指）（R）	Interphalangeal 1 Big Toe R	rToeBigP1_Joint		5-7
	基節（人差し指）（R）	Interphalangeal 1 Index Toe R	rToeIndexP1_Joint		5-8
	基節（中指）（R）	Interphalangeal 1 Middle Toe R	rToeMiddleP1_Joint		5-9
	基節（薬指）（R）	Interphalangeal 1 Third Toe R	rToeThirdP1_Joint		5-10
	基節（子指）（R）	Interphalangeal 1 Little Toe R	rToeLittleP1_Joint		5-11
	中節（人差し指）（R）	Interphalangeal 2 Index Toe R	rToeIndexP2_Joint		5-12
	中節（中指）（R）	Interphalangeal 2 Middle Toe R	rToeMiddleP2_Joint		5-13
	中節（薬指）（R）	Interphalangeal 2 Third Toe R	rToeThirdP2_Joint		5-14
	中節（小指）（R）	Interphalangeal 2 Little Toe R	rToeLittleP2_Joint		5-15
	指先（親指）（R）	Distal Phalanx Thumb Finger R	rToeThumbDP_Joint	端点	
	指先（人差し指）（R）	Distal Phalanx Index Finger R	rToeIndexDP_Joint	端点	
	指先（中指）（R）	Distal Phalanx Middle Finger R	rToeMiddleDP_Joint	端点	

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
	指先（薬指）（R）	Distal Phalanx Third Finget R	rToeThirdDP_Joint	端点	
	指先（小指）（R）	Distal Phalanx Little Finget R	rToeLittleDP_Joint	端点	
左足	足根（L）	Tarsal L	lTarsal_Joint		
	踵（L）	Heel L	lHeel_Joint	端点	
	足根中足（親指）（L）	Tarsometatarsal Big Toe L	lToeBigT_Joint		5-16
	足根中足（人差し指）（L）	Tarsometatarsal Index Toe L	lToeIndexT_Joint	仮想	
	足根中足（中指）（L）	Tarsometatarsal Middle Toe L	lToeMiddleT_Joint	仮想	
	足根中足（薬指）（L）	Tarsometatarsal Third Toe L	lToeThirdT_Joint	仮想	
	足根中足（子指）（L）	Tarsometatarsal Little Toe L	lToeLittleT_Joint	仮想	
	中足指節（親指）（L）	Metatarsophalangeal Big Toe L	lToeBigMP_Joint		5-17
	中足指節（人差し指）（L）	Metatarsophalangeal Index Toe L	lToeIndexMP_Joint		5-18
	中足指節（中指）（L）	Metatarsophalangeal Middle Toe L	lToeMiddleMP_Joint		5-19
	中足指節（薬指）（L）	Metatarsophalangeal Third Toe L	lToeThirdMP_Joint		5-20
	中足指節（子指）（L）	Metatarsophalangeal Little Toe L	lToeLittleMP_Joint		5-21
	基節（親指）（L）	Interphalangeal 1 Big Toe L	lToeBigP1_Joint		5-22
	基節（人差し指）（L）	Interphalangeal 1 Index Toe L	lToeIndexP1_Joint		5-23
	基節（中指）（L）	Interphalangeal 1 Middle Toe L	lToeMiddleP1_Joint		5-24
	基節（薬指）（L）	Interphalangeal 1 Third Toe L	lToeThirdP1_Joint		5-25
	基節（子指）（L）	Interphalangeal 1 Little Toe L	lToeLittleP1_Joint		5-26
	中節（人差し指）（L）	Interphalangeal 2 Index Toe L	lToeIndexP2_Joint		5-27
	中節（中指）（L）	Interphalangeal 2 Middle Toe L	lToeMiddleP2_Joint		5-28
	中節（薬指）（L）	Interphalangeal 2 Third Toe L	lToeThirdP2_Joint		5-29
	中節（小指）（L）	Interphalangeal 2 Little Toe L	lToeLittleP2_Joint		5-30
	指先（親指）（L）	Distal Phalanx Thumb Finger L	lToeThumbDP_Joint	端点	
	指先（人差し指）（L）	Distal Phalanx Index Finger L	lToeIndexDP_Joint	端点	
	指先（中指）（L）	Distal Phalanx Middle Finger L	lToeMiddleDP_Joint	端点	

名称	関節点名称		JointID-Name	備考	
	指先（薬指）（L）	Distal Phalanx Third Finget L	IToeThirdDP_Joint	端点	
	指先（小指）（L）	Distal Phalanx Little Finget L	IToeLittleDP_Joint	端点	





形態モデル（左足）の関節名称定義

③計測点と関節点の関係

計測点から関節点位置を求める方法については、平成１１年度　国際特定共同研究事業　「コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究」に示された方法を用いた。

○各部位の寸法推定方法

セグメント名	X軸方向（前後幅・厚さ）	Y軸方向（横幅）	Z軸方向（節長・高さ）
頭蓋	頭長[H10]	頭幅[H15]	149.221 + 0.772 ＊ 顔高[H7]
頸椎	頚囲[Ｈ２４] ／ π	頚囲[Ｈ２４] ／ π	(1)頭蓋･脊柱間関節点，(2)頸･胸椎間関節点間の距離（※　旧）
胸椎	-37.383 + 0.313 * ウエスト囲[H67]	37.975 + 0.303 ＊ ウエスト囲[H67]	（頚椎高[H30] － 上前腸骨棘高[H156]） ＊ 0.558
腰椎	-37.383 + 0.313 * ウエスト囲[H67]	37.975 + 0.303 ＊ ウエスト囲[H67]	（頚椎高[H30] － 上前腸骨棘高[H156]） ＊0.360
肩（左右）	65.544 + 0.394 ＊ 胸部厚径[H54]	肩峰幅[H67]　（※　旧）	65.544 + 0.394 ＊ 胸部厚径[H54]
上腕（左右）	-22.326 + 0.469 ＊ 上腕囲[H113]	20.576 + 0.215 ＊ 上腕囲[H113]	(5)関節点，(6)肘関節点間の距離　（※　旧）
前腕（左右）	-9.833 + 0.393 ＊ 前腕最大囲[H115]	13.422 + 0.239 ＊ 前腕最大位囲[H115]	(6)肘関節点，(7)手根関節点間の距離　（※　旧）
手根（左右）	0.344 + （0.493 ＊ 手掌長[H116]） + （0.555 ＊ 手幅[H120]）	-3.679 + 0.201 * 手長[H116]	手長[H116]
股	52.072 + 0.243 ＊ ウエスト囲[H67]	ヒップ幅[H51]　（※　旧）	（第7頚椎高[H30] － 上前腸骨棘高[H156]） ＊ 0.330
大腿（左右）	-21.181 + 0.354 * 大腿囲[H169]	8.71 + 0.292 ＊ 大腿囲[H169]	0.921 ＊ （上前腸骨棘高[H156] － 脛骨上縁高[H160]）
下腿（左右）	-1.116 + 0.309 * 下腿最大囲[H171]	-2.859 + 0.320 * 下腿最大囲[H171]	0.977 ＊ 下腿長[H166]
足根（左右）	29.085 + 0.806 ＊ 足長[H174]	足幅（足軸直交）[H176]　（※　旧）	-10.581 + 0.945 ＊ 内果高[H163]

※ 各項目の計算方法は、男性の計算方法を採用している。

※ ”Ｘ，Ｙ，Ｚ”項目部分で、 ”[H***]” と記述している部分は、ＨＱＬの計測点番号

○関節位置推定方法

関節点名	X（前後）	Y（幅）	Z（高さ）
(1)頭蓋･脊柱間	X = 0	Y = 0	耳珠高[H28]
(2)頸･胸椎間			頸椎高[H30]
(3)胸･腰椎間	(2)頸･胸椎間関節点と(12)股間点の中点		
(4)腰･仙椎間	(3)胸･腰椎間関節点と(12)股間点を結ぶ線分上の股間点から3分の1の点		
(5)肩	X = 0	(0.5 * 肩峰幅[H41]) - (0.053 * 肩峰幅[H41])	肩峰高[Ｈ３２] － ０．０９４＊肩峰幅[Ｈ４１]
(6)肘	X = 0	肘間幅[H43] / 2	橈骨点[Ｈ９６] ＋（０．０４７８ ＊ 前腕長[Ｈ１０３]）
(7)手根			肘関節位置 － １．０７ ＊ 前腕長[Ｈ１０３]
(8)股		((ウエスト幅[Ｈ５０]＋ヒップ幅[Ｈ５１]) / ４ ＊1.1) － ０．１５１ ＊((ウエスト幅[Ｈ５０]＋ヒップ幅[Ｈ５１]) / ４ ＊０．９)	腸骨棘高[Ｈ１５６] － ０．１１９＊(０．５＊０．５＊(ウエスト幅[Ｈ５０]＋ヒップ幅[Ｈ５１]))
(9)膝			脛骨上縁高[Ｈ１６０] ＋ ０．０７２３ ＊ 下腿長[Ｈ１６６]
(10)足根			脛骨上縁高[Ｈ１６０] － １．０３４５ ＊ 下腿長[Ｈ１６６]
(11)頭頂		Y = 0	身長[Ｈ２６]
(12)股間	(8)左右股関節点の中点		
(13)手指尖	X = 0	$\bar{y}$±肘間幅[H43] / 2	指尖高[H100]
(14)足指尖	足長[H174]	Y = 0	Z = 0

※ 各項目の計算方法は、男性の計算方法を採用している。

※ ”X，Y，Z”項目部分で、 ”[H***]” と記述している部分は、ＨＱＬ計測点番号

２．２．１．５　質量の推定技術

①各部位の質量と重心

既存の医学的な研究論文等を調査し、人体の各部位の質量バランス及び部位の重心を求めた。

バイオメカニズム論文集 Vol.13（1996.7.25、バイオメカニズム学会）東京大学出版会にある「日本人高齢者の身体部分慣性特性（岡田英孝、阿江通良、藤井範久、森丘保典）」に示された数値を採用した。

次頁の表にその数値を示すが、これは、身体各部分の質量比、質量中心比、質量中心を通る３つの慣性主軸まわりの回転半径比を男女の平均値で示したものである。

ここで、質量比は身体質量に対する部分質量の比、質量中心比は部分長に対する中枢端（上端）から質量中心位置までの距離の比、回転半径比は部分長に対する回転半径の比のことである。

ただし、頭の部分長は頭頂点から両耳珠点間の中点までの長さ、胴体の部分長は胸骨上縁から両大転子間の中点までの長さ、上胴の部分長は胸骨上縁から肢下線上の最下肋骨下縁点間の中点までの長さ、下胴の部分長は腋下線上の最下肋骨下縁点間の中点から両大転子間の中点までの長さ、足の部分長はつま先から踵までの長さとされている。また、足の質量中心比は部分長に対するつま先から質量中心までの距離の比とされている。

②重心の決定

モデルの重心位置については、次頁の表から各部位の重心ベクトルを求め、その総和をモデルの重心とした。

$$\vec{G}_0 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\vec{P}i$$

表 2.2-13　部位の質量

部分	高齢男性					青年男性				
	質量比(%)	質量中心比(%)	回転半径比			質量比(%)	質量中心比(%)	回転半径比		
			k_x(%)	k_y(%)	k_z(%)			k_x(%)	k_y(%)	k_z(%)
頭部	9.1†+ (1.1)	86.9†+ (4.7)	50.7†+ (2.8)	52.0†+ (3.2)	41.8†+ (2.4)	6.9 (0.7)	82.1 (4.1)	47.9 (2.2)	45.4 (2.1)	36.3 (1.9)
胴体	49.7*+ (2.9)	49.8 (3.3)	36.8†+ (2.0)	37.2†+ (1.9)	19.9†+ (2.6)	48.9 (2.2)	49.3 (1.6)	34.6 (0.8)	35.7 (0.8)	16.7 (0.9)
上腕	2.5†- (0.3)	54.9†+ (1.6)	25.5†- (1.3)	25.6 (0.8)	11.8†+ (2.0)	2.7 (0.3)	52.9 (1.8)	26.2 (0.7)	25.7 (0.7)	10.7 (1.0)
前腕	1.7†+ (0.2)	42.7†+ (2.1)	28.6†+ (1.1)	28.6†+ (1.1)	11.2*- (1.2)	1.6 (0.2)	41.5 (2.0)	27.9 (1.1)	27.7 (1.0)	11.5 (1.2)
手	0.8†+ (0.2)	82.0†- (10.1)	54.5†+ (5.2)	53.7†- (5.2)	29.2†- (3.8)	0.6 (0.1)	89.1 (10.8)	51.9 (6.4)	57.1 (7.0)	31.4 (4.5)
大腿	9.2†- (0.8)	48.1*+ (2.2)	27.2†- (1.1)	28.3†+ (0.9)	17.1†+ (1.8)	11.0 (0.8)	47.5 (1.8)	27.8 (0.9)	27.0 (0.9)	15.2 (0.9)
下腿	4.7†- (0.5)	42.3†+ (1.5)	26.3†- (1.5)	28.4†+ (0.9)	14.4†+ (2.3)	5.1 (0.4)	40.6 (1.5)	27.4 (0.9)	27.1 (0.9)	9.7 (0.6)
足	1.7†+ (0.2)	58.1†- (1.8)	23.3†+ (0.7)	12.6†+ (0.9)	23.5†+ (0.8)	1.1 (0.2)	59.5 (2.6)	17.7 (3.0)	8.8 (1.3)	18.2 (3.1)
上胴	28.8†- (2.7)	40.9†- (5.2)	41.3†+ (2.6)	40.1†+ (3.7)	32.7†+ (5.3)	30.2 (1.8)	42.8 (2.0)	35.0 (1.2)	38.1 (1.5)	26.6 (1.8)
下胴	20.9†+ (2.9)	60.5 (4.4)	49.2†+ (4.4)	48.1 (4.2)	48.2†+ (6.4)	18.7 (1.5)	60.9 (3.0)	42.5 (2.7)	47.3 (3.0)	43.5 (3.8)

部分	高齢女性					青年女性				
	質量比(%)	質量中心比(%)	回転半径比			質量比(%)	質量中心比(%)	回転半径比		
			k_x(%)	k_y(%)	k_z(%)			k_x(%)	k_y(%)	k_z(%)
頭部	8.8†+ (1.1)	83.8†+ (4.0)	48.1†+ (2.7)	50.2†+ (2.7)	40.3†+ (2.2)	7.5 (0.9)	75.9 (5.2)	45.1 (2.8)	42.6 (2.4)	35.0 (2.5)
胴体	49.3†+ (3.3)	51.5†+ (2.6)	36.8†+ (1.6)	37.0†+ (1.6)	21.4†+ (2.9)	45.7 (2.5)	50.6 (1.8)	34.3 (0.9)	35.5 (0.9)	17.0 (0.8)
上腕	2.5*- (0.3)	56.9†+ (2.1)	25.1†- (1.8)	25.3†- (0.9)	12.4†+ (2.5)	2.6 (0.2)	52.3 (1.7)	26.5 (0.9)	26.0 (0.9)	10.7 (0.9)
前腕	1.6†+ (0.2)	42.3 (1.9)	28.9†+ (1.2)	28.8†+ (1.2)	11.5†- (1.3)	1.5 (0.1)	42.3 (2.2)	27.7 (1.1)	27.5 (1.0)	12.2 (1.2)
手	0.6 (0.1)	76.3†- (8.5)	53.5 (4.9)	52.5†- (4.3)	27.9†- (3.7)	0.6 (0.1)	90.8 (10.2)	52.7 (5.9)	57.3 (6.6)	30.3 (4.6)
大腿	9.8†- (1.0)	47.4†+ (1.9)	27.7†- (1.2)	28.9†+ (0.9)	18.1†+ (2.1)	12.3 (0.9)	45.8 (2.4)	28.5 (1.2)	27.8 (1.1)	15.7 (1.5)
下腿	4.8†- (0.5)	42.4†+ (1.8)	25.7†- (2.0)	28.4†+ (0.8)	16.0†+ (2.6)	5.3 (0.4)	41.0 (1.5)	27.5 (1.0)	27.2 (0.9)	10.2 (0.7)
足	1.5†+ (0.3)	59.1 (2.2)	22.6†+ (0.9)	12.2†+ (0.6)	22.9†+ (0.9)	1.1 (0.2)	59.4 (2.4)	18.4 (2.6)	9.0 (1.3)	18.9 (2.7)
上胴	26.0*- (2.7)	41.7†- (3.8)	42.8†+ (3.0)	41.9†+ (3.6)	36.2†+ (5.0)	26.7 (1.8)	43.8 (1.9)	34.9 (1.1)	38.0 (1.4)	27.3 (1.9)
下胴	23.4†+ (2.6)	58.7 (3.7)	49.3†+ (4.5)	47.8 (4.5)	49.8†+ (6.3)	19.0 (1.8)	59.7 (4.5)	41.1 (2.8)	47.1 (3.1)	44.0 (3.7)

1) *，†印は群間の有意差を示す（*$p<0.05$，†$p<0.01$，＋高齢者＞青年，－高齢者＜青年）．
2) 青年男女の値は阿江ら(1992)が報告したものである．
3) カッコ内の数値は標準偏差を示す．
4) 部分質量は身体質量に対する比，質量中心比は部分長に対する中枢端からの距離の比である．
5) 上胴，下胴，足の質量中心比はそれぞれ，胸骨上縁点，最下肋骨下縁点間の中点，足先からの距離の比である．
6) 回転半径比は部分長に対する比である．

２．２．１．６　視野の再現技術

既存の医学的な研究論文等を調査し、視野に関するデータを得る。このデータを形態モデルに組み込み、そのモデルの視野に入る範囲を表示するソフトウェアを製造することとした。

残念ながら日本人の視野に関するデータがみつからなかったことから、今回の研究開発では「ESTUDIO ANTROPMÉTRICO DE POBLACÍON DE LA CIUDAD DE MÉXICO TÉCNICA POR FOTOGRAFIA DIGITAL.　DR.ENRIQUE BONILLA RODRÉGUEZ」に示された数値を採用した。

なお、日本人のデータが測定されればいつでも交換可能にするために、このデータはプログラムの外部データとして管理している。

表 2.2-14　視野データ

antropometria

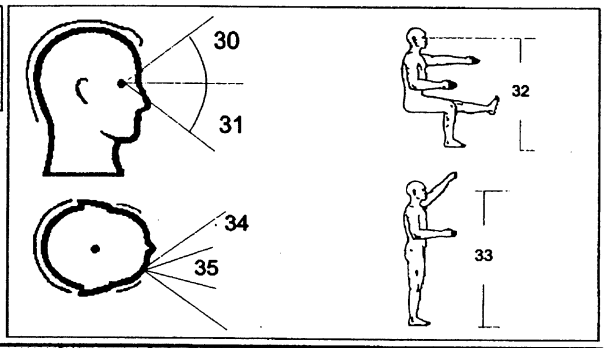
visión

RANGOS

sexo	F
edad mínimo	>29
edad máximo	<39
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	41
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	VALOR (mm) MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1735	1332	94	1340	1432	1495	1558	1590
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1136	929	49	936	985	1018	1051	1068
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1735	1332	94	1340	1432	1495	1558	1590
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

antropometria

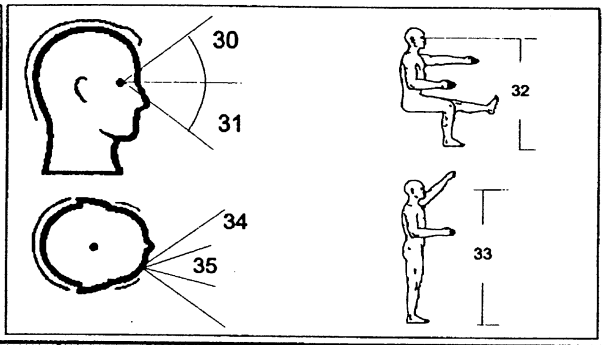
visión

RANGOS

sexo	F
edad mínimo	>29
edad máximo	<39
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	41
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	VALOR (mm) MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1735	1332	94	1340	1432	1495	1558	1590
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1136	929	49	936	985	1018	1051	1068
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1735	1332	94	1340	1432	1495	1558	1590
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

Acotacion en grados *

antropometria

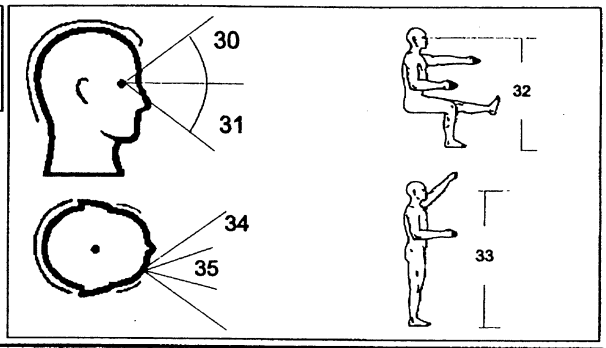
vision

RANGOS

sexo	Ambos
edad minimo	>29
edad máximo	<39
peso minimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	103
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	VALOR (mm) MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1735	1332	89	1391	1479	1538	1598	1629
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1151	929	49	950	998	1031	1064	1082
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1735	1332	89	1391	1479	1538	1598	1629
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

antropometria

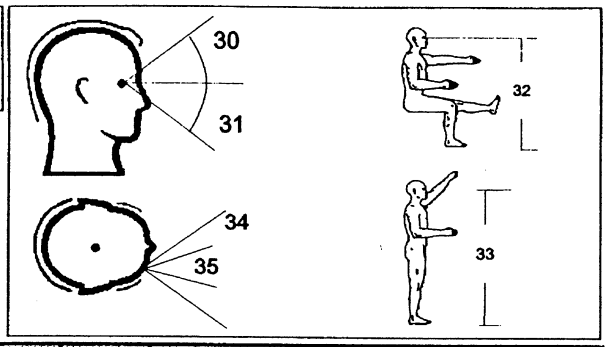
vision

RANGOS

sexo	Ambos
edad minimo	>29
edad máximo	<39
peso minimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	103
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	VALOR (mm) MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1735	1332	89	1391	1479	1538	1598	1629
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1151	929	49	950	998	1031	1064	1082
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1735	1332	89	1391	1479	1538	1598	1629
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

antropometria

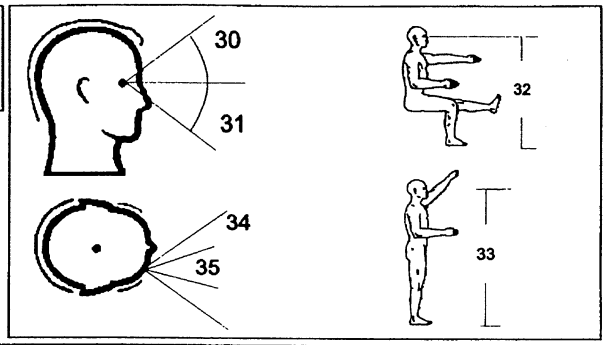
vision

RANGOS

sexo	M
edad minimo	>19
edad máximo	<29
peso minimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	529
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	VALOR (mm) MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1830	1288	92	1407	1497	1559	1621	1653
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1210	928	56	948	1003	1040	1078	1098
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1830	1288	92	1407	1497	1559	1621	1653
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

Acotacion en grados *

antropometria

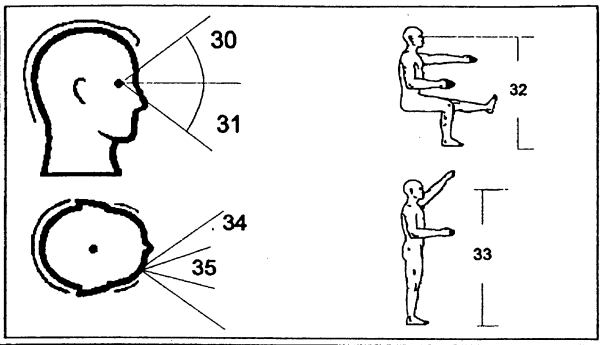
vision

RANGOS

sexo	M
edad mínimo	>19
edad máximo	<29
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	529
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1830	1288	92	1407	1497	1559	1621	1653
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1210	928	56	948	1003	1040	1078	1098
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1830	1288	92	1407	1497	1559	1621	1653
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

antropometria

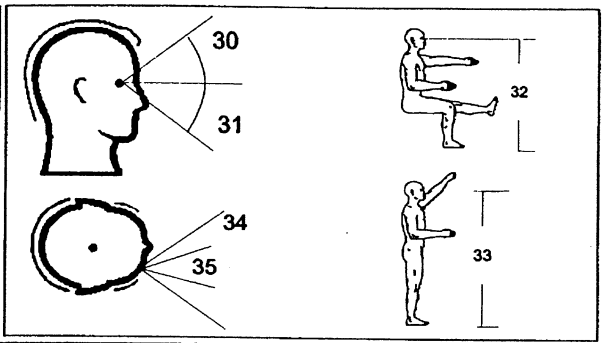
vision

RANGOS

sexo	F
edad mínimo	>19
edad máximo	<60
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	499
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1735	1310	84	1365	1448	1504	1561	1590
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1179	866	46	940	984	1015	1046	1063
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1735	1310	84	1365	1448	1504	1561	1590
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

antropometria

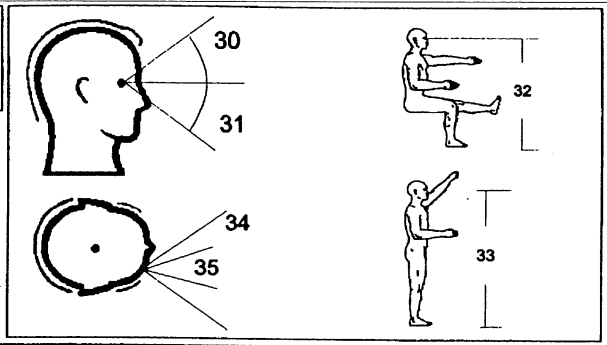
vision

RANGOS

sexo	F
edad mínimo	>19
edad máximo	<60
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	499
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm) MAX	MIN	DESV. ESTANDAR	PERCENTILES (mm) 5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1735	1310	84	1365	1448	1504	1561	1590
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1179	866	46	940	984	1015	1046	1063
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1735	1310	84	1365	1448	1504	1561	1590
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

Acotacion en grados *

antropometria

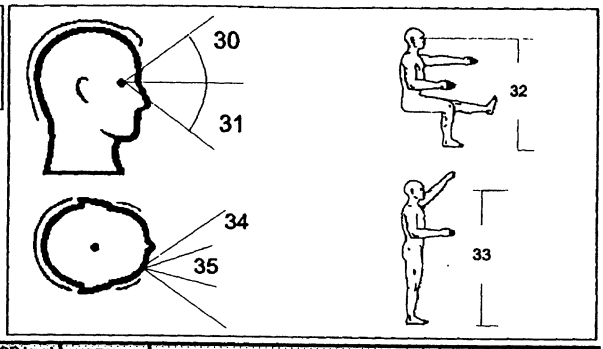
vision

RANGOS

sexo	Ambos
edad mínimo	>19
edad máximo	<60
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	1175
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm)		DESV.	PERCENTILES (mm)				
		MAX	MIN	ESTANDAR	5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1830	1288	91	1387	1476	1537	1598	1630
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1210	866	52	943	995	1030	1065	1084
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1830	1288	91	1387	1476	1537	1598	1630
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

antropometria

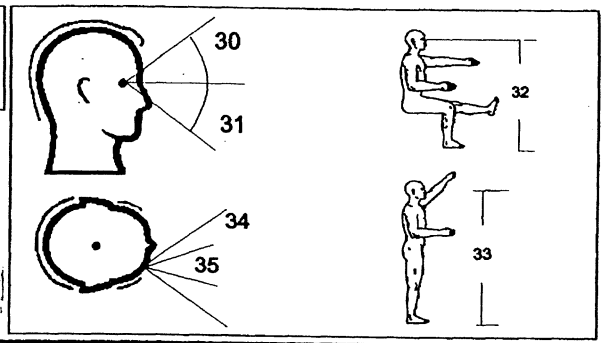
vision

RANGOS

sexo	M
edad mínimo	>19
edad máximo	<60
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	675
total	1175



#	CONCEPTO	VALOR (mm)		DESV.	PERCENTILES (mm)				
		MAX	MIN	ESTANDAR	5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1830	1288	88	1416	1503	1562	1621	1651
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1210	928	54	951	1004	1041	1077	1097
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1830	1288	88	1416	1503	1562	1621	1651
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72

antropometria

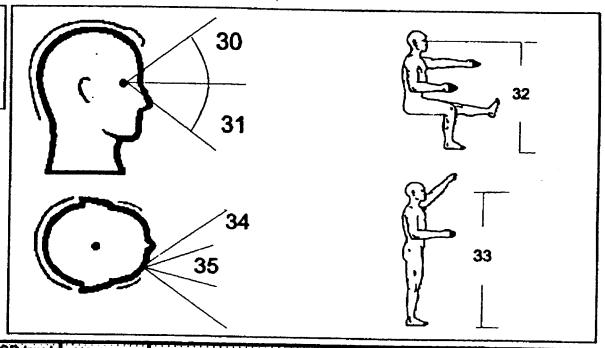
vision

RANGOS

sexo	Ambos
edad mínimo	>19
edad máximo	<60
peso mínimo	>40
peso máximo	<121

REGISTROS

seleccionados	1175
total	1175

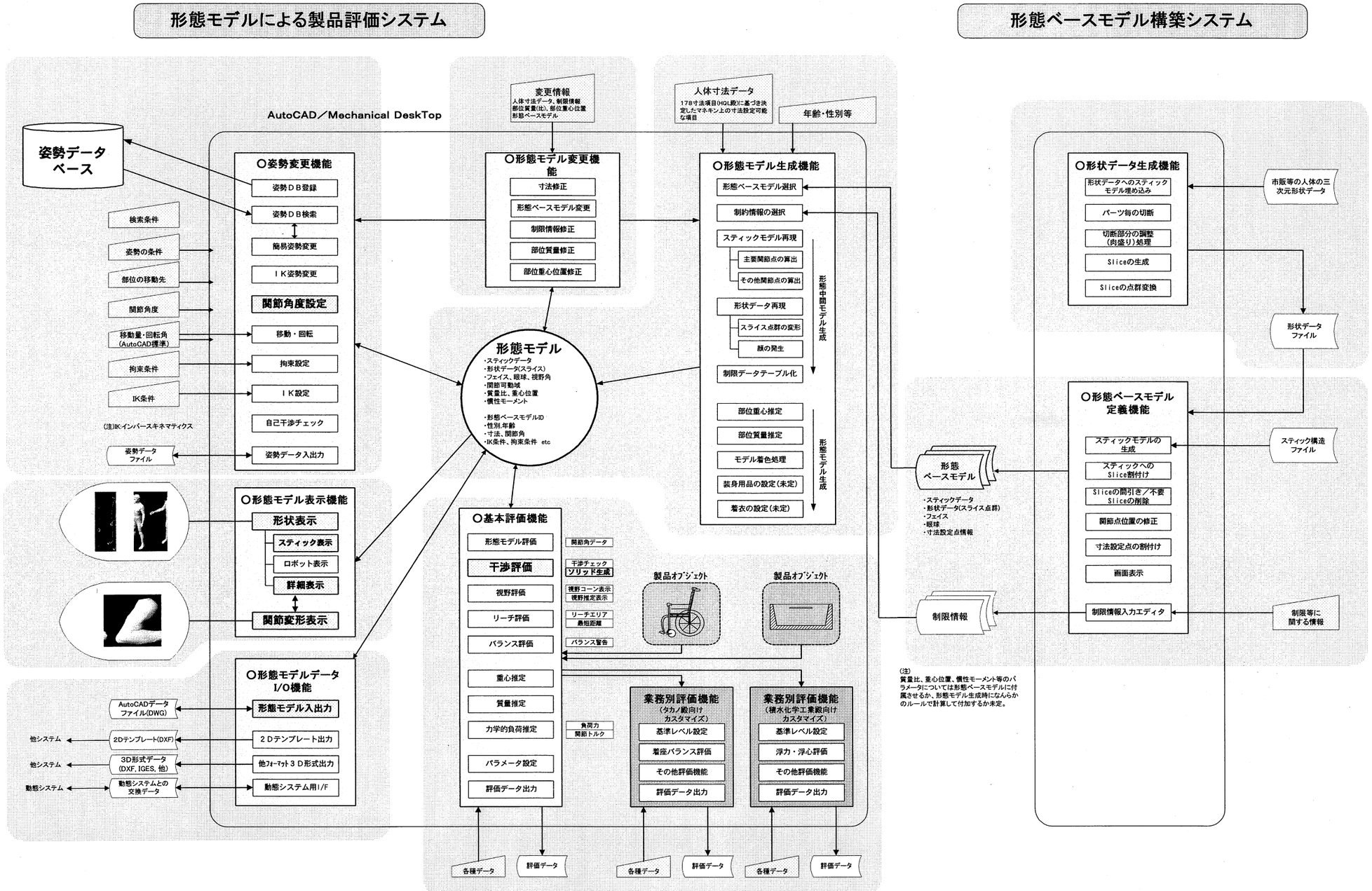


#	CONCEPTO	VALOR (mm)		DESV.	PERCENTILES (mm)				
		MAX	MIN	ESTANDAR	5	25	50	75	95
29	Altura linea de vision (mm)	1830	1288	91	1387	1476	1537	1598	1630
30	Rotacion maxima superior de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32
31	Rotacion maxima inferior de ojos *	35	35	0	35	35	35	35	37
32	Linea de vision normal sentado (mm)	1210	866	52	943	995	1030	1065	1084
33	Linea de vision normal de pie (mm)	1830	1288	91	1387	1476	1537	1598	1630
34	Rotacion maxima lateral de ojos *	70	70	0	70	70	70	70	72
35	Rotacion normal lateral de ojos *	30	30	0	30	30	30	30	32

Acotacion en grados *

２．２．２　研究開発システムの内容

２．２．２．１　開発システムの基本構造



○ハードウェア環境

装 置	要 求 仕 様
計算機	IBM ＰＣ－ＡＴ互換機 拡張バス：ＡＧＰ（ビデオカード用）
ＣＰＵ	Pentium III 以上のプロセッサ 動作クロック　：　６００M[Hz]以上
メモリ	５１２Mバイト以上
ディスク	３００Mバイト以上の空き
ビデオカード	解像度　　：1280×1024 以上 色　数　　：２４ビットカラー, グラフィックメモリ：３２Mバイト以上 バ　ス　　：ＡＧＰ その他　　：ＯｐｅｎＧＬ対応
ディスプレイ	1280×1024 以上の高解像度カラーモニタ

○ソフトウェア環境

ソフトウェア	内　　容
Ｏ Ｓ	Microsoft 社 日本語 Windows98／NT4／2000
CAD システム	AutoCAD2000，Mechanical Desktop 4

２．２．２．２　実装機能

高齢者形態モデルの研究開発において実装した機能は、形態モデルの生成・変更・操作に関わる形態モデル機能と形態モデルを利用した評価のうち利用者に共通的な評価を支援する評価基本機能の２つの機能に分類される。

①形態モデル機能

形態モデル機能は、以下の機能から構成される。

- マネキン表示機能
- マネキン基本操作機能
- マネキン拡張操作機能
- 入出力機能
- データ交換機能
- データベース機能

以下、各機能の概要について記述する。

機能名	サブ機能	概要
マネキン表示機能	形状表示（表示モード）	スケルトン... 関節点およびスケルトンからなる形状 ロボット ... 部位の形状を簡素化したロボット形状 詳細マネキン ... 部位の詳細な表面形状
マネキン基本操作機能	位置決め	移動、回転 位置合せ ... マネキンを物の位置まで移動する。
	姿勢変更	角度設定 ... 関節角を数値で設定して姿勢を変更する（従来方式） インバースキネマティクス ... 端点や関節点の変更位置に対してインバースキネマティクスに基づき姿勢を変更する。
マネキン拡張操作機能	簡易姿勢変更	対象物とマネキンモデルとの位置関係など必要条件を指定することで、マネキンモデルの姿勢が変更される。
	モデル切替え	マネキンモデルを切り替える（姿勢データはそのまま）。
	複数マネキン	複数のマネキンモデルを扱える。

機能名	サブ機能	概要
入出力機能	プロジェクトファイルの入出力	コンピュータマネキンシステム上での作業状態を、プロジェクトファイルとしてセーブ、あるいは読み込む。
	マネキンモデルの入力	マネキンモデルとその制約情報を読み込む。
	姿勢データ入出力	表示しているマネキンモデルに対して、指定された姿勢データを読み込む、あるいは出力する。
データベース機能	姿勢データベースの検索	指定された条件に基づき、姿勢データベースを検索し、そのデータ一覧から姿勢データを選択し入力することができる。
	姿勢データベースの登録	表示しているマネキンモデルの姿勢データを、ユーザーが設定した属性データを使用して、姿勢データベースへの登録を行う。
データ交換機能	モーションキャプチャデータのインポート	モーションキャプチャデータを読み込み、姿勢データとして利用できる（インポート）機能
	動態システムへのエクスポート	マネキンモデルとその姿勢データを動態システム向けに出力する（エクスポート）機能

②基本評価機能

業種共通的な評価機能として次のものを準備している。

基本評価機能	内 容
評価パラメータの設定機能	関節角の許容範囲・閾値などのパラメータを設定する
評価データの出力機能	評価データをＣＳＶ 形式のファイルで出力する
視野評価機能	(1)マネキンモデルの視点位置からの視野を表示する (2)マネキンモデルの視野領域を表示する（ユーザー視点） (3)リアル視野の評価機能(レイトレーシングされた視野)
リーチ評価機能	(1)指定した部位（通常は指先の端点）の到達域を表示する (2)２点間距離 (3)最短距離
干渉評価機能	評価対象物との干渉を評価する
マネキンデータ評価機能	マネキンモデルのデータ値（関節角など）を表示する
重心評価機能	マネキンモデルの重心位置を算出する
複数マネキンの相互干渉の評価機能	複数マネキンモデル使用時に、マネキンモデル相互の干渉を評価する

２．２．３　研究開発結果

２．２．３．１　モジュールの種類と機能

本システムは以下の表に示す機能モジュール群より構成されている。

モジュール名	機能
生成モジュール	指定された“年齢”“性別”“人体寸法”を基にモデルデータを生成する
姿勢制御モジュール	モデルデータに任意の姿勢をとらせるために関節角の設定を行なう
評価モジュール	モデルデータを用いて各種評価をシュミレートする
データ表示/変換モジュール	モデルデータの表示や変換（２Ｄ投影変換/ソリッド変換）を行なう
ファイル入出力モジュール	“モデルデータ”“姿勢データ”等のファイル入出力を行なう
ＧＵＩモジュール	ユーザが本システムを利用する時に利用する操作画面の処理を行なう

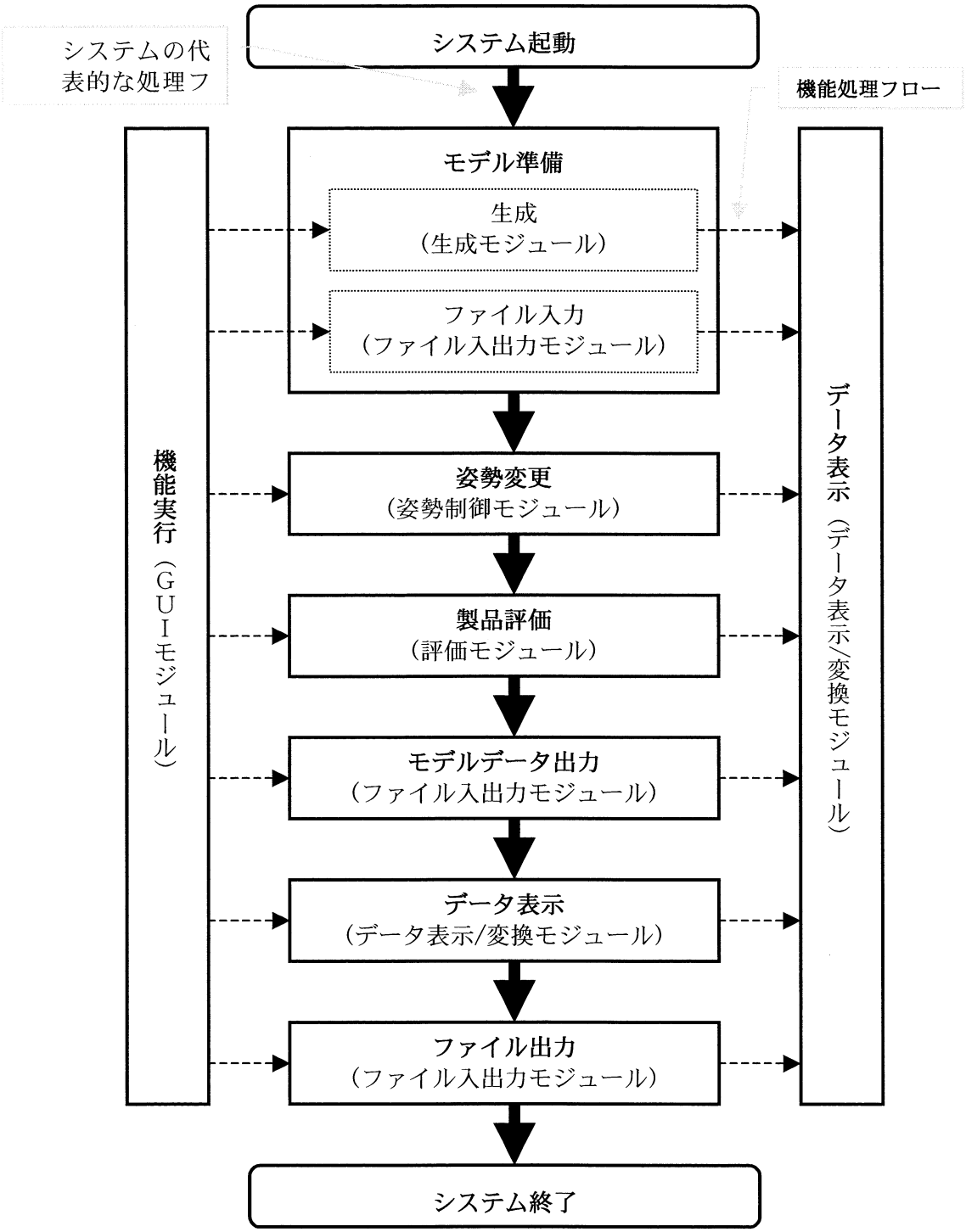
また、上記モジュールは以下に示すサブモジュールより構成されている。

モジュール名	サブモジュール名	機能
生成モジュール	データ構造構築サブモジュール	モデルデータを“パーツ”“スティック”“スライス”といった部品の集合と考えてデータを保持し、これらの部品同士の関係を定義を行なう
	形状修正サブモジュール	任意のモデルデータを生成するために指定された“年齢”“性別”“人体寸法”からモデルデータの修正を行なう
姿勢制御モジュール		モデルの任意パーツの回転角をメンテナンスすることにより姿勢制御を行なう

モジュール名	サブモジュール名	機能
評価 モジュール	リーチ評価 製品干渉評価 自己干渉評価 相互干渉評価 サブモジュール	・モデルの肩から任意の距離にある点が可動出来る領域を三次元の面として生成する。 ・モデル以外のオートキャド三次元図形との干渉を判定する。 ・１モデルに属するパーツと、同じモデル内の他のパーツとの干渉を判定する。 ・１モデルの各パーツと他の複数モデル内のパーツとの干渉を判定する。
	干渉演算評価 ソリッド生成 サブモジュール	・モデル以外のオートキャド三次元図形との干渉する領域をソリッド図形に変換する。 ・３次元面で構成されるモデルの各パーツを、ソリッド図形に変換する。
	バランス評価 力学負荷推定 サブモジュール	・モデルの重心が、両踵および両人差し指で形成される領域内にあるか否か判定する。 ・モデルの各パーツに加わる自重、外力による力とトルクを計算する。
	視野評価 サブモジュール	モデルの眼位置よりの視野を透視図により描画する。
２Ｄ投影変換 モジュール		モデルの各パーツを、モデルの軸を基に作成される平面に投影した２次元の図形を生成する。
ファイル入出力 モジュール		モデルの各パラメータをテキストデータとして、読み書きする。
ＧＵＩモジュール	モデル生成ＧＵＩ サブモジュール	モデル生成時に各種生成条件の設定行なえるＧＵＩ
	オートキャドＧＵＩ サブモジュール	オートキャドのオペレーションに対し、ＧＵＩを提供する。

２．２．３．２　各モジュールの 処理フロー

以下に本システムを利用する場合の代表的な処理フローと利用モジュールを記述する。



２．２．３．３　モジュールの詳細

各モジュールの詳細内容について以下に記述する。

①生成モジュール

生成モジュールは、任意の人体寸法値より以下に示す機能を利用して、本システムで利用されるモデルデータを生成する。

－　モデルデータの基礎となるモデルデータ（ベースモデルデータ）の　　読込
－　人体を表現するためのデータ構造を構築
－　任意の人体寸法値の読込
－　“身長”・“胴囲”の寸法値より、本システムに必要な他の人体寸　　法値を算出
－　任意の人体寸法値より関節点の３次元位置を算出
－　任意の人体寸法値より人体形状の代表的な位置の“幅・厚み・周囲　　長”を算出
－　上記で算出された“関節点位置”“幅・厚み・周囲長”を、ベース　　モデルデータに反映しモデルデータを生成

また、生成モジュールは以下の２つのサブモジュールより構成されている。

－　データ構造構築サブモジュール
－　形状修正サブモジュール

以下に、各サブモジュールの詳細内容を記述する。

①－１）データ構造構築サブモジュール

データ構造構築サブモジュールは、人体形状を“パーツ”“スティック”“スライス”といった部品の集合で構成し、またこれらの部品の関係を定義したモジュールである。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	データ構造構築サブモジュール
DLL 名	cmObject.DLL

クラス名	クラス概要
CmBody	モデルデータを構成するメインクラス
CmPart	パーツデータを格納するクラス
CmStick	スティックデータを格納するクラス
CmSliceVec	スライス形状の集まりを格納するクラス
CmSlice	スライス形状を格納するクラス
CmJoint	関節点データを格納するクラス
CmFile	モデルデータのファイル処理を行なうメインクラス
CmLoad	ベースモデルデータの読込を行なうクラス
CmSave	ベースモデルデータの保存を行なうクラス
CmBodyPosition	モデルデータの場所を指定するクラス

①－２）形状修正サブモジュール

形状修正サブモジュールは、任意のモデルデータを生成するため、人体寸法値を用いた“関節点位置”“幅・厚み・周囲長”の算出を行い、算出されたデータをモデルデータを修正しながら反映する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	形状修正サブモジュール
DLL 名	CmSize.DLL

クラス名	クラス概要
CmModify	ベースモデルを修正するメインクラス
CmPartModify	ベースモデルをのパーツを修正するクラス
CmSliceModify	ベースモデルをのスライスを修正するクラス
CmEstimate	“３次元関節点位置”“幅・厚み・周囲長”“人体寸法値”を推定するメインクラス
CmJointEstimate	“３次元関節点位置”を推定するクラス
CmKEstimate	“幅・厚み・周囲長”を推定するメインクラス
CmMeasureMap66Estimate	“身長・胴囲”より他の“人体寸法値”を推定するクラス
CmMdfData	形状修正定義に格納されている情報を、各スライスの拡大率に変換した形状修正データを格納するクラス
CmMdfDefine	形状修正定義の全データを格納するクラス
CmMdfDefRec	形状修正定義の１レコードデータを格納したクラス
CmMeasureMap	ベースモデルデータの保存を行なうクラス

②姿勢制御モジュール

姿勢制御モジュールは、モデルの関節角度をメンテナンスすることで、モデルを希望する姿勢に編集する

- モデルの関節角度をメンテナンス
- モデルのパーツを回転
- モデルの関節角度と各関節可動域データを評価
- パーツを希望する位置に編集するための関節角度を算出
- モデルの関節角度データの読込
- モデルの関節角度データの書出し

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	姿勢制御モジュール
DLL 名	CmKinamatics.ARX

クラス名	クラス概要
CmFKHelper	モデルの関節角度を直接メンテナンスするための機能を実装したクラス
CmIKHelper	パーツを希望する位置に編集するための関節角度を算出し、モデルの関節角度をメンテナンスするための機能を実装したクラス

③評価モジュール

評価モジュールは、モデルの形状データ、位置データ、および力学データよりリーチ、製品干渉、自己干渉、相互干渉、干渉演算、ソリッド生成、バランス、力学負荷、視野、を推定または評価をする

- モデルの肩から任意の距離にある点が可動出来る三次元の面を生成
- モデル以外のオートキャド三次元図形との干渉を判定
- １モデルに属するパーツと、同じモデル内の他のパーツとの干渉を　　判定
- １モデルの各パーツと、他の複数モデル内のパーツとの干渉を判定
- オートキャド三次元図形との干渉する領域をソリッド図形に変換
- 各パーツを、ソリッド図形に変換
- モデルの重心が、両踵および両人差し指で形成される領域内にある　　か否か判定
- モデルの各パーツに加わる自重、外力による力とトルクを計算
- モデルの眼位置よりの視野を透視図により描画

以下に、各サブモジュールの詳細内容を記述する。

③－１）リーチ評価、製品干渉評価、自己干渉評価、相互干渉評価ｻﾌﾞﾓｼﾞｭｰﾙ

モデルの肩から任意の距離にある点が可動出来る三次元の面を生成、
モデル以外のオートキャド三次元図形との干渉を判定、
１モデルに属するパーツと、同じモデル内の他のパーツとの干渉を判定、
１モデルの各パーツと、他の複数モデル内のパーツとの干渉を判定、
する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	リーチ評価、製品干渉評価、自己干渉評価サブモジュール
DLL 名	CmAcShape.ARX

クラス名	クラス概要
CmReachHelper	リーチ評価を行なうクラス
CmEntityInterferenceHelper	製品干渉評価を行なうクラス
CmAutoInterferenceHelper	自己干渉評価を行なうクラス
CmModelInterferenceHelper	相互干渉評価を行なうクラス

③－２）干渉演算評価、ソリッド生成サブモジュール

オートキャド三次元図形との干渉する領域をソリッド図形に変換し、各パーツを、ソリッド図形に変換する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	干渉演算評価、ソリッド生成サブモジュール
DLL 名	CmCommand.ARX

クラス名	クラス概要
CmSolidHelper	1. オートキャド三次元図形との干渉する領域をソリッド図形に変換するクラス 2. 各パーツを、ソリッド図形に変換するクラス

③－３）バランス評価、力学負荷推定サブモジュール

オートキャド三次元図形との干渉する領域をソリッド図形に変換
各パーツを、ソリッド図形に変換
する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	バランス評価、力学負荷推定サブモジュール
DLL 名	CmAcForce.ARX

クラス名	クラス概要
CmBalanceHelper	モデルの重心が、両踵および両人差し指で形成される領域内にあるか否か判定を行うクラス
CmPartForceHelper	モデルの各パーツに加わる自重、外力による力とトルクを計算を行うクラス

③－４）視野評価サブモジュール

モデルの眼位置よりの視野を透視図により描画する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	視野評価サブモジュール
DLL 名	CmAcCamera.ARX

クラス名	クラス概要
CmCameraHelper	モデルの眼位置よりの視野を透視図により描画を行うクラス

④２Ｄ投影変換モジュール

２Ｄ投影変換は、モデルの各パーツを、モデルの軸を基に作成される平面に投影した２次元の図形を生成する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	２Ｄ投影変換モジュール
DLL 名	CmAc2D.ARX

クラス名	クラス概要
Cm2DHelper	モデルの各パーツを、モデルの軸を基に作成される平面に投影した２次元の図形を生成を行うクラス

⑤ファイル入出力モジュール

モデルの各パラメータをテキストデータとして、読み書きする機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	ファイル入出力
DLL 名	CmAcFio.ARX

クラス名	クラス概要
CmAcFio Helper	モデルの各パラメータをテキストデータとして、読み書きを行うクラス

⑥ＧＵＩモジュール

ユーザーのオペレーションに対し、ＧＵＩを提供する機能を有する。

以下に、各サブモジュールの詳細内容を記述する。

⑥－１）モデル生成ＧＵＩサブモジュール

モデル生成時に各種生成条件の設定行なえるＧＵＩを提供する機能を有する。

以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	モデル生成ＧＵＩサブモジュール
DLL 名	modelModelCreate.ARX

クラス名	クラス概要
CNewModelDialog	モデル生成時に各種生成条件の設定行なえるＧＵＩを提供するクラス

⑥－２）オートキャドＧＵＩサブモジュール

オートキャドのオペレーションに対し、ＧＵＩを提供する機能を有する。

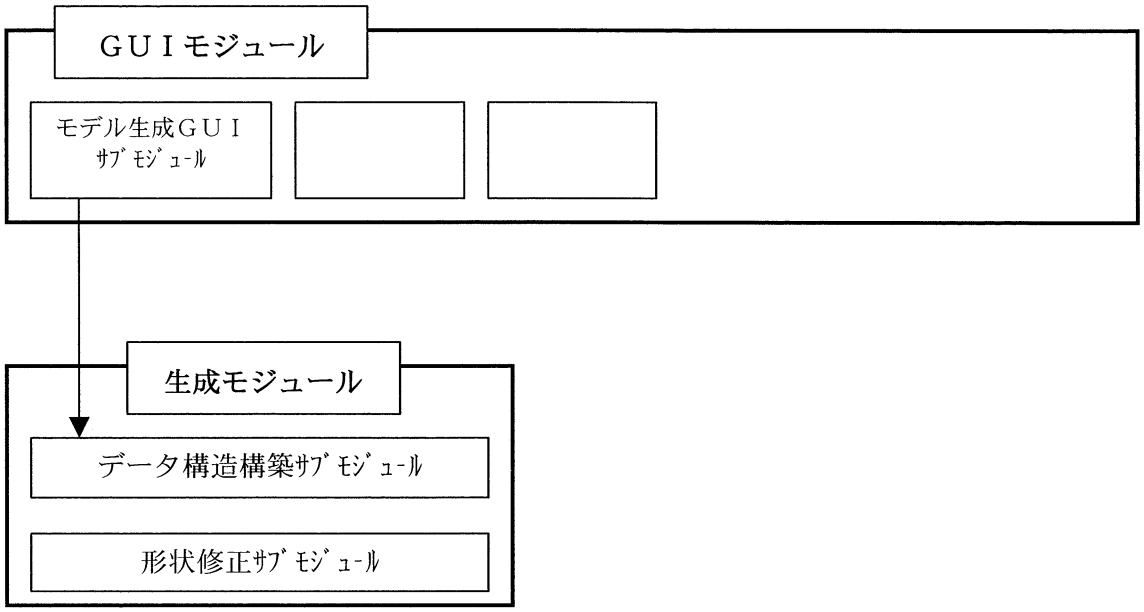
以下にモジュールを構成するクラスを示す。

モジュール名	オートキャドＧＵＩサブモジュール
DLL 名	CmAcGui.Arx

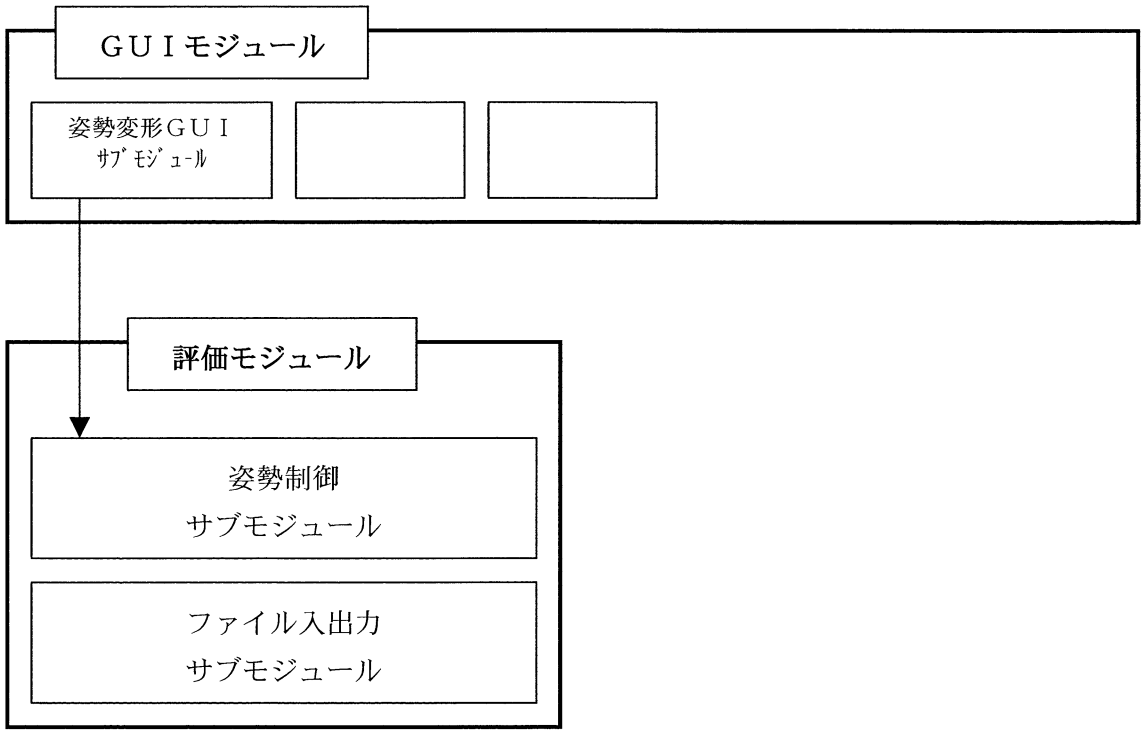
クラス名	クラス概要
CmDiaPropertyMain	モデル基本設定ダイアログのクラス
CmDiaGradeMain	モデル評価設定ダイアログのクラス
CmDrawmodeDialog	モデル表示設定ダイアログのクラス
CmDiaKinemaMain	姿勢変更ダイアログのクラス
CmInterDialog	干渉演算ダイアログのクラス
CmDiaForceMain	力学的推定ダイアログのクラス
CmSolidOutDialog	ソリッド生成ダイアログのクラス
CmScopeDialog	視野推定ダイアログのクラス
CmDiaScopePrefMain	眼の設定ダイアログのクラス
Cm2DOutDialog	２Ｄ投影変換ダイアログのクラス
CmModelBar	カレントモデル切替えコントロールバーのクラス
CmSelPartsChildDialog	パーツ選択ダイアログのクラス

２．２．３．４　モジュールの関係

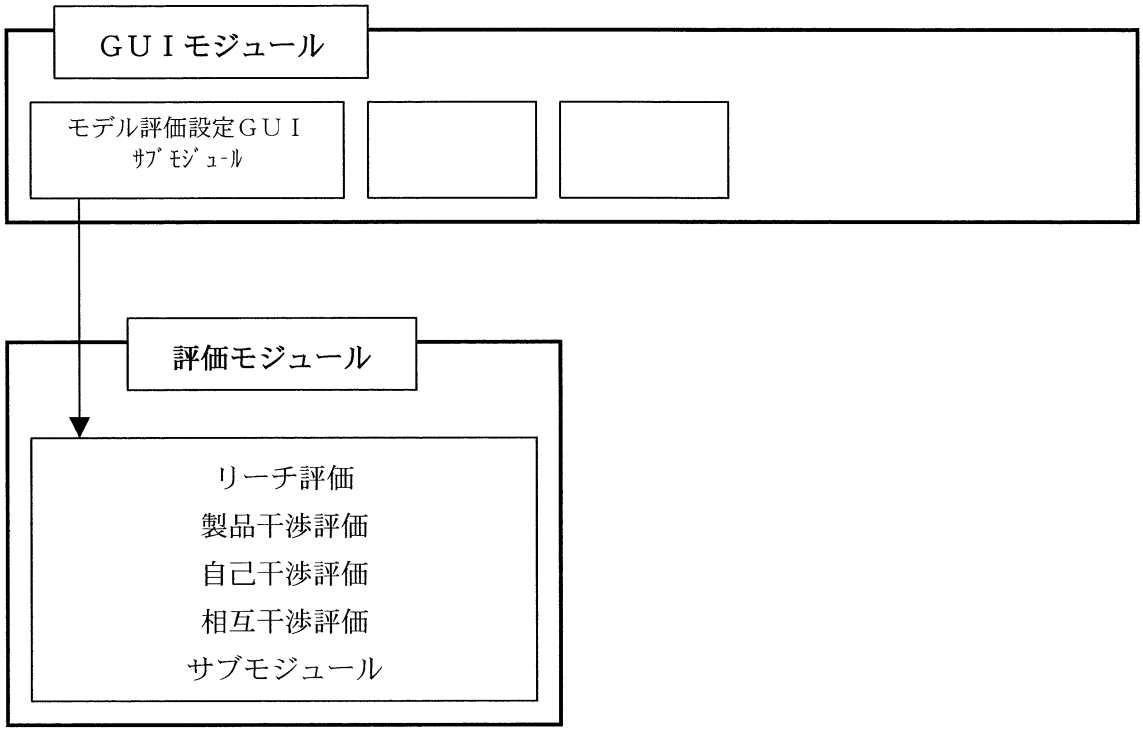
①モデル生成機能



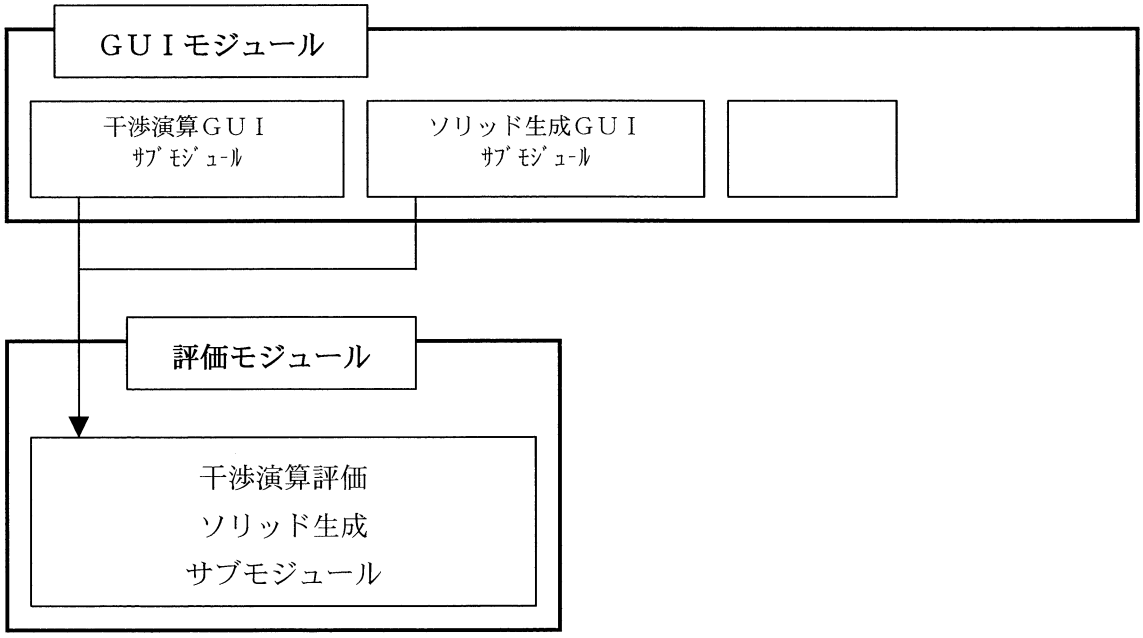
②姿勢制御機能



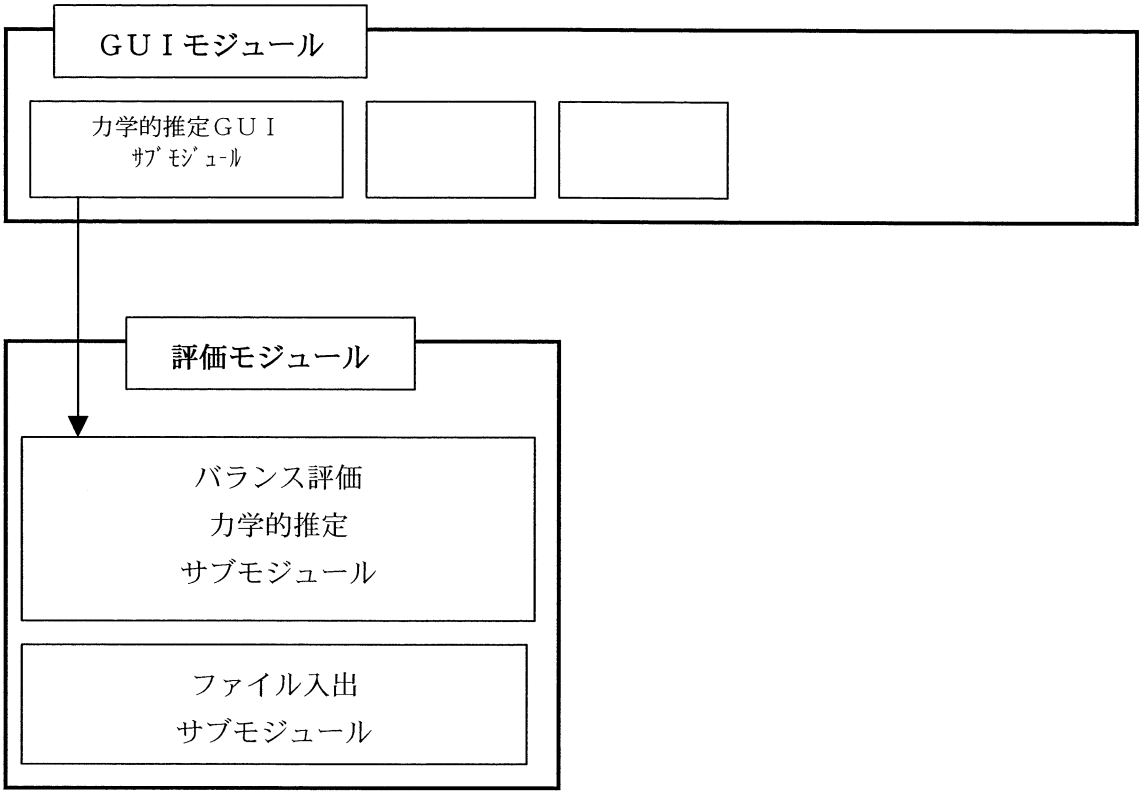
③－１）評価機能－１



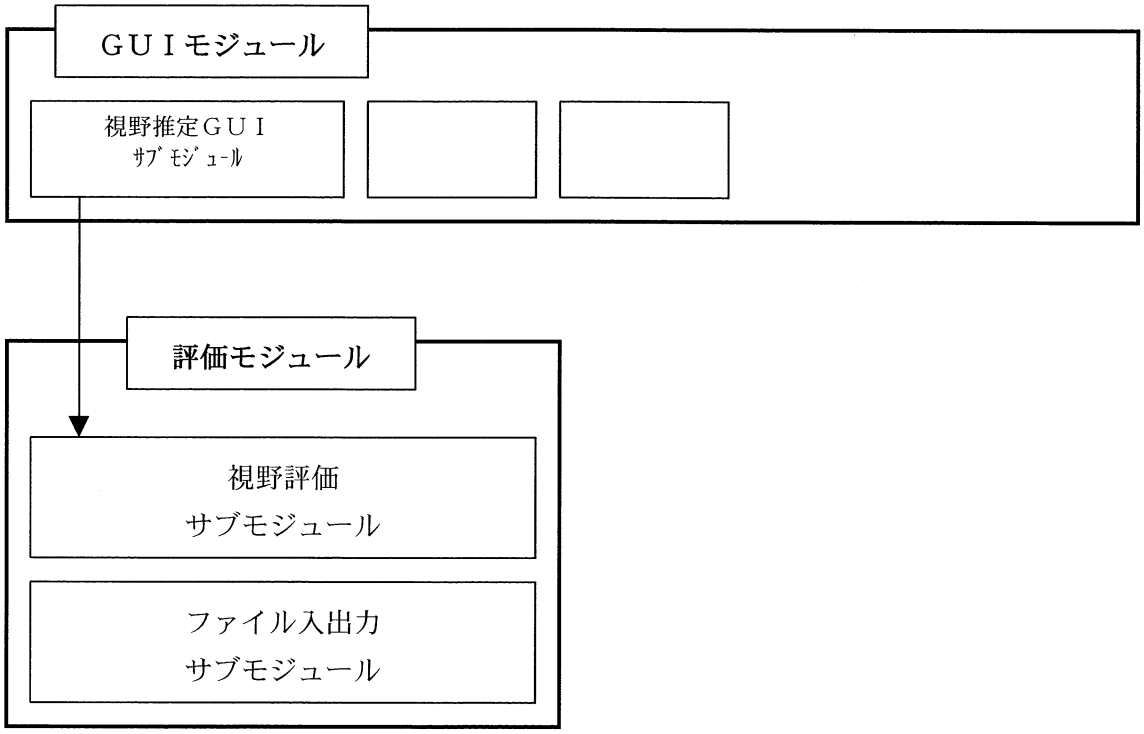
３－２）評価機能－２



③－３）評価機能－３



③－４）評価機能－４



③－５）評価機能－５

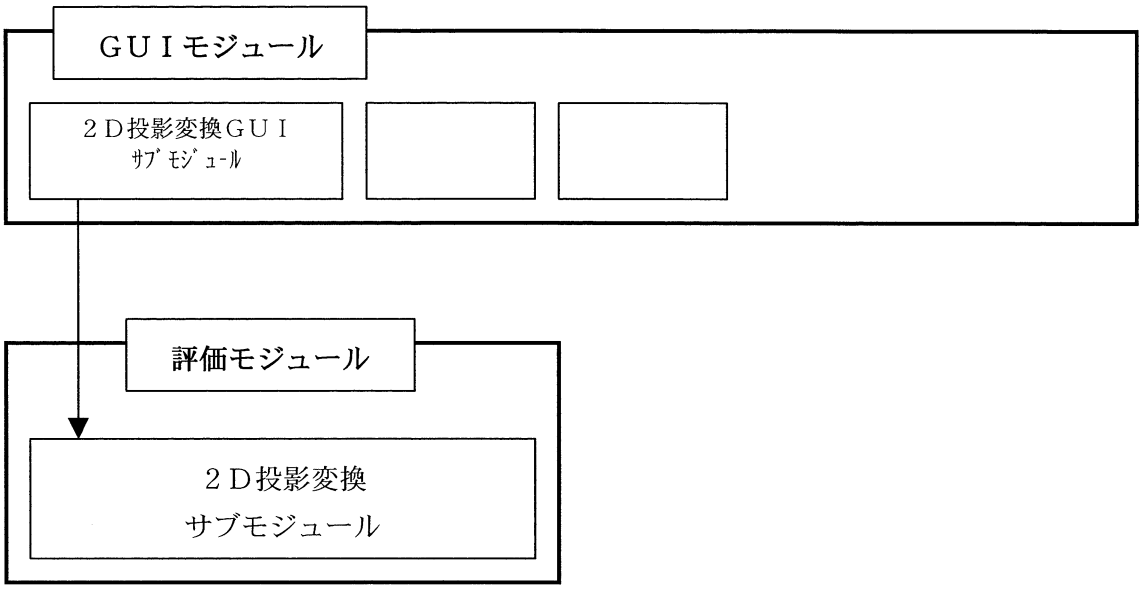


表 2.3-1　計測対象姿勢・動作と動作条件，品寸法条件

	姿勢／動作	腕条件，動作条件	使用器具
1	立位姿勢計測	体側	(校正用)
2	立位姿勢計測	両腕水平前方（手首肘伸ばす．手のひら下）	(校正用)
3	立位姿勢計測	体側	(校正用)
4	立位姿勢計測	両腕水平前方（手首肘伸ばす．手のひら下）	(校正用)
5	直立位	右腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす （体幹ひねる）	
6	直立位	右腕を体側から右，上方にあげ，左に回して降ろす （体幹ひねる）	
7	直立位	右腕を体側から水平前方，水平右，水平前方，降ろす （体幹ひねる）	
8	直立位	両腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす	
9	直立位	両腕を体側から側方，上方にあげ，側方から降ろす	
10	直立位	両腕を体側から水平前方，水平側方，水平前方，降ろす	
11	直立位	リーチング200cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
12	直立位	リーチング190cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
13	直立位	リーチング180cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
14	直立位	リーチング170cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
15	直立位	リーチング160cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
16	直立位	リーチング150cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
17	直立位	リーチング140cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
18	直立位	リーチング130cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
19	直立位	リーチング120cm 身長計から1m離れて立つ （直立位から一歩踏み出し，右手を伸ばしてさわる）	身長計
20	背伸び	両腕体側下垂	
21		両腕前上方	
22	浅い前かがみ３０度	両腕下垂	
23	浅い前かがみ３０度	右腕を下垂から前方水平にあげ，降ろす	
24	浅い前かがみ３０度	両腕を下垂から前方水平にあげ，降ろす	
25	浅い前かがみ３０度	立位から姿勢を変更し止まった後立ち上がる	
26	深い前かがみ７０度	両腕下垂	
27	深い前かがみ７０度	右腕を下垂から前方水平にあげ，降ろす	
28	深い前かがみ７０度	両腕を下垂から前方水平にあげ，降ろす	
29	深い前かがみ７０度	立位から姿勢を変更し止まった後立ち上がる	
30	浅い中腰	両腕下垂	
31		右腕を下垂から前方水平にあげ，降ろす	
32		立位から姿勢を変更し止まった後立ち上がる	
33	深い中腰	両腕下垂	
34		右腕を下垂から前方水平にあげ，降ろす（左手膝）	
35		立位から姿勢を変更し止まった後立ち上がる（左手膝）	
36	しゃがみ	立位から姿勢を変更し止まった後立ち上がる	
37	スツール（６０cm）	右腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす （体幹ひねる）	リフタ
38	スツール（６０cm）	右腕を体側から右，上方にあげ，左に回して降ろす （体幹ひねる）	リフタ
39	スツール（６０cm）	右腕を体側から水平前方，水平右，水平前方，降ろす （体幹ひねる）	リフタ
40	スツール（６０cm）	両腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす	リフタ
41	スツール（６０cm）	両腕を体側から側方，上方にあげ，側方から降ろす	リフタ
42	スツール（６０cm）	両腕を体側から水平前方，水平側方，水平前方，降ろす	リフタ
43	スツール（６０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
44	スツール（６０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
45	スツール（６０cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
46	スツール（６０cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
47	スツール（６０cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
48	スツール（５５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
49	スツール（５５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
50	スツール（５５cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
51	スツール（５５cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
52	スツール（５５cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
53	スツール（５０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
54	スツール（５０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
55	スツール（５０cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
56	スツール（５０cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
57	スツール（５０cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
58	スツール（４５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
59	スツール（４５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
60	スツール（４５cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
61	スツール（４５cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
62	スツール（４５cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ

63	スツール（４０cm）	右腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす （体幹ひねる）	リフタ
64	スツール（４０cm）	右腕を体側から右，上方にあげ，左に回して降ろす （体幹ひねる）	リフタ
65	スツール（４０cm）	右腕を体側から水平前方，水平右，水平前方，降ろす （体幹ひねる）	リフタ
66	スツール（４０cm）	両腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす	リフタ
67	スツール（４０cm）	両腕を体側から側方，上方にあげ，側方から降ろす	リフタ
68	スツール（４０cm）	両腕を体側から水平前方，水平側方，水平前方，降ろす	リフタ
69	スツール（４０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
70	スツール（４０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
71	スツール（４０cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
72	スツール（４０cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
73	スツール（４０cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
74	スツール（３５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
75	スツール（３５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
76	スツール（３５cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
77	スツール（３５cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
78	スツール（３５cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
79	スツール（３０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
80	スツール（３０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
81	スツール（３０cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
82	スツール（３０cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
83	スツール（３０cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
84	スツール（２５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
85	スツール（２５cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
86	スツール（２５cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
87	スツール（２５cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
88	スツール（２５cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
89	スツール（２０cm）	右腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす （体幹ひねる）	リフタ
90	スツール（２０cm）	右腕を体側から右，上方にあげ，左に回して降ろす （体幹ひねる）	リフタ
91	スツール（２０cm）	右腕を体側から水平前方，水平右，水平前方，降ろす （体幹ひねる）	リフタ
92	スツール（２０cm）	両腕を体側から前方，上方にあげ，後ろへ回して降ろす	リフタ
93	スツール（２０cm）	両腕を体側から側方，上方にあげ，側方から降ろす	リフタ
94	スツール（２０cm）	両腕を体側から水平前方，水平側方，水平前方，降ろす	リフタ
95	スツール（２０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を前下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
96	スツール（２０cm）	腕を上方に伸ばし胴体を側下方に倒し，元に戻す．最大	リフタ
97	スツール（２０cm）	腕を水平前方に伸ばし胴体を水平方向に倒し，胴体ごと水平に回す	リフタ
98	スツール（２０cm）	立位から座り，止まった後立ち上がる	リフタ
99	スツール（２０cm）	1，２歩歩いて，向きを変えて座る	リフタ
100	立位作業台作業（台高110cm	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
101	立位作業台作業（台高110cm	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
102	立位作業台作業（台高110cm	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
103	立位作業台作業（台高105cm	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
104	立位作業台作業（台高105cm	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
105	立位作業台作業（台高105cm	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
106	立位作業台作業（台高100cm	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
107	立位作業台作業（台高100cm	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
108	立位作業台作業（台高100cm	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
109	立位作業台作業（台高95cm）	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
110	立位作業台作業（台高95cm）	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
111	立位作業台作業（台高95cm）	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
112	立位作業台作業（台高90cm）	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
113	立位作業台作業（台高90cm）	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
114	立位作業台作業（台高90cm）	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
115	立位作業台作業（台高85cm）	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
116	立位作業台作業（台高85cm）	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
117	立位作業台作業（台高85cm）	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
118	立位作業台作業（台高80cm）	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
119	立位作業台作業（台高80cm）	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
120	立位作業台作業（台高80cm）	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
121	立位作業台作業（台高75cm）	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
122	立位作業台作業（台高75cm）	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
123	立位作業台作業（台高75cm）	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ
124	立位作業台作業（台高70cm）	立位から作業台に両手をつけ体重をかけ，右手リーチング190cm	リフタ
125	立位作業台作業（台高70cm）	立位から洗顔姿勢をとる	リフタ
126	立位作業台作業（台高70cm）	床から両手でモノを乗せてモノを降ろす．	リフタ 5kgダンベ

127	座位作業台作業（台高85cm）	座位で作業台に両手のひらをつけ軽く押さえる （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
128	座位作業台作業（台高85cm）	リーチング150cm：座位で作業台に両手のひらをつけ右手を伸ばす （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
129	座位作業台作業（台高80cm）	座位で作業台に両手のひらをつけ軽く押さえる （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
130	座位作業台作業（台高80cm）	リーチング150cm：座位で作業台に両手のひらをつけ右手を伸ばす （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
131	座位作業台作業（台高75cm）	座位で作業台に両手のひらをつけ軽く押さえる （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
132	座位作業台作業（台高75cm）	リーチング150cm：座位で作業台に両手のひらをつけ右手を伸ばす （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
133	座位作業台作業（台高70cm）	座位で作業台に両手のひらをつけ軽く押さえる （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
134	座位作業台作業（台高70cm）	リーチング150cm：座位で作業台に両手のひらをつけ右手を伸ばす （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
135	座位作業台作業（台高65cm）	座位で作業台に両手のひらをつけ軽く押さえる （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
136	座位作業台作業（台高65cm）	リーチング150cm：座位で作業台に両手のひらをつけ右手を伸ばす （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
137	座位作業台作業（台高60cm）	座位で作業台に両手のひらをつけ軽く押さえる （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
138	座位作業台作業（台高60cm）	リーチング150cm：座位で作業台に両手のひらをつけ右手を伸ばす （作業座位，椅子高最適，椅子位置最適）	リフタ 丸椅子
139	踏み台に乗る，降りる	台高10cm	リフタ
140	踏み台に乗る，降りる	台高15cm	リフタ
141	踏み台に乗る，降りる	台高20cm	リフタ
142	踏み台に乗る，降りる	台高25cm	リフタ
143	踏み台に乗る，降りる	台高30cm	リフタ
144	踏み台に乗る，降りる	台高35cm	リフタ
145	踏み台に乗る，降りる	台高40cm	リフタ
146	踏み台に乗る，降りる	台高45cm	リフタ
147	踏み台に乗る，降りる	台高50cm	リフタ
148	踏み台に乗る，降りる	台高55cm	リフタ

表 2.3-2　形態計測項目

No.	基本項目	高さ項目	周長項目	幅，厚径項目	長さ項目
1	生年月日	座高	上部胸囲	頭幅	肩峰・肘頭距離
2	年齢	座位内眼角高	乳頭部胸囲	瞳孔間幅	前方前腕長[前腕手
3	性別	座位肩峰高	ウエスト囲	肩幅	頭長
4	体重	頚椎高	ヒップ囲	肩峰幅	上肢長
5	身長	腸骨稜高	臀囲	殿幅	上腕長
6		上前腸骨踵高	上腕囲	ウエスト幅	前腕長
7		大転子高	前腕最大囲	ヒップ幅	手長
8		頸骨点高	手首囲り	座位壁面・腹部前面	手掌長
9		座位膝蓋骨上縁高	手囲2	座位大腿厚	手幅
10		外果高	大腿囲		最大手幅
11		内果端高	下腿最大囲		第三指手長
12			下腿最小囲		最大手幅(手軸直交)
13			ヒール囲		大腿長
14			足囲		下腿長
15					足長
16					足幅(足軸直交)
17					足幅

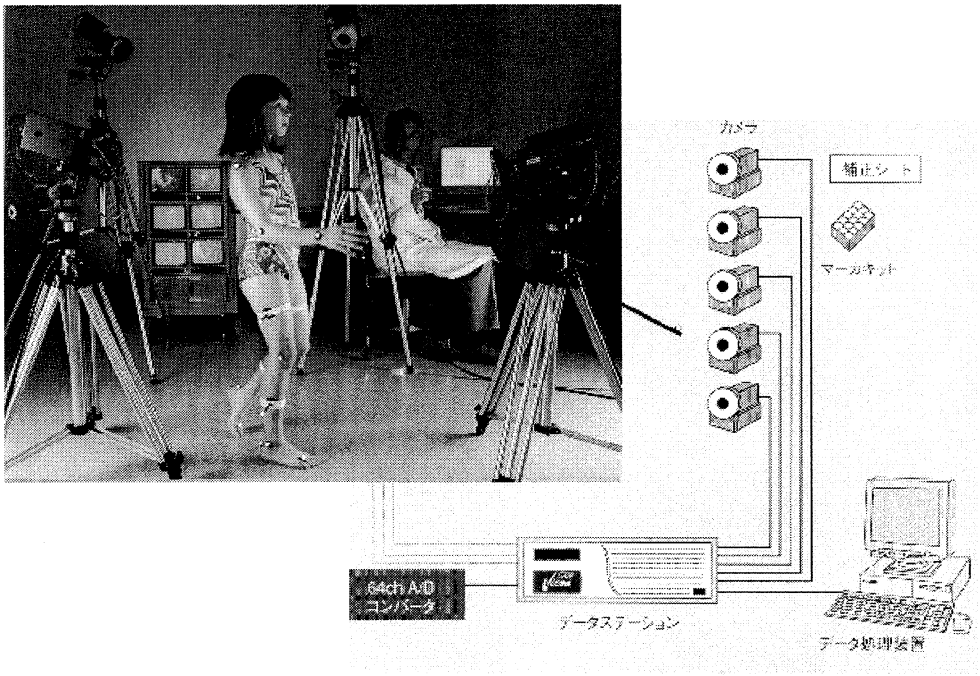


図 2.3-1　3 次元モーションキャプチャ装置

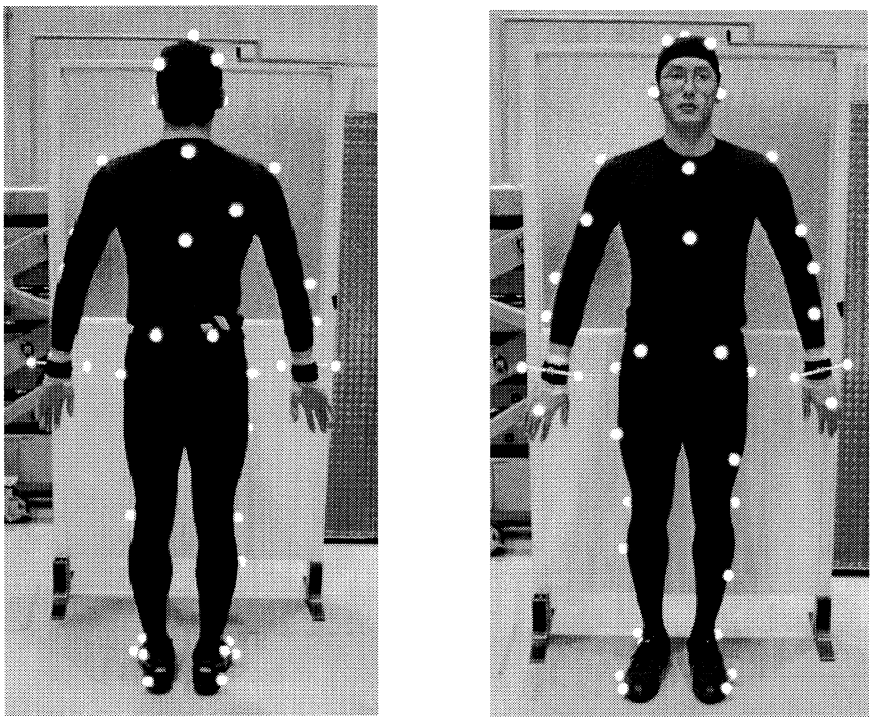
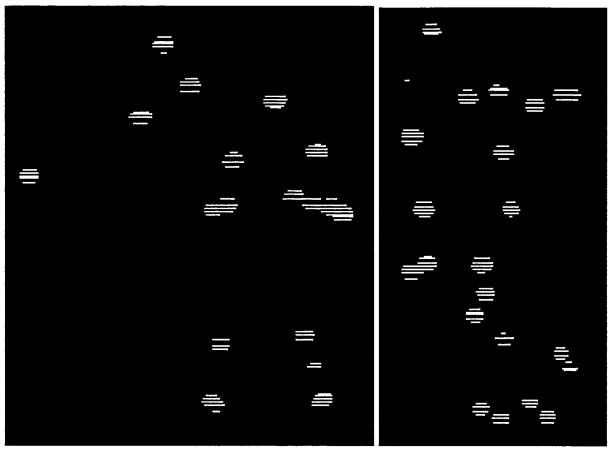
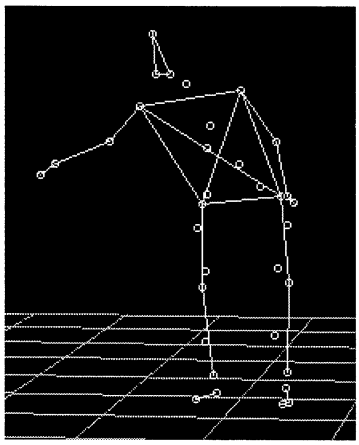


図 2.3-2　動作計測用標点マーカーをつけた被験者



生ビデオ画像



実長換算後の３次元スティック
ピクチャ画像

図 2.3-3　モーションキャプチャ装置による動作画像の計測と処理

(2-3) 被験者

被験者は健康な７名の若年成人男性。動作の遂行に支障をきたす心身の障害は持っていない。

(2-4) 計測対象動作

計測対象動作は表（計測対象姿勢・動作と動作条件、品寸法条件）に示したとおり。また、図 2.3-4～図 2.3-7 には動作計測の様子を示した。図 2.3-8 には、実長換算後の標点の３次元位置座標のスティックピクチャ図の例を示した。

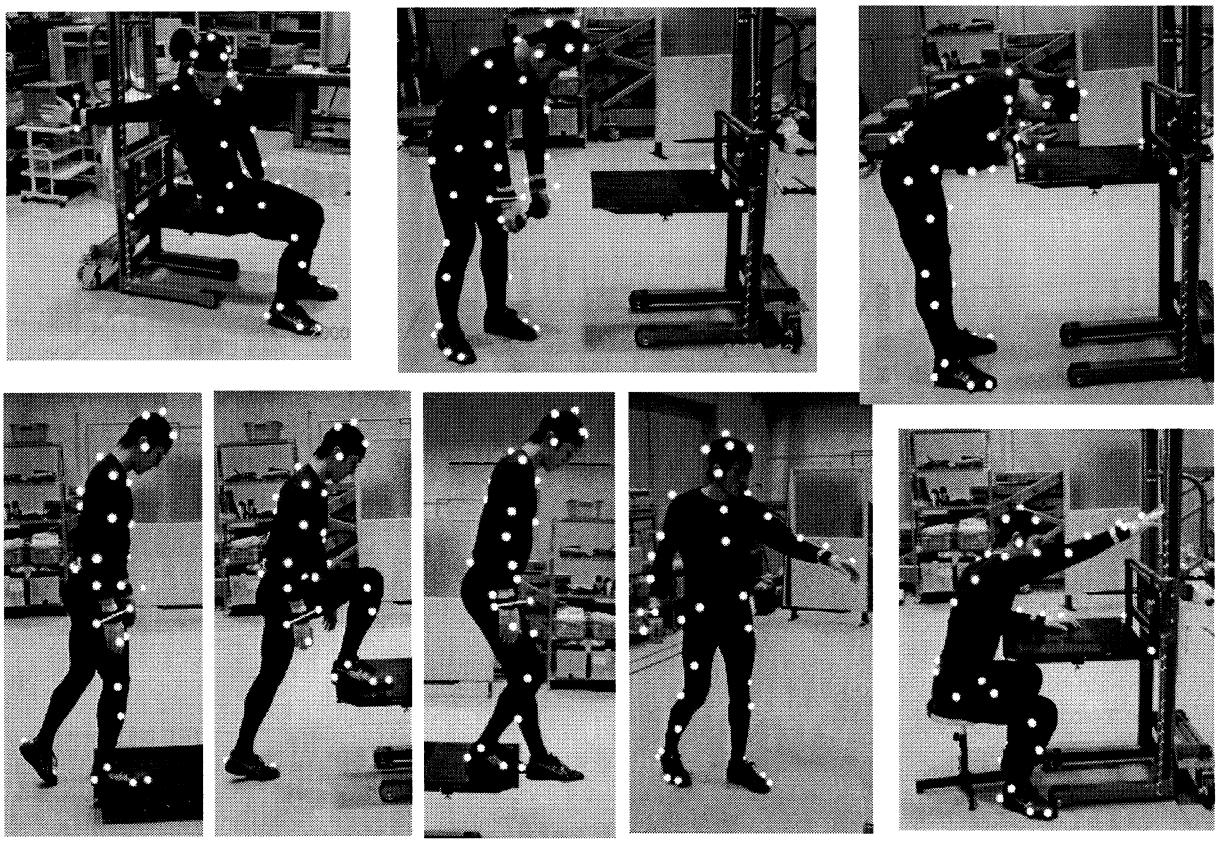


図 2.3-4　計測対象動作の例

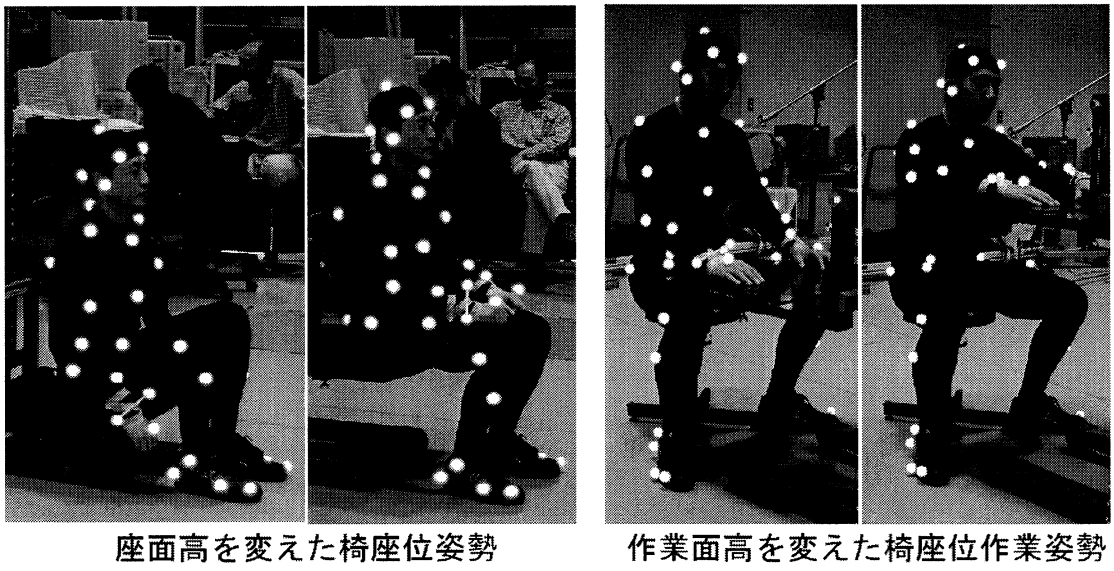


図 2.3-5　椅座位姿勢計測の様子

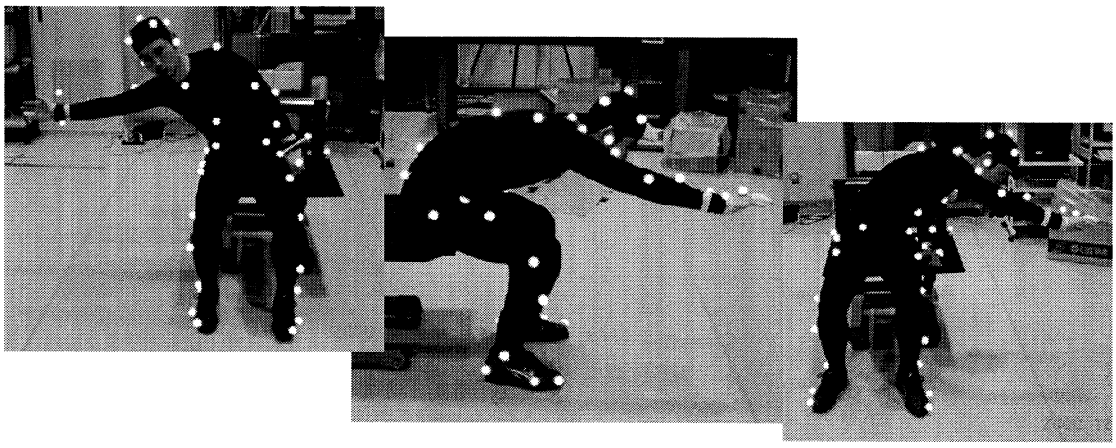


図 2.3-6　椅座位姿勢でのリーチング動作・到達域の計測の様子（座面高 50cm の場合）

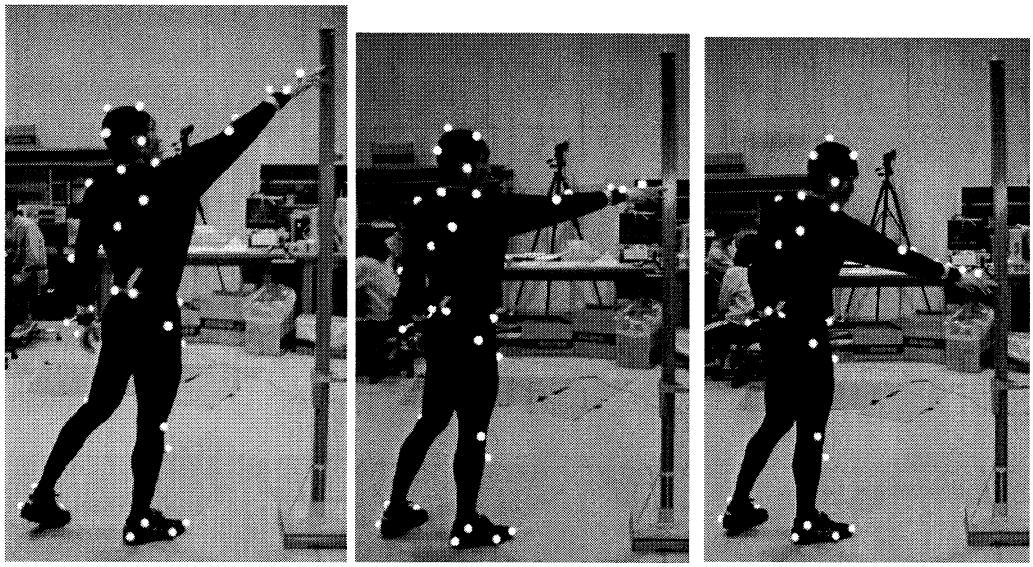


図 2.3-7　立位リーチング動作計測の様子（左から，ターゲット高 200cm，160cm，120cm）

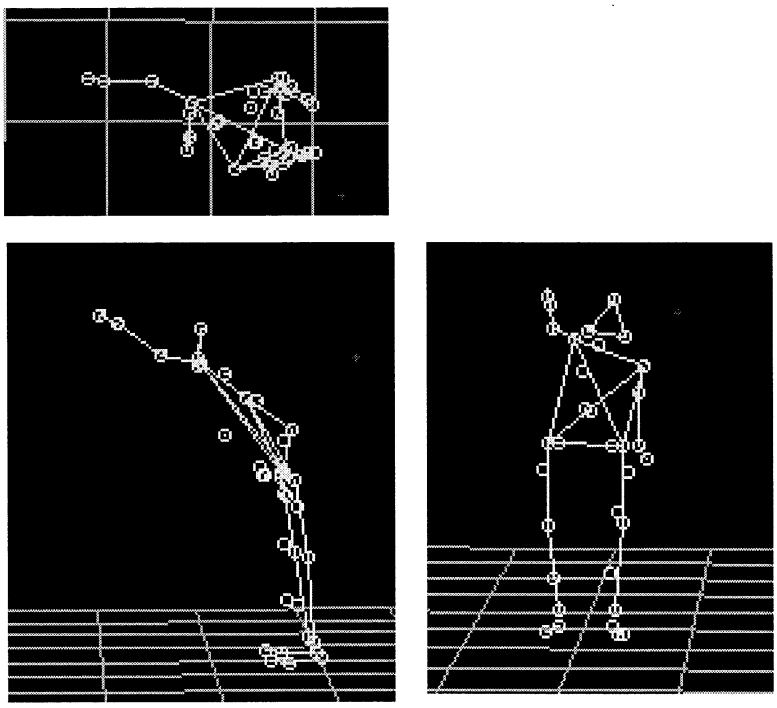


図 2.3-8　取得した３次元姿勢データの例（立位作業時のリーチング）

(3) 動作データベース

以上で計測した動作データの格納・検索・登録等と動態モデルの動作機構データ格納・検索等のために、動作データベースを開発したので、その概要を以下に示す。動作計測データについてのデータベースを1次動作データベース、動作機構データのデータベースを2次動作データベースとする。

(3-1) 1次動作データベース属性

属性データとして、以下のデータを考える。

a) 1次動作データ情報

1次動作データ（動作計測データ）情報

No.	標準データ項目名	データ項目の意味	ﾃﾞｰﾀﾀｲ	桁数	コード定義票No.
1	計測No.	計測キー	文字	8	
2	計測実施日	VICONデータの計測実施日	日付	-	
3	動作種類	計測時の動作種類	日本語	100	
4	参照マーカデータパス	マーカーデータファイル所在パス	文字	128	
5	参照データパス	データファイルの所在パス	文字	128	
6	被験者No.	被験者キー	文字	8	
7	被験者氏名	被験者氏名	日本語	20	
8	被験者年齢	被験者年齢	数字	3	
9	被験者性別	被験者性別	文字	1	性別
10	被験者身長	被験者身長	数字	5(F5.1)	
11	被験者体重	被験者体重	数字	5(F5.1)	
12	障害／病気暦	被験者の障害／病気暦	日本語	200	
13	現在／過去の職業	職業自由文	日本語	200	
14	登録日	参照データの登録日	日付	-	
15	更新日	参照データの更新日	日付	-	

参考：上記データ項目に対し、検索キーは次の項目とする。

No.	標準データ項目名	データ項目の意味	ﾃﾞｰﾀﾀｲ	桁数	コード定義票No.
1	計測No.	計測キー	文字	8	
2	計測実施日	VICONデータの計測実施日	日付	-	
3	動作種類	計測時の動作種類	日本語	100	
4	被験者No.	被験者キー	文字	8	
5	被験者氏名	被験者氏名	日本語	20	
6	被験者年齢	被験者年齢	数字	3	
7	被験者性別	被験者性別	文字	1	性別
8	被験者身長	被験者身長	数字	5(F5.1)	
9	被験者体重	被験者体重	数字	5(F5.1)	
10	登録日	参照データの登録日	日付	-	
11	更新日	参照データの更新日	日付	-	

b) 被験者情報

1次動作情報で参照する被験者情報を管理する。

No.	標準データ項目名	データ項目の意味	ﾃﾞｰﾀﾀｲ	桁数	コード定義票No.
1	被験者No.	被験者キー	文字	8	
2	被験者氏名	被験者氏名	日本語	20	
3	被験者年齢	被験者年齢	数字	3	
4	被験者性別	被験者性別	文字	1	性別
5	被験者身長	被験者身長	数字	5(F5.1)	
6	被験者体重	被験者体重	数字	5(F5.1)	
7	人種	被験者人種			
8	血液型	被験者血液型	文字	3	血液型
9	出生国	被験者の出生国	日本語	50	
10	出生地域	被験者の出生地域	日本語	50	
11	現住国	被験者の現住国	日本語	50	
12	現住地域	被験者の現住地域	日本語	50	
13	障害／病気暦	被験者の障害／病気暦	日本語	200	
14	現在／過去の職業	職業自由文	日本語	200	
15	身体形態:上肢長	身体形態の上肢長	文字	10	
16	身体形態:下肢長	身体形態の下肢長	文字	10	
17	身体形態:足長	身体形態の足長	文字	10	
18	身体形態:体型	身体形態の体型	文字	10	
19	基礎体力:握力	基礎体力の握力	文字	10	
20	基礎体力:脚伸展力	基礎体力の脚伸展力	文字	10	
21	基礎体力:反応時間	基礎体力の反応時間	文字	10	
22	基礎体力:重心動揺	基礎体力の重心動揺	文字	10	
23	関節可動範囲:下肢:最大	?			
24	関節可動範囲:下肢:最小	?			
25	関節可動範囲:上肢:最大	?			
26	関節可動範囲:上肢:最小	?			
27	生活習慣	喫煙暦・飲酒暦・趣味・スポーツ・運動暦・習慣・運転暦を記述した自由	日本語	200	
28	登録日	被験者データの登録日	日付	-	
29	更新日	被験者データの更新日	日付	-	

(3-2) 1 次動作データベースデータファイル

a) マーカー

マーカーは、VICON 出力情報をそのままファイルとして格納する。

b) 1 次動作データ

1 次動作データは、VICON 生データに対し、空白を区切り文字に変換した固定小数である。欠落データについては、"s"で表現する。

(3-3) 2 次動作データベース属性

a) 2 次動作データ情報

2 次動作データを管理する。

No.	標準データ項目名	データ項目の意味	ﾃﾞｰﾀﾀｲ	桁数	コード定義票No.
1	動作No.	動作キー	文字	8	
2	動作種類	生成した動作の種類	日本語	100	
3	参照キーフレーム	キーフレームの所在パス	文字	128	
4	参照軌跡生成	軌跡生成の所在パス	文字	128	
5	参照動作固有	動作固有の所在パス	文字	128	
6	基準年齢	動作生成基準となった年齢	数字	3	
7	基準性別	動作生成基準となった性別	文字	1	性別
8	基準身長	動作生成基準となった身長	数字	5(F5.1)	
9	基準体重	動作生成基準となった体重	数字	5(F5.1)	
10	登録日	生成した動作の登録日時	日付	-	
11	更新日	生成した動作の更新日時	日付	-	

参考：上記データ項目に対し、検索キーは次の項目とする。

No.	標準データ項目名	データ項目の意味	ﾃﾞｰﾀﾀｲ	桁数	コード定義票No.
1	動作No.	動作キー	文字	8	
2	動作種類	生成した動作の種類	日本語	100	
3	基準年齢	動作生成基準となった年齢	数字	3	
4	基準性別	動作生成基準となった性別	文字	1	性別
5	基準身長	動作生成基準となった身長	数字	5(F5.1)	
6	基準体重	動作生成基準となった体重	数字	5(F5.1)	
7	登録日	生成した動作の登録日時	日付	-	
8	更新日	生成した動作の更新日時	日付	-	

(3-4) 2次動作データベースデータファイル

a) キーフレームデータ

キーフレームデータは、以下のデータを格納したファイルである。

- 動作機構種類（文字列）
- キーフレームリスト要素数（整数）

----要素数分繰り返し----------

- キーフレーム名（文字列）
- 動作タイプフラグ（0：関節性能基準； 1：時間基準動作； 整数）
- 動作時間（実数）
- 始終経由点フラグ（0：始点； 1：経由点； 2：終点； 整数）
- 関節性能数値列（スペースで区切られた実数）
- 姿勢データ（スペースで区切られた実数）

----

b) 軌跡生成データ

軌跡生成データは、以下のデータを格納したファイルである。

- 軌跡種類（0：3次スプライン； 1：ベジェ； 2：多点指定スプライン； 整数）
- 軌跡生成パラメータ（スペース、改行で区切られた実数）

c) 動作特性データ

動作特性は、以下のデータを格納したファイルである。

- 動作固有データ（改行で区切られた実数）

動作固有データは動作毎にその個数等が異なる。それぞれの動作毎の動作固有パラメータは以下に挙げる通り。

- 歩行動作：基準歩幅、設定歩幅、両脚支持期前脚割合、同後脚割合、遊脚姿勢制御点割合、遊脚姿勢制御角度
- 階段上昇動作：両脚支持後脚のかかと蹴上角度、同前脚前傾係数
- 着座動作：上体前傾最大角度

２．３．１．２ 基本動作の生成技術

(1) 動態モデル骨格・形状モデル

(1-1) 寸法、身体特性属性

人間の特性を反映した動作シミュレーションを行うためには、動態モデルに正確な身体寸法、関節可動域、体重などのデータを属性として正しく設定し、それらの属性データを用いて動作を生成する必要がある。正しい属性データと動作生成ルールにより、初めて環境・製品の全うな評価を行うことができると考えられる。

この考えに基づき、動態モデルにおいても、身体寸法データとしてHQLが3万人の被験者について計測を行った178項目の寸法項目を用いることとした。このHQL寸法DB を使用することにより、高齢者、若年者のそれぞれの平均的な身体寸法をもつ骨格・形状モデルを生成することができる。さらに、関節可動域データ、身体部位の体重比率、重心位置、慣性モーメントなどの特性データについても文献値を参照し、年齢、性別での平均的データを得て、動態モデルの属性とすることとした。また、質量比と体重、寸法データより動態モデルの平均密度を求めて、寸法変更による体重変化なども表現することを可能とした。

動態モデルを作成するには、HQL 寸法DBの178項目全てを使用するわけではなく、178項目のHQLデータから形状モデル作成に必要な25データ項目（表2.3-3）をピックアップし、それを用いることとした[1]。このデータを過去の HQL コンピュータ・マネキンプロジェクトにより求められた推定公式[1]に則り、25のデータ項目を48種類の人間モデル外形状モデル作成用データへ変換した。動態モデルの研究開発の主眼は動作生成機能の開発であるので、モデルの外形状は簡易的なポリゴンで表現し、姿勢変更による変形などは考慮しないものとした。

動態モデルのキネマティクスに必要なリンク群のジオメトリの決定は、HQLの関節位置推定式[2]を形状作成について不整合の発生する箇所を修正し、採用することとした。なお、これらの推定式、寸法データは形態モデルで用いているものと同一ものである。

表2.3-4（男性）、表2.3-5（女性）に関節位置推定式を示した。

表 2.3-3　動態モデル骨格・形状決定に用いる寸法項目

HQL項目名	HQL No.	項目
AGE		年令
STR002	26	身長
MBW007	1	体重
MHE019	10	全頭高
MHE013	10	頭長
MHE016	15	頭幅
MHE046	24	頚囲
LTR031	41	肩峰幅
LTR036	30	頚椎高
LLL023	156	上前腸骨踝高
MTR070	67	ウエスト囲
LTR035	51	ヒップ幅
LUL010	103	前腕長
MUL057	115	前腕最大囲
LUL009	102	上腕長
MUL055	113	上腕囲
LHA003	116	手長
LHA002	121	最大手幅
CLL001	165	大腿長
MLL071	169	大腿囲
CLL002	166	下腿長
MLL073	171	下腿最大囲
LLL028	163	内果端高
MFT026	174	足長
MFT027	175	足幅

表 2.3-4　主要関節点位置推定式（男性）

関節点名	X(厚)	Y(幅)	Z(高)
頭蓋・脊柱間	0	0	耳珠高
頚・胸椎間	0	0	頚椎高
胸・腰椎間	0	0	頚・胸椎間関節点と股間点の中点
腰・仙椎間	0	0	胸・腰椎間関節点と股間点を結ぶ線上の股間点から1/3の点
肩	0	0.447×肩峰幅	肩峰高－0.094×肩峰幅
肘	0	肘間幅／2	橈骨点＋(0.0478×前腕長)
手根	0	肘間幅／2	肘関節位置－1.07×前腕長
股	0	0.241025×(ウエスト幅＋ヒップ幅)	腸骨棘高－0.02975×(ウエスト幅＋ヒップ幅)
膝	0	0.241025×(ウエスト幅＋ヒップ幅)	脛骨上縁高＋0.0723×下腿長
足根	0	0.241025×(ウエスト幅＋ヒップ幅)	脛骨上縁高－1.0345×下腿長
頭頂	0	0	身長
股間	0	0	股下高
手指尖	0	±肘間幅／2	指尖高
足指尖	足長	0	0

表 2.3-5　主要関節点位置推定式（女性）

関節点名	X(厚)	Y(幅)	Z(高)
頭蓋・脊柱間	0	0	耳珠高
頚・胸椎間	0	0	頚椎高
胸・腰椎間	0	0	頚・胸椎間関節点と股間点の中点
腰・仙椎間	0	0	胸・腰椎間関節点と股間点を結ぶ線上の股間点から1/3の点
肩	0	0.44×肩峰幅	肩峰高－0.096×肩峰幅
肘	0	肘間幅／2	橈骨点＋(0.0572×前腕長)
手根	0	肘間幅／2	肘関節位置－1.06×前腕長
股	0	0.242375×(ウエスト幅＋ヒップ幅)	腸骨棘高－0.048×(ウエスト幅＋ヒップ幅)
膝	0	0.242375×(ウエスト幅＋ヒップ幅)	脛骨上縁高＋0.0703×下腿長
足根	0	0.242375×(ウエスト幅＋ヒップ幅)	脛骨上縁高－1.0297×下腿長
頭頂	0	0	身長
股間	0	0	股下高
手指尖	0	±肘間幅／2	指尖高
足指尖	足長	0	0

(1-2) リンク構造

動作生成の表現力、精度を向上させるためには、動態モデルのリンク数、関節自由度数などのモデルのリンク構造が極めて重要となる。きめ細やかな動作表現を実現するためには多くの自由度を有することが理想的ではあるが、必要以上に多くの自由度を有すると、インバースキネマティクス計算などで解を求められないパターンが増えるなど、動作生成の際に不都合をきたす。

これらの要因のトレードオフにより動態モデルでは、全身で 24 リンクとした。内訳は、頭部、頚部、胴体部 1、胴体部 2、骨盤部、（肩甲骨部、鎖骨部、上腕部、前腕部、手部、大腿部、脚部、足部、足先部）×2（左右）となる。関節自由度は、全身で 42 自由度とした。リンク構造、関節自由度を図 2.3-9 に示した。

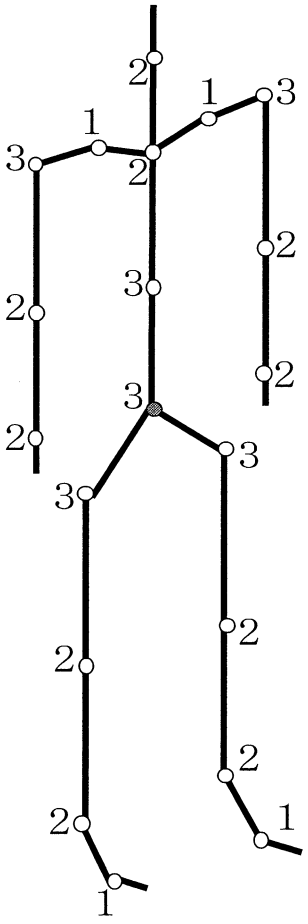


図 2.3-9　動態モデル関節自由度

(1-3) 関節可動域

腕、脚の各関節に関しては、性別、年齢別に関節可動域が調べられている。関節可動域データベースのデータ項目は性別、年齢 1、年齢 2（データが年齢 1 以上、年齢 2 未満）、関節可動域値（肩関節屈曲、肩関節伸展、肩関節外転、肩関節内転、肩関節外旋、肩関節内旋、肘関節屈曲、肘関節伸展、前腕回内、前腕回外、手関節背屈、手関節掌屈、股関節屈曲、股関節伸展、股関節外転、股関節内転、股関節外旋、股関節内旋、膝関節屈曲、膝関節伸展、足関節背屈、足関節底屈）をもつ（表 2.3-6）。データは、渡辺ら[3]、岡部ら[4]のものを用いた。

表 2.3-6　関節可動域データ例

性別	年齢1	年齢2	肩関節屈曲	肩関節伸展	…	足関節底屈
m	20	30	180	60		90
f	50	60	170	45		80

(1-4) 身体特性データ

重心計算、負担計算などを行う際に必要となる身体各部位の慣性特性として、質量比、質量中心比、回転半径比の 3 つの特性量が、頭部、胴体、上腕、前腕、手、大腿、下腿、足の各部位毎に求められている。

- 質量比：身体質量に対する部分質量の比
- 質量中心比：部分長に対する中枢端（上端）から質量中心までの距離の比
- 回転半径比：部分長に対する回転半径の比

各データファイルはヘッダーとして、性別、サンプル数、平均年齢、平均身長、平均体重をもち、表 2.3-7 のような構造のテーブルデータを持つ。データは、岡田ら[5]、阿江ら[6]、横井らのものを用いた。

表 2.3-7　身体特性データ例

	頭部	胴体	上腕	前腕	手	大腿	下腿	足
質量比	9.1	49.7	2.5	1.7	0.8	9.2	4.7	1.7
質量中心比	86.9	49.8	54.9	42.7	82.0	48.1	42.3	58.1
回転半径比(x)	50.7	36.8	25.5	28.6	54.5	27.2	26.3	23.3
回転半径比(y)	52.0	37.2	25.6	28.6	53.7	28.3	28.4	12.6
回転半径比(z)	41.8	19.9	11.8	11.2	29.2	17.1	14.4	23.5

(1-5) 身体体積計算

HQL 寸法項目にある体重と、モデル形状から求められる近似体積の関係から、身体の平均密度を求める。近似体積を求めるモデル形状は、2 つの楕円と高さによって規定される形状とした。

2 つの底面の長軸、短軸をそれぞれa_1, b_1, a_2, b_2、高さをhとしたとき（参照）、求める近似体積Vは、

$a_1 > a_2$とすると、

（ｉ）$b_1 \geq b_2$のとき

$$V = \int_0^h \pi \left\{ (a_1 - a_2)\frac{x}{h} + a_2 \right\} \left\{ (b_1 - b_2)\frac{x}{h} + b_2 \right\} dx$$
$$= \pi h \left[\frac{(a_1 - a_2)(b_1 - b_2)}{3} + \frac{b_2(a_1 - a_2) + a_2(b_1 - b_2)}{2} + a_2 b_2 \right].$$

（ii）$b_1 < b_2$のとき

$$V = \int_0^h \pi \left\{ (a_1 - a_2)\frac{x}{h} + a_2 \right\} \left\{ (b_2 - b_1)\frac{h - x}{h} + b_1 \right\} dx$$
$$= \pi h \left[\frac{(a_1 - a_2)(b_2 - b_1)}{6} + \frac{b_1(a_1 - a_2) + a_2(b_2 - b_1)}{2} + a_2 b_1 \right].$$

となる。

モデル形状では、以上の身体部位近似体積単位が 17 個ある（頭部、頚部、胴体部 1・2、腰部、（左右）腕部 1・2、（左右）手部、（左右）脚部 1・2、（左右）足部）。それぞれの体積の合計を身体全体の近似体積として求め、体重を割ることにより平均密度を計算する。また、ユーザが寸法項目を変更した場合は、身体の近似体積を計算し直し、それに平均密度を乗じて体重を求めることも出来るものとした。

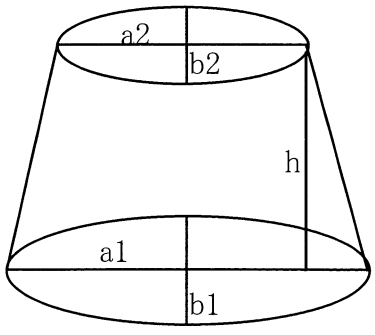


図 2.3-10　モデル近似体積計算単位形状

(2) 動作生成技術

動作生成、評価における基本技術は、本システムのコアとなる技術の一つである。その要素技術としては以下の5つの項目を挙げることができる。

- 複合逆運動学
- パスプラン（軌道生成）
- キーフレーム
- 軌跡指定
- 動作機構

それぞれの項目について以下に述べる。

(2-1) 複合逆運動学

本システムでは、動態モデルを剛体リンク系で近似するので、その動作記述は運動学を基準とすることができる。運動学とは、3次元空間においてリンクの構造を位置、姿勢を4×4行列のフレーム、回転・並進変換を基準に決定する体系である。剛体リンク系の姿勢を決定する手法としては、順運動学と逆運動学とがある。

本システムでは、手腕系の7自由度（肩3；肘2；手首2）の逆運動学計算に加え、胴体部を含める冗長自由度系の逆運動学計算を可能とした。

基本的な解法としては、腕部のみのリーチ制約により届かない教示点を指定した場合は胴体部の関節自由度を漸次変化させていき、その都度腕系の逆運動学計算を行い、解が求められた場合には、それを解とする繰り返し計算の手法を用いている。

実際に開発した複合逆運動学の機能としては以下のものがある。

- 股関節屈曲の前傾＋腕逆運動学計算
- 腰部関節の屈曲による前傾＋腕逆運動学計算
- 腰部関節のねじりと屈曲＋腕逆運動学計算
- 腹部関節の屈曲による前傾＋腕逆運動学計算
- 腹部関節のねじりと屈曲＋腕逆運動学計算

また、身体部位のうちで複数の点を固定させた制約条件の下で動作を生成するための機能についても複合逆運動学の機能として計算を行った。多点拘束系の場合、左右腕、もしくは脚のいずれかの身体部位を駆動系としてその関節基準で身体重心位置を決定して、残りの部位についての逆運動学計算を行い、姿勢を決定する必要がある。この駆動系と高速点との関係をそれぞれの動作の必要性に応じて使い分けることによって、より微妙な動作の表現が可能になったと考えている。

ただし、どの動作のどのようなケースで、どの点を拘束してどの部位を駆動系にすれば良いかという知見は、シミュレーションから得られるものではなくて、基本的には動作計測の観察、解析の

結果から得られるものである。それらの知見を元に、様々な身体寸法、製品・環境寸法に適合した動作を柔軟に生成するための基盤システムとして本動態モデルシステムは位置付けられる。

多点拘束動作の具体的なパターンとしては、以下のものが考えられる。

- 右手拘束、右脚駆動
- 左手拘束、右脚駆動
- 両手拘束、右脚駆動
- 右手拘束、左脚駆動
- 左手拘束、左脚駆動
- 両手拘束、左脚駆動
- 右足拘束、右腕駆動
- 左足拘束、右腕駆動
- 両足拘束、右腕駆動
- 右足拘束、左腕駆動
- 左足拘束、左腕駆動
- 両足拘束、左腕駆動

(2-2) パスプラン（軌道生成）

サーボモータにより駆動されるマニピュレータを望ましい軌道に沿わせて動作させるための手法として、パスプラン（軌道生成）の方法がある。明らかにマニピュレータの軌道としては、目標姿勢に到達するまでに各関節が滑らかに駆動され、マニピュレータの動作軌跡が滑らかなものとなることが望ましい。

動態モデルの関節は、それぞれの関節毎に 1～3 個の自由度を有する。実際の関節は滑りなどがあるが、動態モデルに採用する関節モデルとしては、各関節自由度がホールピンタイプの関節であると仮定する。

動態モデルは多数の関節自由度をもつが、パスプラン計算では、各自由度毎に計算した動作時間・動作性能を組み上げていき、全体の姿勢を生成することとした。

本システムでは、関節の各自由度の角速度時間プロファイルが線形となる場合と、それを 2 次、3 次関数で滑らかに補間する場合について開発を行った。

加速—等速—減速をモデル化した線形速度パスプランを非線形関数による関節変位時系列記述の非線形パスプランに拡張する。線形パスプランでは、加速度、等速度、減速度の関節性能を与えることにより動作生成を行ったが、非線形パスプランでは、各キーフレームでの関節変位、関節変位角速度（＋3 次の場合は動作時間）を与えることとなる。計算のロジックを以下に示す。

a) 2 次関数によるパスプラン

関節変位の時間tに関する 1 価の関数$f(t)$とすると、

$$f(t) = \alpha t^2 + \beta t + \gamma$$

として、境界条件は動作開始時$t = 0$の変位値x_S、速度v_S、動作終了時$t = T$での変位値x_G、速度v_Gを与えるものとする。

これらの境界条件を代入することにより、

$$\gamma = x_S,$$
$$\beta = v_S,$$
$$\alpha T^2 + \beta T + \gamma = x_G,$$
$$2\alpha T + \beta = v_G.$$

を得る。これらをα, β, γ, Tについて解くことにより、

$$\alpha = \frac{{v_G}^2 - {v_S}^2}{4(x_G - x_S)},$$
$$\beta = v_S,$$
$$\gamma = x_S,$$
$$T = \frac{2(x_G - x_S)}{v_G + v_S}.$$

となる。ただし、$x_G - x_S = 0$, もしくは$v_G + v_S = 0$の場合には 0 割が生じるので不動状態とする。

b) 3 次関数によるパスプラン

2 次式の場合とほぼ同様に、

$f(t) = \alpha t^3 + \beta t^2 + \gamma t + \delta$

とおき、境界条件として始点、終点での変位値x_S, x_G、速度値v_S, v_G、動作時間Tを与えると、

$\alpha = -2x_G + 2x_S + v_G + v_S,$

$\beta = 3x_G - 3x_S - v_G - 2v_S,$

$\gamma = v_S,$

$\delta = x_S.$

を得る。

(2-3) キーフレーム

動態モデルに動作を行わせるには、目標姿勢（最終到達姿勢）とそれに至るまでの関節変位角の経過を定義することが必要となる。最も基本的な動作生成の手法として、本システムではキーフレームの概念を導入した。ただし、一般的に言われるキーフレームに比して、本システムで採用したキーフレームは、動作生成（キーフレームに到達するまでの動作補間）を行うために必要な属性を持っているので、多くの属性を持つこととなっている。

キーフレームの属性について概説する。

a) 動作タイプフラグ

この値は目標姿勢に至るまでの補間姿勢の生成法を規定する。動作タイプの値が0の場合は、パスプランの動作性能を基準に補間動作生成が行われる。一方、動作タイプの値が1の場合は、動作時間を指定して補間動作は関節変位角の線形補間により生成する。動作タイプが2の場合は2次のパスプラン計算、3の場合は3次のパスプラン計算を用いて補間動作を生成することとする。

b) 始・経由・終点フラグ

パスプランによる補間動作生成の場合（動作タイプ0の場合）は、その目標キーフレームが一連の動作の始点であるか、経由点であるか、終点であるかによって計算手法が異なる。始・経由・終点フラグは、この計算法の判別行うためのフラグである。

c) 時間

動作時間基準による補間動作生成を行う場合（動作タイプフラグが1の場合）、全体の動作時間を指定する必要がある。キーフレームに到達するまでの動作時間をこの属性値で表す。

d) 動作性能

パスプランによる補間動作生成の場合（動作タイプ1の場合）は、動作時間、動作時の関節変位の加速度、速度、減速度を計算するための最大（基準）関節動作性能値が必要となる。動作性能属性は、その関節動作性能を身体角部位毎に定めた値を表す属性である。

e)目標姿勢

最終的に到達する目標姿勢を規定するために全自由度の関節変位角の値をもった属性である。一般的にCGソフトなどで言われるキーフレームデータとはこの目標姿勢データのみである。

f)目標関節角速度

本システムではパスプランによる補間動作の生成を実現しているので、目標姿勢を求めると共に、その目標姿勢達成時における各関節の角速度データの整合性をとる必要が生じる。このため、パスプランを用いて動作を生成する際には、目標姿勢での全自由度の関節角速度の値を属性として設定する必要が生じる。

(2-4) 軌跡指定

キーフレームのみを元に動作を生成した場合に、動作シミュレーションを充分な精度で実現することには限界がある。むしろ動作時の身体部位（足先など）の軌跡をある曲線で近似し、その軌跡に身体部位を沿わせた動作と、キーフレームによる動作複合した形の動作を生成するという手法により、適切な動作を生成できる場合もあると考えられる。

このような発想のもと、本システムでは身体部位の軌跡をスプライン曲線により指定し、その曲線に沿った動作を生成する機能を持たせた。この技術により、動作軌跡をスプライン曲線を規定するパラメータにより表現することができるので、そのパラメータの寸法、年齢、性別などの依存性を調べることで、様々な人間に適した動作を比較的容易に生成することができるようになる。

近似する曲線の種類としては、2 種類のスプライン関数を用いることとした。3-d スプライン曲線は、曲線の始終点の座標と、そこでの接線ベクトルを与えることにより、曲線を生成する。ベジェ曲線は、始終点の座標と、始終点を 3 分割した点での z（鉛直上向き）方向への変位の割合をパラメータで設定する方法を採用した。

実際は、直感的にも把握しやすく、身体寸法や環境・製品寸法でのパラメータ化の容易製から主に 3-d スプライン曲線で軌跡を指定することが多い。

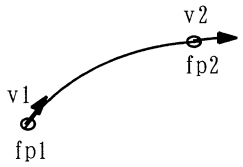


図 2.3-11　3-d スプライン曲線

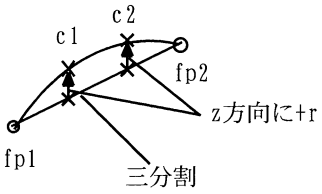


図 2.3-12　ベジェ曲線

(2-5) 動作機構

ここまでで述べてきた運動学、パスプラン、キーフレーム、軌跡生成の各技術を統合し、動作シミュレーション機能全体の辻褄合わせを行うオブジェクトが動作機構である。この動作機構は開発環境である SilTools における実行型オブジェクトとして実装され、仮想世界オブジェクトの階層構造などの指定により動作シナリオなどを設定することが出来る。

動作機構メソッドにより、動作のロジック（歩行動作における片脚支持、両脚支持の遷移による開ループ、閉ループ遷移問題などの保証）は動作毎に異なるため、現状では、動作機構は開発者が動作ライブラリとしてユーザに提供していくこととなる。

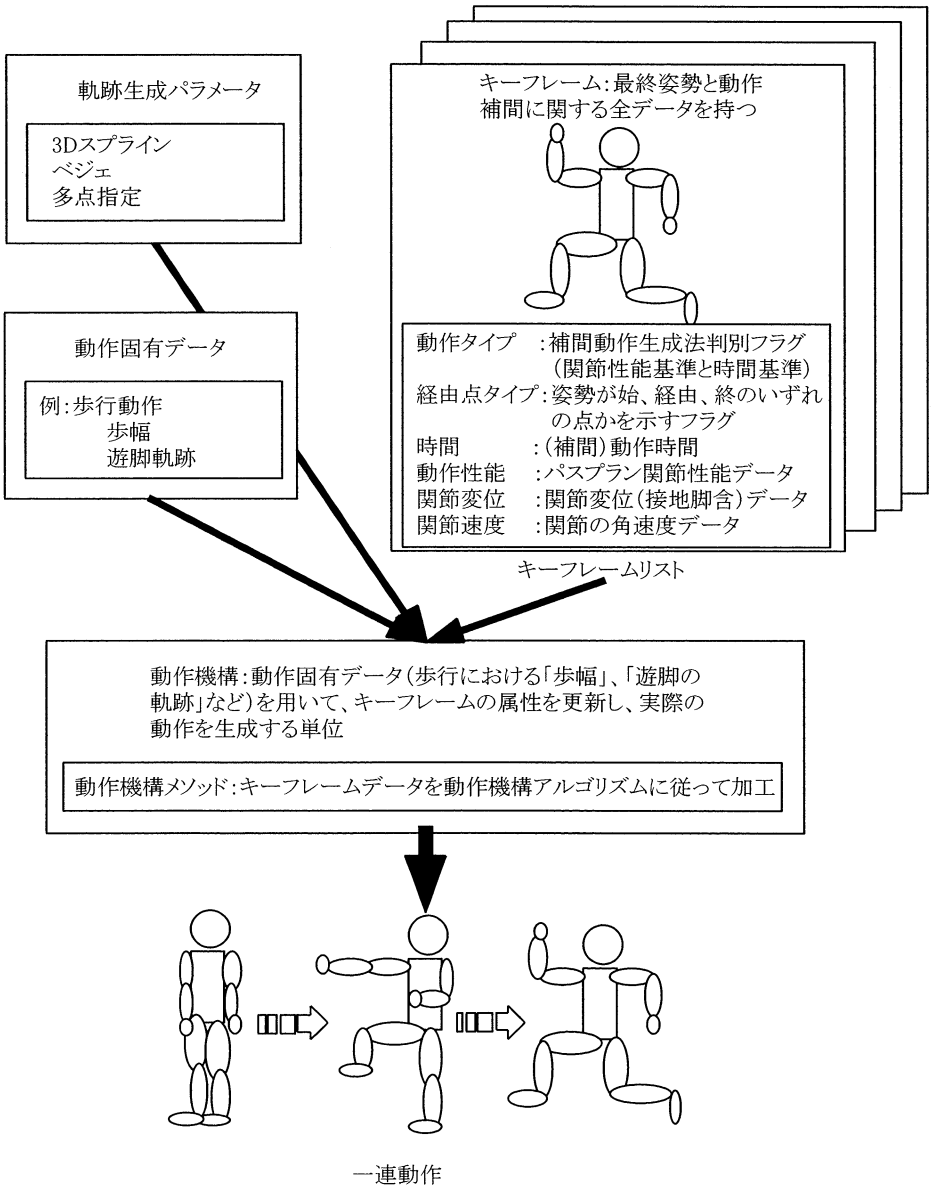


図 2.3-13　動作機構イメージ図

本システムは、動作データベース機能との連結により、モーションキャプチャシステム VICON によって計測された動作データを SilTools により再生することも出来、それらの機能を拡張していくことにより、将来的には動作機構そのものも、GUI ベースでユーザが作成することが出来る機能についても開発をしていきたいと考えている。

動作機構を用いた動作シミュレーションのフロー示すと以下のようになる。

a) 動作開始、設定

動作種類（歩行、着座など）、動作をする人間モデル、動作の対象となる製品モデルのそれぞれを指定して動作（タスク）を開始する。

b) 動作時間、動作性能の計算

それぞれの基準キーフレームに含まれている目標姿勢データと、関節動作性能（線形パスプランの場合）もしくは関節角速度データ（2 次、3 次パスプランの場合）の値より基準キーフレーム間の動作時間、動作性能を算出する。

c) 動作ロジックに従った姿勢修正

それぞれの基準キーフレームは、両脚が接地している状態であるなどの論理的な条件をもっている。これらの条件が人間モデル寸法、製品モデル寸法などの変更、動作固有パラメータの変更などにも柔軟に対応して成立させるために、動作ロジックに従って姿勢の修正を行う。

d)補間動作生成

動作タイプフラグにより指定された動作補間手法により、補間動作（姿勢）を、シミュレーションのタイムステップ毎に計算、生成する。

e)軌跡指定（インバースキネマティクス）による姿勢の修正

動作を行う仮想人間動作モデルに軌跡生成パラメータオブジェクトをスプライスした場合、身体の指定された部位（足先または腰部）は軌跡に従う。このとき軌跡に従うように指定された身体部位の関節変位角はインバースキネマティクス計算により決定される。

f)順運動学による動作生成

以上の過程で決定された姿勢を補間動作として順運動学により動作生成する。

g)終了処理

（基準キーフレームの）目標姿勢に到達した場合は、補間動作の生成は終了する。

以上の処理を動作機構中の基準キーフレームの数だけ行うことにより、一つの動作機構が実行される。もちろん、動作が歩行動作のように周期的な場合は、この過程が繰り返されることとなる。動作機構終了時は、仮想世界のシナリオ設定により次の動作が指定されている場合は、その動作機

構に支持脚情報、関節角速度情報などの情報を受け渡し、連続動作接続を行うこととなる。

図 2.3-14 に動作生成の手順を示した。

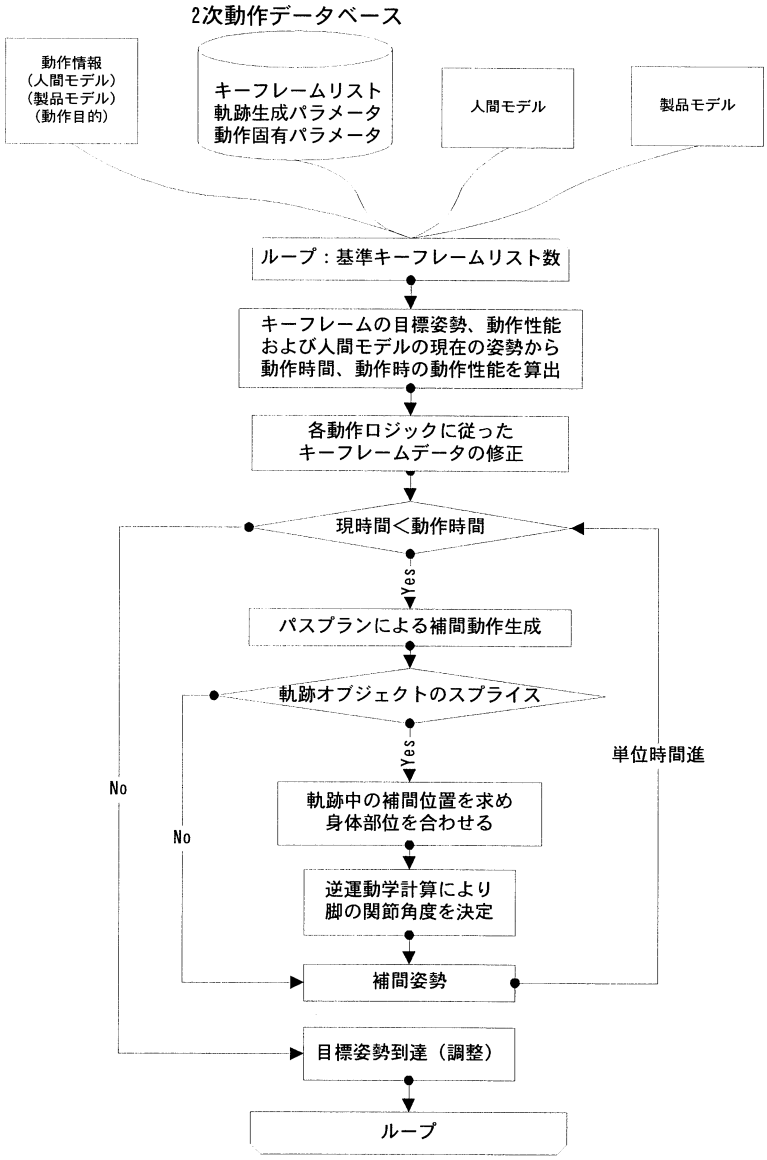


図 2.3.14　動作機構による動作生成手順

(3) 基本評価機能

環境・製品の評価を行うためには、動作を生成したり姿勢を決定したりする機能の他に評価機能が必要となる。評価機能として有用であるのは、力学的な計算を行い関節などにかかる負荷を定量的に評価する機能であり、本システムにおいても有限要素法を用いた負荷評価機能を開発し組み込みを行った。その技術についての詳細は「負担の推定技術」節にて概説する。

本節では、より基本的な評価機能について報告する。本システムで持つ基本的評価機能は、次の6つである。

- 身体部位軌跡表示機能
- 干渉チェック機能
- 静的重心表示機能
- 関節変位グラフ表示機能
- 視野評価機能（視野・鏡面ウィンドウ表示、視野コーン表示）
- リーチ球表示機能

このうち、身体部位軌跡表示機能、干渉チェック機能は、プラットフォームであるSilToolsの機能を用いるものである。本研究開発で開発した残り4つの基本評価機能について以下に概説を述べる。

(3-1) 静的重心表示機能

動態モデルの属性である、重心位置、体重とその身体部位分配比率から各部位毎の静的な重心位置を計算し、それを地面に投影したものが、足の作る四辺形の内部にあるかどうかにより姿勢の安定性を評価する（図2.3-15）。

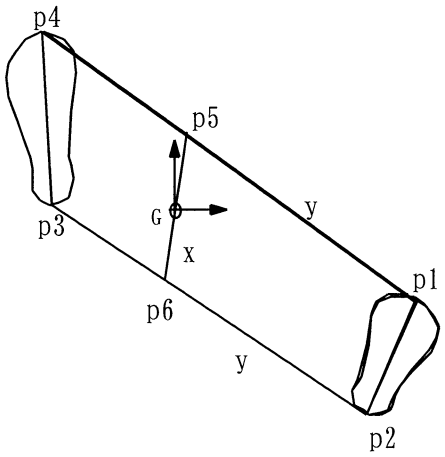


図2.3-15　重心位置表示機能

姿勢の安定性を評価するために、図2.3-15における重心投影点が四辺形に対してどの程度中心

にあるかを定量化するために、バランスパラメータを導入し、それをグラフ表示する機能についても実装されている。バランスパラメータはｘ、ｙの各方向で絶対値が小さいほど四辺形の中心にあり、(-1,1)の区間にある場合に四辺形の中にあるようなパラメータである。

(3-2) 関節変位グラフ表示機能

関節変位角の時系列、関節のグローバル座標系における位置座表の時系列をグラフで表示する機能についても実装されている。

(3-3) 視野評価機能

視野の評価を行うために、視野ウィンドウの表示、視野コーンの表示機能、さらに鏡面ウィンドウの表示機能を開発した。視野ウィンドウのカメラは、HQL 寸法より計算された両眼の位置の中点にカメラを配置して、そのカメラからのビューを別ウィンドウで表示するものとした。

視野コーンは、視野角（仮の値として）30°で奥行き 1m の円錐を両眼の位置に半透明表示するものとした。

鏡面ウィンドウは、鏡面となるオブジェクトを選択すると、そのオブジェクトのローカル座標系からのビューを表示するものとした。その際のカメラの位置姿勢は、鏡面オブジェクトの中心位置で、法線方向にｘ軸をとったフレームに対して、入射視線方向の、ｙ軸、ｚ軸まわりの角度を反転させた角度方向にカメラの視線方向を設定するものとした（図 2.3-16）。

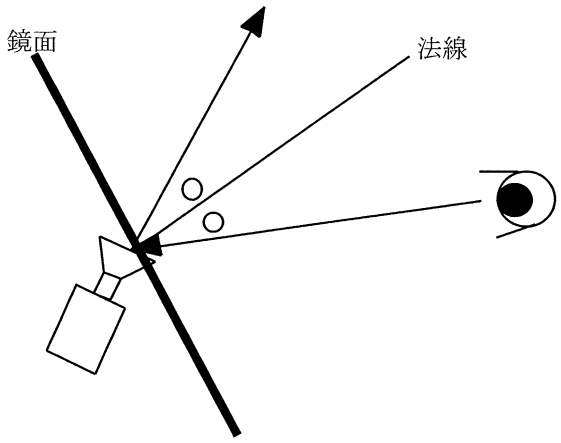


図 2.3-16　鏡面ウィンドウカメラ姿勢について

(3-4) リーチ球評価

リーチ球については、現在は、動態モデルの肩関節の位置から、上腕長＋前腕長＋手長の半径をもつ半透明球を表示するものとした。

基礎評価機能については、視野角、肩甲骨を含めたリーチ判定などの細かいデータの不足のために、必ずしも充分ではないのが現状である。今後の実験、計測によるデータの拡充に対してデータの更新を随時行っていきたいと考えている。

２．３．１．３ 動作の接続技術

基本動作の生成技術の動作機構により、生成した基本動作を組み合わせ、複雑な複合動作を生成する機能について動作の接続技術を開発した。開発における技術要素は以下の 4 つである。

- パスプランによる接続
- 動作機構間の接続
- 動作機構－キーフレーム混合の接続
- 動作接続プロトコル

以下にそれぞれの概説を行う。

(1) パスプランによる接続

「基本動作の生成技術」節で概説したパスプラン技術を用いて、キーフレームを連続で再生することにより、関節角速度レベルでの連続性が保たれ、滑らかな動作（姿勢）接続が可能となる。パスプラン技術は、基本動作単体での補間姿勢生成の滑らかさを実現する技術であると同時に、複数の動作の滑らかな接続を生成する技術であるということが出来る。

(2) 動作機構間の接続

動作機構により生成した基本動作を連続させ、一連の複合動作を生成する技術についての開発を行った。これに必要な要因として、関節角度の接続と接地条件の受け渡しが必要となる。

(2-1) 高次微分型接続技術

関節角度の接続には、高次微分型接続技術[7]を用いた。この技術は比較的単純な計算手法により動作接続を行える有効な手法である。

高次微分型接続技術では、関節変位の始点の値をA、目標点の値をBとすると、接続期間の変位量$M(t)$を

$$M(t) = A\phi(t) + B(1-\phi(t))$$

のように生成する。ここで$\phi(t)$をペースト関数といい、正規化された時間$0 \le t \le 1$において、$\phi(0) = 1$、$\phi(1) = 0$、単調減少、$\phi(t) = 1-\phi(1-t)$となる対称性を持つ関数が用いられる。

具体的には、$\phi(t) = (6t^2 + 3t + 1)(1-t)^3$を用いた。

これを、実際の動作時間に合わせて伸長して実際の関節角度を計算することが出来る。

(2-2) 接地条件の受け渡し

動作の接続においては、関節角度を滑らかに接続するだけでは充分でない。動作の整合性を保障するためには、接地基準を動作機構間で受け渡してやる必要がある。動作における各姿勢は、接地基準を保有しているので、その情報を次に実行される動作機構に受け渡し、動作機構の基準キーフ

レームの修正などを行う必要がある。

しかしながら、基準キーフレームなどの制約から実際に近いの動作を再現するには、まだ不十分であるといえる。

(3) 動作機構－キーフレームの混合接続

動作機構のみを用いた動作生成には現状では、限界がある。とくに製品の設計現場では、製品特有の特殊な動作、姿勢がそれぞれにあると考えられ、それら全てには対応しきれない。そこで、ユーザに任意のキーフレームを作成してもらって、そのキーフレームを微妙な動作、あるいは、動作機構と動作機構を結ぶ接続動作にあてる技術についても開発を行った。

これにより、動作表現の可能性を大きく広げることが出来たと考えている。

(4) 動作接続プロトコル

以上で述べた各種の動作接続を行うためには、仮想世界において動作機構を表すオブジェクトとしての実行型オブジェクトの階層構造を設定する必要がある。この設定により、動作機構やキーフレーム、さらにその混合の動作を判別し、複合動作を生成することとなる。

２．３．１．４ 負担の推定技術

本システムで生成した動作に対する人体の力学的な負担の強度・安定性を評価する技術について述べる。以下の３つの綱目に分けて記述する

- 人体の負担の評価技術
- 姿勢の安定性評価
- FEM 手法による人体各部の力学的釣り合い状況算出技術

(1) 人体の負担の評価技術

人体の動作に対する負担の評価技術、評価指標について整理する。以下の綱目に従って述べる。

- 腰部の負荷評価
- 他の主要関節部位の負荷評価
- 動作の全般的評価

(1-1) 腰部の負荷評価

a) 評価指標

腰痛の発生頻度から、腰椎の多発部位である L5/S1（脊椎と骨盤の関節）の椎間板圧迫力（圧力ではない）の限界基準値が幾つか提唱されている。現状ではこのなかで NIOSH によって提唱されている 3400N が椎間板圧迫力の許容限界値として利用されることが多い。最近では Jagar らにより、以下のような年齢・性別による基準値の分類が提唱されている。

年齢(歳代)	男性(N)	女性(N)
20	6000	4400
30	5000	3800
40	4100	3200
50	3200	2500
60 以上	2300	1800

人体の静的な負荷を評価する代表的なシステム　3DSSPP では腰部の負荷評価を NIOSH の基準として以下の値を用いている。

- Back Compression Design Limit (BCDL) : 3400N
- Back Compression Upper Limit (BCUL) : 6400N

具体的には、算出した椎間板圧迫力を数値表示する他、BCDL と BCU 値の目盛りが表示された座標にグラフ表示している。この他椎間板せん断力も数値のみ表示している。

本システムでは年代、性別による詳細な評価が可能な Jagar らの基準値による評価を行う。

b) 腰部椎間板圧迫力の決定ファクター

以下に腰部椎間板圧迫力の決定ファクターを列挙する。

1）上半身の体重と取り扱い物の重量

2）骨盤の回旋

3）腹圧

4）作業速度

本システムでは、1）、2）については3章で詳述する人体をビーム要素でモデル化する有限要素解析により解析的に算出し、3）の腹圧の影響を考慮して腰部椎間板圧迫力を算出する。

4）の作業速度は基本的には考慮せず、静的な状況での評価値とする。

（一般的には動的条件での椎間板圧迫力は同姿勢の静的条件に比べて4割くらい増大するともいわれている。）

c) 椎間板圧迫力算出アルゴリズム

c-1) 必要情報

1）FEM 算出力

腰まわりの曲げモーメント(Bent)： ML5/S1

2）身体寸法、定数

上半身質量： Wu

負荷質量： WL

脊柱起立筋のモーメントアーム： E=0.5cm=0.05m

上体傾斜角：T

両大転子を結ぶ線分に直行する平面 A 上で考える。

地面の垂線を平面に投影した直線 B と

両大転子の中点と両肩の中点を結ぶ直線を平面に投影した直線 C

がなす角を T とする。

大腿部／上体傾斜角：Rh

両大転子の中点と両肩の中点と両膝の中点を結ぶ2直線のなす角を Rh とする。

膝角度：K 両膝角度の平均を K とする。

c-2) 各力の算出

1）腹圧 Fa

Fa =0.0001×{42.64刧0.3564×(180-Rh)}×ML5/S1 ^ 1.8×13.6×g×0.0465

2）腹圧の腰まわりの回転モーメントアーム長 D

D　　=0.067＋0.082×sin(180-Rh)

3）ML5/S1 につりあう脊柱起立筋による力　Fm

Fm　　=(ML5/S1切Fa×D)／E

4）L5/S1 関節面の傾斜補正角　Rb

Rb　　＝切17.519切0.11863×T＋0.22687×K＋0.0011904×T×K

＋0.00499×T×T切0.000753×K×K＋40

5）L5/S1 関節面の傾斜角　Ra

両大転子を結ぶ線分回りに腰椎を Rb 回転させてときに鉛直方向となす角度

6）椎間板圧迫力　Fc、せん断力 Fs

Fc　　＝Fm切Fa ＋Wu×g×cos(Ra)＋WL×g×cos(Ra)

Fs　　＝Wu×g×sin(Ra)＋WL×g×sin(Ra)

(1-2)　他の主要関節部位の負荷評価

a)　評価指標

NIOSH では以下の部位について男女別に次の２種類の基準を示している。

- Strength Design Limit　(SDL)　:

男性は 99% 女性は 75%の人が耐えられる負荷

- Strength Upper Limit　(SUL)

男性は 25% 女性は 1%の人が耐えられる負荷

SDL,SUL は　肘、肩、体幹、臀部、膝、足首についてそのモーメントが示されている。

前述の 3DSSPP では SDL,SUL を用いて以下の評価を表示している

- 算出した値の SDL に対する割合%

算出した値を許容できる人口割合

b)　各部の力学パラメーター

本システムで人体の力学の釣合計算を行う有限要素解析では、人体をビームでモデル化した各部位の節点における次の力を算出できる。

- 引張（圧縮）力
- せん断力
- 回転モーメント

本システムでも腰以外の肘、肩、体幹、臀部、膝、足首については算出された各部の回転モーメントに対して算出した値を許容できる人口割合を用いた評価を行う。

(1-3)　動作の全般的評価

(1-1)、(1-2)で示した負荷評価の他に、一般的に知られている負荷評価として次のようなものが有る。

- 改訂 NIOSH 荷物取り扱い基準（Revised NIOSH Lifting Equation）
- OWAS：Ovako 式作業姿勢分析システム
  （Ovako Working Posture Analysing System）
- RULA：作業環境に対する上半身の最適作業姿勢（Rapid upper Limb Asseessment）

これらは基本的に静的な負荷評価ではなく、工場等の労働環境における数時間におよぶ一連の作業の負荷を評価するものであり、水平移動量や繰り返し数、繰り返し間隔等から作業者の負荷を評価する方法である。以下各評価法の内容を示す。

a) 改訂 NIOSH 荷物取り扱い基準

1） 概要

本基準は、荷物取扱い作業による腰痛予防を目的とした作業評価や作業設計を支援するために作られたものである。取扱い重量と取扱い回数だけでなく、荷物の取扱い位置・持ち上げ距離・体のひねり・荷物の持ち易さなど多くの要因を考慮し、より厳密な作業評価・作業設計に利用できるようになっている。

2） 適用範囲

次のような荷物取扱い作業には適用できない。

- 片手で荷物を取り扱う場合
- ８時間以上荷物取扱い作業を継続する場合
- 座った姿勢あるいはひざまづいた姿勢で作業をする場合
- 作業空間が制約されている場合
- バランスのとれない荷物の取扱い
- 運搬や押したり引いたりするような作業での荷物取扱い
- 手押車やショベルを使用する作業にともなう荷物取扱い
- 速い速度での荷物取扱い（おおよそ 75cm/秒を越えるもの）
- 足元が悪い場合（靴と地面との間の摩擦係数が 0.4 未満の場合）
- 温熱環境が悪い場合（温度 19-26℃、湿度 35-50％の範囲にない場合）

3） 単一タスク解析：RWL と LI

本法には、ほぼ同一の条件の荷物取り扱い作業を行う場合の解析（単一タスク解析, Single-task analysis）と、条件の異なる荷物取り扱い作業を何種類実施する場合の解析（複数タスク解析, Multi-task analysis）があり、ここでは前者について説明する。

単一タスク解析では、まず荷物の持ち上げ距離や持ち上げ回数などの作業条件から RWL(Recommended Weight Limit,推奨重量限界)という数値を計算する。この RWL(kg)は、健康な作業者がその作業条件で作業を最大８時間続けても腰痛の発症リスクが増大しないという取扱い重量の限界値

である。RWL は、以下の式で計算する。各係数は次で説明する。

RWL＝LC×HM×VM×DM×AM×FM×CM

LC は負荷定数、HM は水平係数、VM は垂直係数、DM は距離係数、

AM は非対称性係数、FM は頻度係数、CM は結合係数

RWL が求められたら、次に次式で LI(Lifting Index,持ち上げ指数)を求める。

LI＝L／RWL

ここで L は実際の作業で取り扱う荷物の重量である。LI が 1 より大きくなることは、腰痛の発症リスクが高いことを示す。そこで、LI が 1.0 以下になるように作業設計を行うことが求められる。

4） 各係数の概要

4-1) LC (Load Constant,負荷定数)

RWL を計算する上での定数で、23kg 固定。他の係数 HM,VM,DM,AM,FM,CM は全て 0 1 の値なので、RWL は 23kg を越えないことを要求していることになる。

4-2) HM (Horizontal Multiplier,水平係数)

足位置から荷物を保持している手位置までの水平距離 H(Horizontal Location,水平位置. 単位:cm)から次式を用いて求める。なお、足位置は足首の位置とし、足が前後している場合は左右の足首の位置の中点を足位置とする。手位置は握りの位置とし、左右の手位置が異なる場合は左右の手位置の中点を用いる。

HM = 1 (H≦25cm)
= 25/H (25cm＜H≦63cm)
= 0 (H＞63cm)

注) 本基準は両手での荷物取扱い作業のみを対象としている。

4-3) VM (Vertical Multiplier,垂直係数)

床から荷物を保持している手位置までの垂直距離 V(Vertical Location,垂直位置. 単位:cm)から次式を用いて求める。なお、手位置は HM の場合と同様に定義する。

VM = 1-(0.003×|V-75|) (0≦V≦175)
= 0 (V＞175cm)

4-4) DM (Distance Multiplier,距離係数)

荷物を持ち上げるあるいは降ろす垂直方向の移動距離の絶対値 D(Vertical Travel Distance,垂直移動距離. 単位:cm)から次式を用いて求める。なお、垂直移動距離 D は荷物の移動元(origin)と移動先(destination)の位置での垂直位置 V の差の絶対値。

DM = 1 (D≦25cm)
= 0.82+4.5/D (25＜D≦175cm)
= 0 (D＞175cm)

4-5) AM (Asymmetric Multiplier,非対称性係数)

荷物が体の正面から何度ずれた位置にあるか示す角 A(Asymmetry Angle,非対称角. 単位:度. 床上における両足首中点を角度計測の中心とし、体の正面に荷物がある場合を0度、体の真横にある場合が90度になる)から次式を用いて求める。

$$AM = 1-0.0032\times A \quad (0 \leqq A \leqq 135 \text{ 度})$$

$$= 0 \quad (A > 135 \text{ 度})$$

4-6) FM (Frequency Multiplier,頻度係数)

原則的には、持ち上げ頻度 F(Lifting Frequency. 単位:回/分)、作業時間 LD(Lifting Duration)、垂直位置 V(Vertical Location. VM で説明)から次表を用いて決定する。

表 2.3-8 頻度係数

持ち上げ頻度F (回/分)	作業時間LD(Lifting Duration)					
	LD≦1時間		1時間<LD≦2時間		2<LD≦8時間	
	V<75cm	V≧75cm	V<75cm	V≧75cm	V<75cm	V≧75cm
≦0.2	1.00	1.00	0.95	0.95	0.85	0.85
0.5	0.97	0.97	0.92	0.92	0.81	0.81
1	0.94	0.94	0.88	0.88	0.75	0.75
2	0.91	0.91	0.84	0.84	0.65	0.65
｜						
15	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00
>15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4-7) CM (Coupling Multiplier,結合係数)

荷物の持ち易さに関する係数で、結合タイプ(Coupling Type)と垂直位置 V(Vertical Location. VM で定義)から次表を用いて決定する。

表 2.3-9　結合係数

結合タイプ	垂直位置V	
	V＜75cm	V≧75cm
良好(Good)	1.00	1.00
普通(Fair)	0.95	1.00
不良(Poor)	0.90	0.90

結合タイプの分類は以下のように決める。

A) 良好(Good)：握り手や保持用切り欠き(hand-hold cut-out)がある。

B) 普通(Fair)：握り手や保持用切り欠きが無い。

C) 不良(Poor)：やわらかい物、不定形の物など。

b) OWAS

1）　概要

作業姿勢が腰痛や頸肩腕障害等健康に与える影響を検討するのには、姿勢（体の屈曲・四肢関節の屈曲・ひねりなど）のみならず、荷重（重さや発揮する力）や時間（持続時間・のべ時間・休憩間隔・繰り返し回数・速さなど）の要因も併せて検討する必要がある。この作業の記録方法から評価まで整備されているのがOWAS(Ovako Working Posture Analysing System)の特徴である。

2）OWASによる作業姿勢の記録法

表3.3-10に示すように、OWASではある時点の作業姿勢を背部・上肢・下肢・重さの４項目でとらえ、これをコード化した４桁の数字（姿勢コード）で記録する。この姿勢コードの分類は、不快感の主観的評価・姿勢による健康影響・実用可能性を考慮して決定されたものである。

表 3.3-10　姿勢コード

部位	コード	内容
1. 背部	1	まっすぐ
	2	前または後ろに曲げる
	3	ひねるまたは横に曲げる
	4	ひねりかつ横に曲げる、または斜め前に曲げる
2. 上肢	1	両腕とも肩より下
	2	片腕が肩の高さあるいはそれより上
	3	両腕が肩の高さあるいはそれより上
3. 下肢	1	すわる
	2	両脚をまっすぐにして立つ
	3	重心をかけている片脚をまっすぐにして立つ
	4	両膝を曲げて立つか中腰
	5	重心をかけている片脚を曲げて立つか中腰
	6	片方または両方の膝を床につける
	7	歩くまたは移動する
4. 重さ または力	1	10kg以下(w≦10kg)
	2	10～20kg(10＜w≦20kg)
	3	20kgより大(w＞20kg)

姿勢の記録は、一定時間おきにその瞬間の姿勢を読み取り、姿勢コードで用紙に記録していく。これはスナップリーディング法（観察間隔一定のワークサンプリング法）と呼ばれる。測定間隔は30秒か60秒、一連続観察時間は20　40分にして10分以上の休憩を入れるという方法が紹介されている。

複数の工程よりなる作業について工程別評価や工程間比較をしたい場合には、姿勢コードとともに工程名を示す作業コードを同時に記録する。

3）OWASによる作業姿勢の評価法

OWASでは、姿勢の負担度と改善要求度を以下の４段階で判定する(ACはAction categoryの略)。そのために、表3.3-11のAC判定表が用意されている。

AC1 :　この姿勢による筋骨格系負担は問題ない。改善は不要。
AC2 :　この姿勢は筋骨格系に有害。近いうちに改善すべき。
AC3 :　この姿勢は筋骨格系に有害。できるだけ早期に改善すべき。
AC4 :　この姿勢は筋骨格系に非常に有害。ただちに改善すべき。

表 3.3-11　各姿勢コードの AC(Action Category)

背部	上肢	1			2			3			4			5			6			7			下肢
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	重さ
1	1	1	1	1																			
	2	1	1	1																			
	3	1	1	1																			
2	1										3	3	3										
	2										3	4	4										
	3										3	4	4										
3	1																						
	2																						
	3																						
4	1																						
	2																						
	3																						

AC 判定表を利用することで以下のような評価ができる。

- 問題姿勢のリストアップ（細線）：　表 3.3-11 を用いて各時刻の姿勢コードの AC を求める。AC が 3 や 4 のデータをリストアップすることで、どの時刻の作業姿勢に問題があったかを調べることができる。作業改善に利用する場合は、AC が 3 や 4 の時刻の作業を表３を参考にしてより低い AC の作業姿勢になるように改善する。

- 作業の全体的評価や作業間の比較（破線）：表 3.3-11 を用いて各時刻の姿勢コードの AC を求め、単純集計して各 AC の割合を求める。このうち AC4 あるいは AC3+AC4 の割合は作業の全体的負担度を示す指標として利用できる。作業間で AC4 あるいは AC3+AC4 の割合を比較すると、どちらの姿勢負担が高いかを比較できる。作業改善の効果も、AC4 あるいは AC3+AC4 の割合がどれだけ低下したかで評価することができる。

c)　RULA

RULA は主に端末作業における腕の負荷評価基準であり、OWAS 等と同様に作業状態を点数化して評価している。観察対象は腕だけではなく全身となっている。

1）上腕スコア　　最大 6 ポイント

真下を０度として、肩の角度で分類を行う。

腕が支えられている：　　-1

±20 度：　　+1

21 度 45 度：　　+2

46 度 90 度：　　+3

>90 度：　　+4
*肩が上がった状態：　　+1
＊一時間に 10 分電話をすると：　　+1

2）前腕スコア
水平：　　-1
水平でないか横に出ている：　　+1
座って傾斜付きのキーボードを操作：-1

3）手首スコア　　最大 6 ポイント
水平　　+1
上向き 15 度以下　　+2
上向き 15 度以上　　+3
下向き 15 度以下　　+2
下向き 15 度以上　　+3
＊キーボードが不安定な場合　+1

4）首スコア
正面を向いている状態を０度、俯く方向を正
0-10 度　：　　+1
11-20 度：　　+2
20 度以上　　+3
負の角度　　+4

5）体幹スコア
正面を向いている状態を０度、前傾を正
0-10 度　：　　+1
11-20 度：　　+2
21-60 度：　　+2
60 度以上　　+4

6）脚スコア　　最大 2 ポイント
安定した着座：　+1
安定した立位：　+1
不安定な状態：　+2

7）筋肉負荷スコア　　最大 1 ポイント
計算機を立ち上げない状態２時間毎：　　+1

8）負荷スコア　　最大 2 ポイント

1 日に計算機に向かう時間

4 時間以上 6 時間以下：　+1

6 時間以上：　+2

9）評価テーブル

1-8 のスコアから評価値を算出するテーブルが用意されている。

表 2.3-12　手首スコア（スコア A）

		1		2		3		4	
		手首	ねじれ	手首	ねじれ	手首	ねじれ	手首	ねじれ
上腕	前腕	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2						
	2	2	2						
	3	2	3						
2	1								
	2								
	3								
3	1								
	2								
	3								
4	1								
	2								
	3								
5	1								
	2								
	3								
6	1							8	9
	2							9	9
	3							9	9

スコア A＋筋肉負荷スコア＋負荷スコア＝スコア C

表 2.3-13　体幹スコア（スコア B）

	体幹スコア											
	1		2		3		4		5		6	
	脚		脚		脚		脚		脚		脚	
首	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1											7
2	2											7
3	3											7
4	5											8
5	7											8
6	8											9

スコア B＋筋肉負荷スコア＋負荷スコア＝スコア D

表 2.3-14　総合スコア

	スコアD								
スコアC	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1								5
2	2								5
3	3								6
4	3								6
5	4								7
6	4								7
7	5								7
8	5								7
9	5								7

(2) 姿勢の安定性評価

椅子への着座姿勢と浴槽内での浮力を考慮した入浴姿勢に対する安定性評価について以下の綱目に従って述べる。

- 椅への着座姿勢の安定性
- 入浴姿勢の安定性
- 人体に作用する浮力のモデル化

(2-1) 椅への着座姿勢の安定性

椅子にすわる人間を、上半身と下半身とに関節を介して分かれたリンク構造と簡略化して考える。

図1に示すような背もたれのある椅子に座ったときの力のベクトルが、同図に示すように働くものとする。

これを上半身と下半身（大腿部）に分けてみると図2.3-18、図2.3-19となる。それぞれに加わる力ベクトルを図に示すようになるとし、

記号を次のようにとる。

B：背もたれから加わる垂直抗力ベクトル

T：上半身の重力ベクトル

F：腰部に加わる大腿部からの力ベクトル

H：臀部に加わる椅子からの力ベクトル

C：大腿部に加わる椅子からの力ベクトル

L：大腿部の重力ベクトル

A：下肢部から大腿部に加わる力ベクトル

μ_1：椅子座面の摩擦係数

μ_2：背もたれ面の摩擦係数

d_T：臀部から上半身の重心までの距離

d_B：臀部から背もたれからの集中荷重が加わる位置までの距離

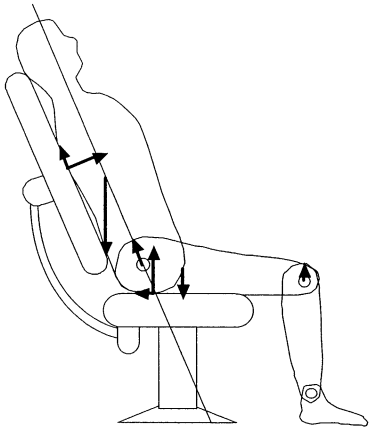


図 2.3-17　座位

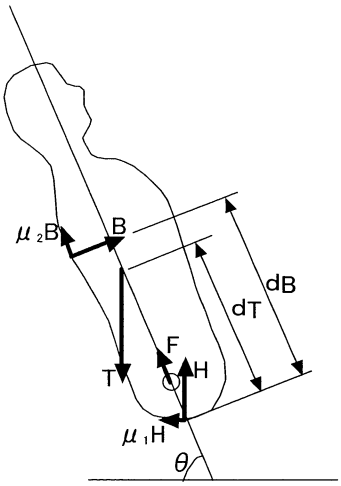


図 2.3-18　上半身に加わる力

図2.3-18において、鉛直方向の力の釣り合いから、

$B\cos\theta+\mu_2 B\sin\theta+H+F\sin\theta-T=0$　……(1)

水平方向の力の釣り合いから、

$B\sin\theta-\mu_2 B\cos\theta-\mu_1 H-F\cos\theta=0$　……(2)

モーメントの釣り合いから、

$T\cos\theta\cdot d_T=B\cdot d_B$　……(3)

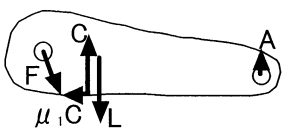


図 2.3-19　大腿部に加わる力

図2.3-19において、鉛直方向の力の釣り合いから、

$C+A-L-F\sin\theta=0$　……(4)

水平方向の力の釣り合いから、

$F\cos\theta-\mu_1 C=0$ ……(5)

(1), (2)式からHを消去すると、

$B\{(1+\mu_1\mu_2)\sin\theta+(\mu_1-\mu_2)\cos\theta\}+F(\mu_1\sin\theta-\cos\theta)-\mu_1 T=0$ ……(6)

(4), (5)式からCを消去すると、

$F(\mu_1\sin\theta-\cos\theta)=\mu_1(A-L)$ ……(7)

(6), (7), (3)式よりB, Fを消去すると、

$T(d_T/d_B)\cos\theta\{(1+\mu_1\mu_2)\sin\theta+(\mu_1-\mu_2)\cos\theta\}=\mu_1(L+T-A)$ ……(8)

(8)式の左辺は背もたれに寄りかかることにより前方にすべりを生じさせる力成分で、右辺は体重が座面に加わるときの摩擦力による上記すべりを防ぐ力成分となっている。

したがって、すべりが発生するときは左辺が右辺より大きい場合であるから、(9)式が成り立つ。

$T(d_T/d_B)\cos\theta\{(1+\mu_1\mu_2)\sin\theta+(\mu_1-\mu_2)\cos\theta\}>\mu_1(L+T-A)$ ……(9)

(9)式を変形させると、

$$\sin(2\theta+\alpha)>\frac{2d_B(L+T-A)-Td_T(\mu_1-\mu_2)}{Td_T\sqrt{(1+\mu_1\mu_2)^2+(\mu_1-\mu_2)^2}},\qquad\cdots\cdots(10)$$

ただし、$\cos\alpha=\dfrac{1+\mu_1\mu_2}{\sqrt{(1+\mu_1\mu_2)^2+(\mu_1-\mu_2)^2}}$, $\sin\alpha=\dfrac{\mu_1-\mu_2}{\sqrt{(1+\mu_1\mu_2)^2+(\mu_1-\mu_2)^2}}$

(10)式の右辺が1より大きな値ならば、(10)を満たすθは存在しない。すなわち、すべらない。しかし、右辺が1より小さな値ならばその値を$\sin\beta$ $(0<\beta<\pi/2)$、すなわち

$$\sin\beta=\frac{2d_B(L+T-A)-Td_T(\mu_1-\mu_2)}{Td_T\sqrt{(1+\mu_1\mu_2)^2+(\mu_1-\mu_2)^2}}\qquad\cdots\cdots\cdots(11)$$

とすると、$0<\theta<\pi/2$, αは小さな値であることから、(10)を満たすためには

$\beta<2\theta+\alpha<\pi-\beta$ より、θのとりうる値は

$$\frac{\beta-\alpha}{2}<\theta<\frac{\pi-\alpha-\beta}{2}\qquad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(12)$$

の範囲となる。

また、椅子に座ったときこのような特定の角度範囲で身体がすべるための条件は(11)を満たすβが存在すること、すなわち

$$0<\frac{2d_B(L+T-A)-Td_T(\mu_1-\mu_2)}{Td_T\sqrt{(1+\mu_1\mu_2)^2+(\mu_1-\mu_2)^2}}<1\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(13)$$

である。

(2-2)　入浴姿勢の安定性

浴槽にすわる人間を、上半身と下半身とに関節を介して分かれたリンク構造と簡略化して考える。滑りに関与するのは臀部、背面の摩擦のみにより、後頭面、踵面での摩擦は無視する。浴槽に座ったときの力のベクトルが、同図に示すように働くものとする。ここですべりに主として関係する力ベクトルを図に示すように記号をつける。

B：背もたれから加わる垂直抗力ベクトル
W：上半身＋大腿部の重力ベクトル
F：上半身＋大腿部に加わる浮力ベクトル
C：臀部に加わる底面からの力ベクトル
μ_1：底面の摩擦係数
μ_2：背もたれ面の摩擦係数
d_W：臀部から上半身＋大腿部の重心までの距離
d_F：臀部から浮力中心までの距離
d_B：臀部から背もたれの集中荷重が加わる位置までの距離
d_K：背もたれの集中荷重が加わる位置から体中心までの垂直距離

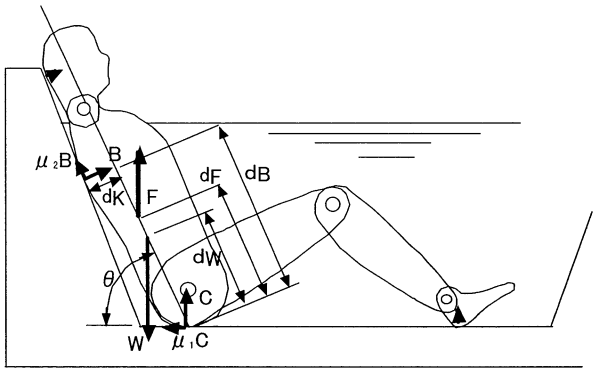


図 2.3-20　浴槽内姿勢例

図において、鉛直方向の力の釣り合いから、

$$B\cos\theta+\mu_2 B\sin\theta-W+F+C=0 \quad \cdots\cdots(1)$$

水平方向の力の釣り合いから、

$$B\sin\theta-\mu_2 B\cos\theta-\mu_1 C=0 \quad \cdots\cdots(2)$$

モーメントの釣り合いから、

$$(Wd_W-Fd_F)\cos\theta=B(d_B+\mu_2 d_K) \quad \cdots\cdots(3)$$

(3)より　$B=(W\alpha-F\beta)\cos\theta$ $\cdots\cdots(4)$

ここで、$\alpha=d_W/(d_B+\mu_2 d_K)$，$\beta=d_F/(d_B+\mu_2 d_K)$ $\cdots\cdots(5)$

(4)式を(1)式に代入して、

$$(W\alpha-F\beta)\cos\theta(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)+C=W-F \quad \cdots\cdots(6)$$

(4)式を(2)式に代入して、

$$(W\alpha-F\beta)\cos\theta(\sin\theta-\mu_2\cos\theta)=\mu_1 C \quad \cdots\cdots(7)$$

すべりが発生するときは、(7)式において、

$$(W\alpha-F\beta)\cos\theta(\sin\theta-\mu_2\cos\theta)>\mu_1 C \quad \cdots\cdots(8)$$

(8)式に(6)式を代入して、

$$(W\alpha-F\beta)\cos\theta(\sin\theta-\mu_2\cos\theta)>\mu_1\{W-F-(W\alpha-F\beta)\cos\theta(\cos\theta+\mu_2\sin\theta)\}] \quad \cdots\cdots(9)$$

$2\sin\theta\cos\theta=\sin2\theta$，$2\cos^2\theta=1+\cos2\theta$ を用いて(9)式を変形させ、整理すると、

$$(1+\mu_1\mu_2)\sin2\theta+(\mu_1-\mu_2)\cos2\theta>2\mu_1(W-F)/(W\alpha-F\beta)+\mu_2-\mu_1 \quad \cdots\cdots(10)$$

ここで、$a=1+\mu_1\mu_2$，$b=\mu_1-\mu_2$ とおくと、

$$\sin(2\theta+\gamma) > \frac{2\mu_1(\mathrm{W}-F)-b(W\alpha-F\beta)}{(W\alpha-F\beta)\sqrt{a^2+b^2}}$$，ただし、$\cos\gamma = \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}$，$\sin\gamma = \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}$ …(11)

(11)式の右辺が１より大きな値ならば、(11)式を満たすθは存在しない。すなわち滑らない。右辺が１より小さな値ならばその値をsinδ、すなわち

$$\sin\delta = \frac{2\mu_1(\mathrm{W}-F)-b(W\alpha-F\beta)}{(W\alpha-F\beta)\sqrt{a^2+b^2}}, \qquad (0<\delta<\pi/2) \qquad \cdots\cdots\cdots(12)$$

とすると、$0<\theta<\pi/2$ であることから、(11)を満たすためには　$\delta<2\theta+\gamma<\pi-\delta$　より、すべりが発生するθは、(13)式の範囲となる。

$$\frac{\delta-\gamma}{2}<\theta<\frac{\pi-\delta-\gamma}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (13)$$

また、身体がすべるための条件は、(12)を満たすδが存在することより(14)式となる。

$$0 \le \frac{2\mu_1(W-F)-b(W\alpha-F\beta)}{(W\alpha-F\beta)\sqrt{a^2+b^2}} \le 1 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (14)$$

特に、μ1＝μ2＝μとおけるとき、すべりが発生する角度θは(15)式である。

$$\frac{\delta}{2}<\theta<\frac{\pi-\delta}{2} \qquad \text{ここで、} \sin\delta = \frac{2\mu(\mathrm{W}-F)}{(1+\mu^2)(\mathrm{W}\alpha-\mathrm{F}\beta)} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (15)$$

また、すべりが発生するための条件は(16)式となる。

$$0 \le \frac{2\mu(\mathrm{W}-F)}{(1+\mu^2)(W\alpha-F\beta)} \le 1 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (16)$$

浴槽では浮力Ｆと浮力位置に関係する数βが、身体傾斜角度θと浴槽内の湯面の深さの関数となっているのでこれらを予め求める必要がある。

(2-3)　浮力のモデル化

重力をはじめとする、人体に加わる各種力の力学計算は（３）で詳述するようにを、人体各部をビーム要素（例：上腕は１要素、大腿部は１要素、各要素には質量、重心位置が定義される）としてモデル化した有限要素法で行う。このなかで、浮力の考慮を以下に示す。

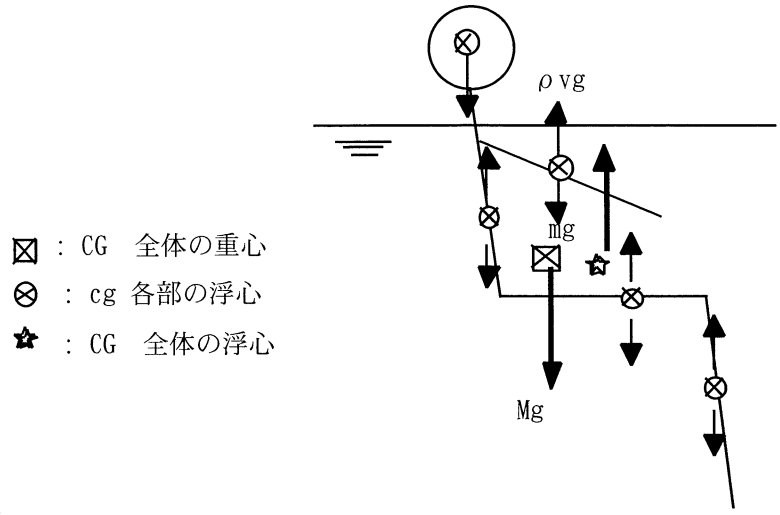


図 2.3-21　重力と浮力の概要図

- 空中にある要素　　：浮力は作用しない。
- 水没している要素　　：各要素の重心に、重力と反対方向に浮力が加わる。
  力の大きさは、同体積の水の重力となる。
- 水面を跨ぐ要素　：対象要素を水面上部分と水面下の２つに分け、
  質量、重心を個別に定義する。

各重心に作用する重力と浮力の合力から、元の重心に作用する力の並進成分と回転成分を算出する。（図 2.3-21 参照）

水面を跨ぐ要素の浮力のモデル化を図 2.3-22 に示す。

以上の処理で求められた力は、人体全体の力学計算を行う有限要素法解析の境界条件として処理する。

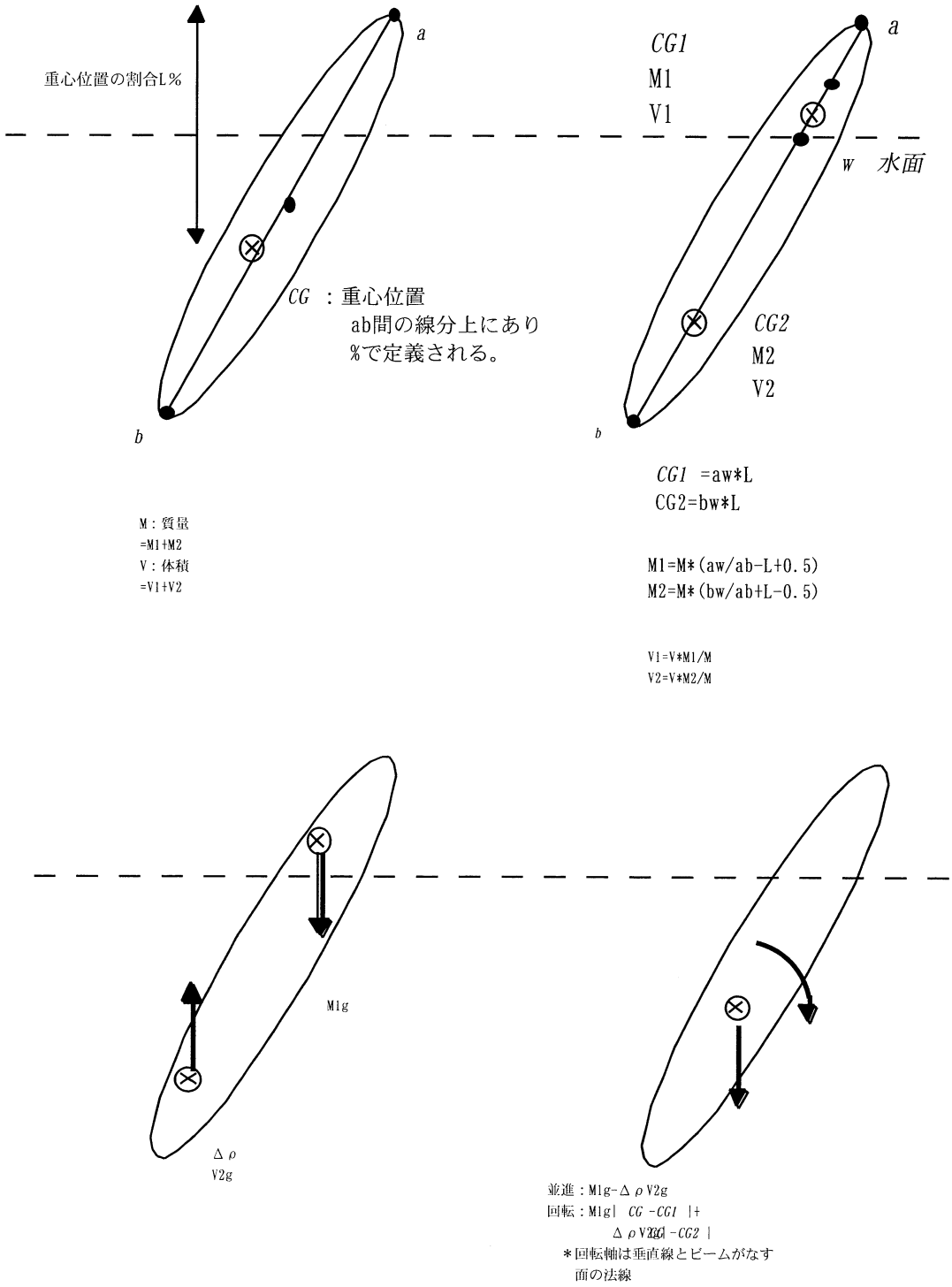


図 2.3-22　水面を跨ぐ要素の浮力のモデル化

(3) 数値計算手法

本システムで生成する動作に対して、任意の時点における身体各部の力学的釣り合い状況を算出する数値計算手法として有限要素法を用いる。人体のリンクモデルを有限要素法のビーム要素を用いて模擬し、自重と外力等の境界条件から、各関節に発生するモーメント等の力学的釣り合い状況を算出する。

(3-1) 有限要素法

人間モデルの各リンクには、その両端（関節点）と重心位置に節点が設けられ、その節点を結んだ直線が要素となる。構造解析における有限要素法の静的解析の手法を用いて、要素ごとの剛性を計算し、それを重ね合わせ、全体剛性マトリックスを作る。境界条件（端点拘束条件）により、変位ベクトルが設定され、荷重を要素の端点（節点）に作用させることにより、要素端点力と端点変位の関係が決まる。

$$\{f_e\} = [K_e]\{u_e\}$$

$\{f_e\}$ ： 要素端点要素力ベクトル

$[K_e]$ ： 要素剛性マトリックス

$\{u_e\}$ ： 要素端点変位ベクトル

$$\{u_g\} = [T]\{u_e\}$$

$\{u_g\}$ ： 全体座標系の変位ベクトル

$[T]$ ： 要素座標系から全体座標系への変換マトリックス

したがって

$$\{f_g\} = [T]\{f_e\}$$

２つの式より、

$$\{f_g\} = [T][K_e][T]^T\{u_g\}$$

$$= [K_g]\{u_g\}$$

となり、$[K_g]$が全体座標系における要素の剛性行列となる。

要素剛性マトリックス $[K_e]$を構成する各成分は、モデル形状の各要素の長さ、断面積、断面２次モーメント、ねじれ定数、ヤング率、せん断弾性係数によって、計算された値で成り立っている。

$[K_e]$の要素剛性マトリックス

$$
\begin{pmatrix}
\frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & \frac{12EI_{zz}}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{zz}}{l^2} & 0 & -\frac{12EI_{zz}}{l^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{zz}}{l^2} \\
0 & 0 & \frac{12EI_{yy}}{l^3} & 0 & -\frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_{yy}}{l^3} & 0 & -\frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{l} & 0 & 0 \\
0 & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & \frac{4EI_{yy}}{l} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & \frac{2EI_{yy}}{l} & 0 \\
0 & \frac{6EI_{zz}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_{zz}}{l} & 0 & -\frac{6EI_{zz}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_{zz}}{l} \\
-\frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -\frac{12EI_{zz}}{l^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_{zz}}{l^2} & 0 & \frac{12EI_{zz}}{l^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_{zz}}{l^2} \\
0 & 0 & -\frac{12EI_{yy}}{l^3} & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_{yy}}{l^3} & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 \\
0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{l} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{l} & 0 & 0 \\
0 & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & \frac{2EI_{yy}}{l} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_{yy}}{l^2} & 0 & \frac{4EI_{yy}}{l} & 0 \\
0 & \frac{6EI_{zz}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_{zz}}{l} & 0 & -\frac{6EI_{zz}}{l^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_{zz}}{l}
\end{pmatrix}
$$

E ： ヤング率　　A ： 断面積

G ： せん断弾性係数　　l：要素長

Iyy=Izz ： 断面２次モーメント

J ： ねじり

有限要素法による構造解析の手法を用いて、以下の手順で静的計算を行う。

① 節点と要素に関する情報を読み込む
② 材料特性データを読み込む
③ 拘束条件（境界条件）、荷重条件を読み込む
④ 各要素についての剛性マトリックスの計算
⑤ 要素マトリックスをまとめ、構造全体マトリックスを作成
⑥ 平衡方程式を解く

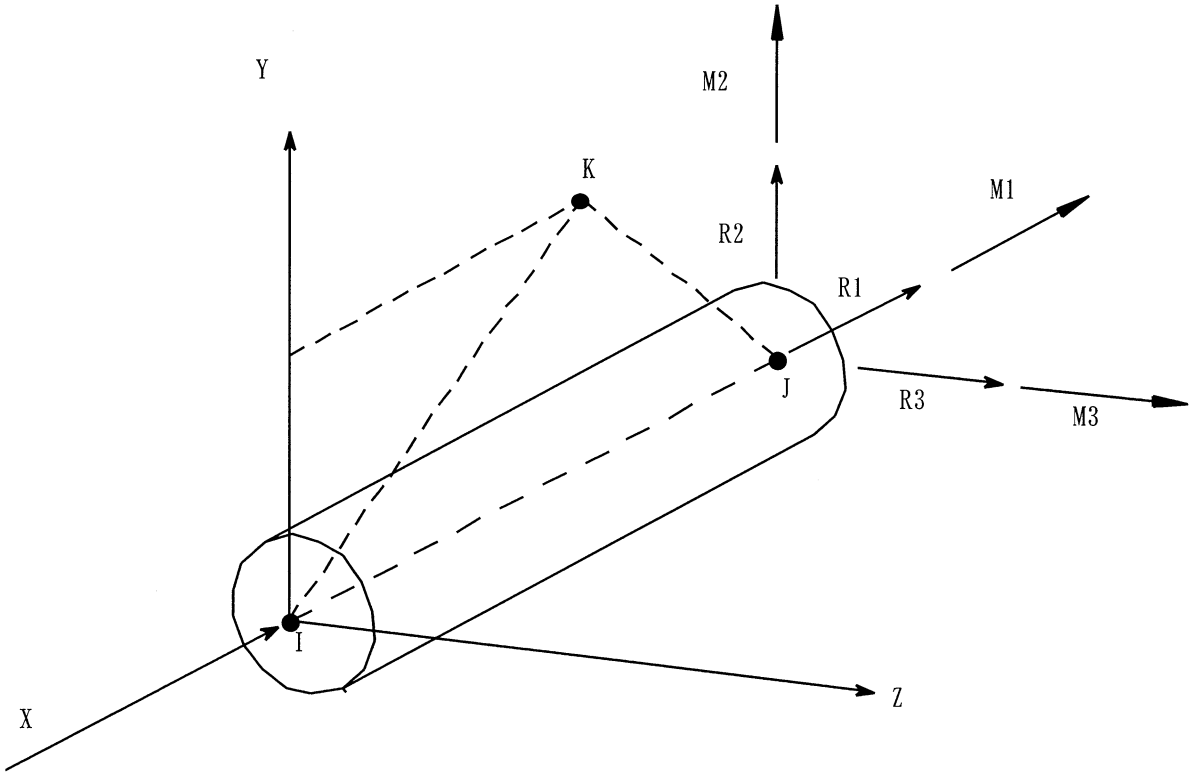
(3-2) 人体の有限要素モデル化

有限要素法を用いて、人体の負荷計算を行うために、人体を有限要素モデルで表現する必要がある。モデル化に用いる、直線ばり要素(BEAM 要素)と、境界要素（BOUNDARY 要素）について説明する。

1）直線ばり（BEAM 要素）

この要素を用いて人間モデルのリンク部分を表現する。

直線ばりは、３つの節点 I、J 及び K を定義する事で、決定される直線要素である。点 I から点 J に向かうベクトル方向を正として要素座標系の X 軸が定義される。第３点 K は、X Y平面を決定する為に必要な点であり、要素座標系の X 軸上にあってはならない。これにより、Y 軸は、X 軸から点 K の方向を正とする。 Z 軸は X、Y 軸に直交し、右手系に従った方向を正とする。



K：　ＸＹ平面上の任意の点

図 2.3-23 要素座標系（直線はり要素）

① 出力内容

直線はり要素を用いて、静的解析を行った場合、以下の値が各要素座標系で出力される。その値は、X 軸の正の方向をプラスの応力とし、X 軸に対して、時計まわりの方向をモーメントの正とする。

BEAM 要素の両端点 I 点と J 点において、それぞれ次の値が出力される。

AXIAL-R1　：　軸力（X 軸方向軸力）
SHEAR-R2　：　Y 軸方向せん断力
SHEAR-R3　：　Z 軸方向せん断力
TORSION-M1　：　X 軸まわりのねじりモーメント
BENDING-M2　：　Y 軸まわりの曲げモーメント
BENDING-M3　：　Z 軸まわりの曲げモーメント

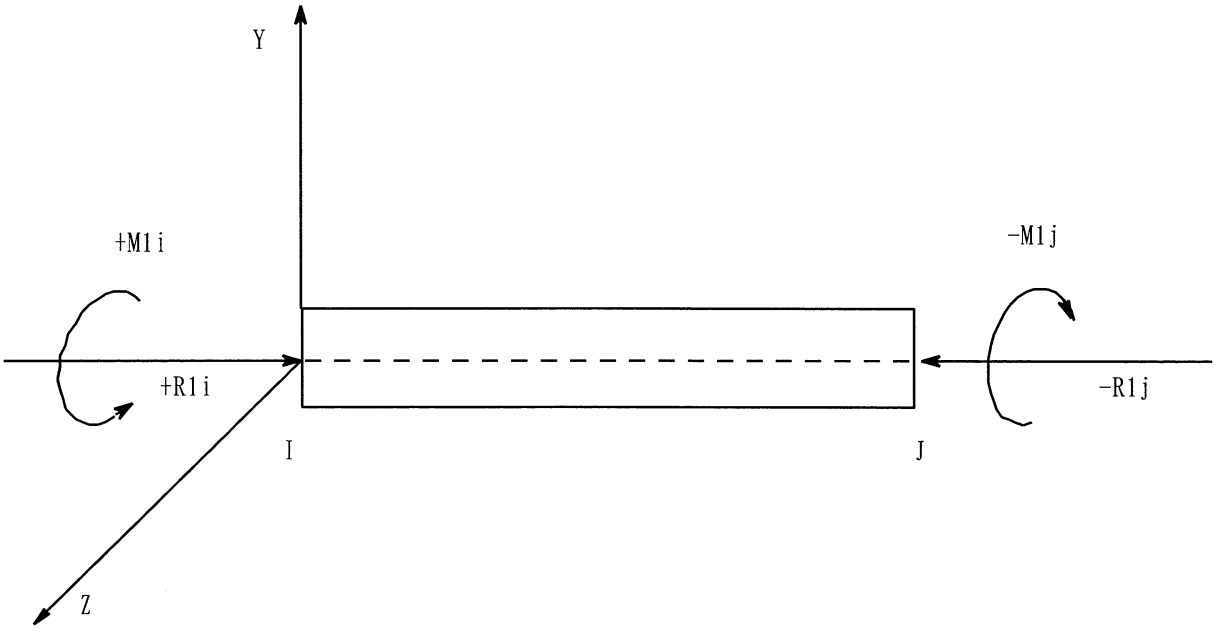
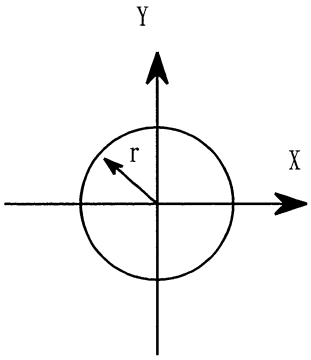


図 2.3-24 軸力をＸ軸まわりのねじりモーメントの向き

（点Ｉにおいてプラスの値が生じた場合、点Ｊでは、マイナスの値となる。）

② 断面特性、材料定数の設定

要素を決定する為の３点、Ｉ、Ｊ、Ｋの番号以外にその要素の断面特性、材料定数を入力する必要かある。断面特性には断面積、断面２次モーメント、ねじれがあり、材料定数にはヤング率、ポアソン比がある。



断面積　$A=\pi r^2$

断面２次モーメント　$I_1=I_2=\pi r^4/4$

$J = \pi r^4/2$

図 2.3-25　断面特性

2）境界要素（バネ要素）

姿勢に応じて、反力計算が必量な場合は、境界要素を定義する。

人間モデルにおいて、姿勢により反力を求める必要がある場合、そのリンクを構成する節点ともう一点を結んだ境界要素（バネ要素）を定義する。　バネ定数は任意に定義できる。

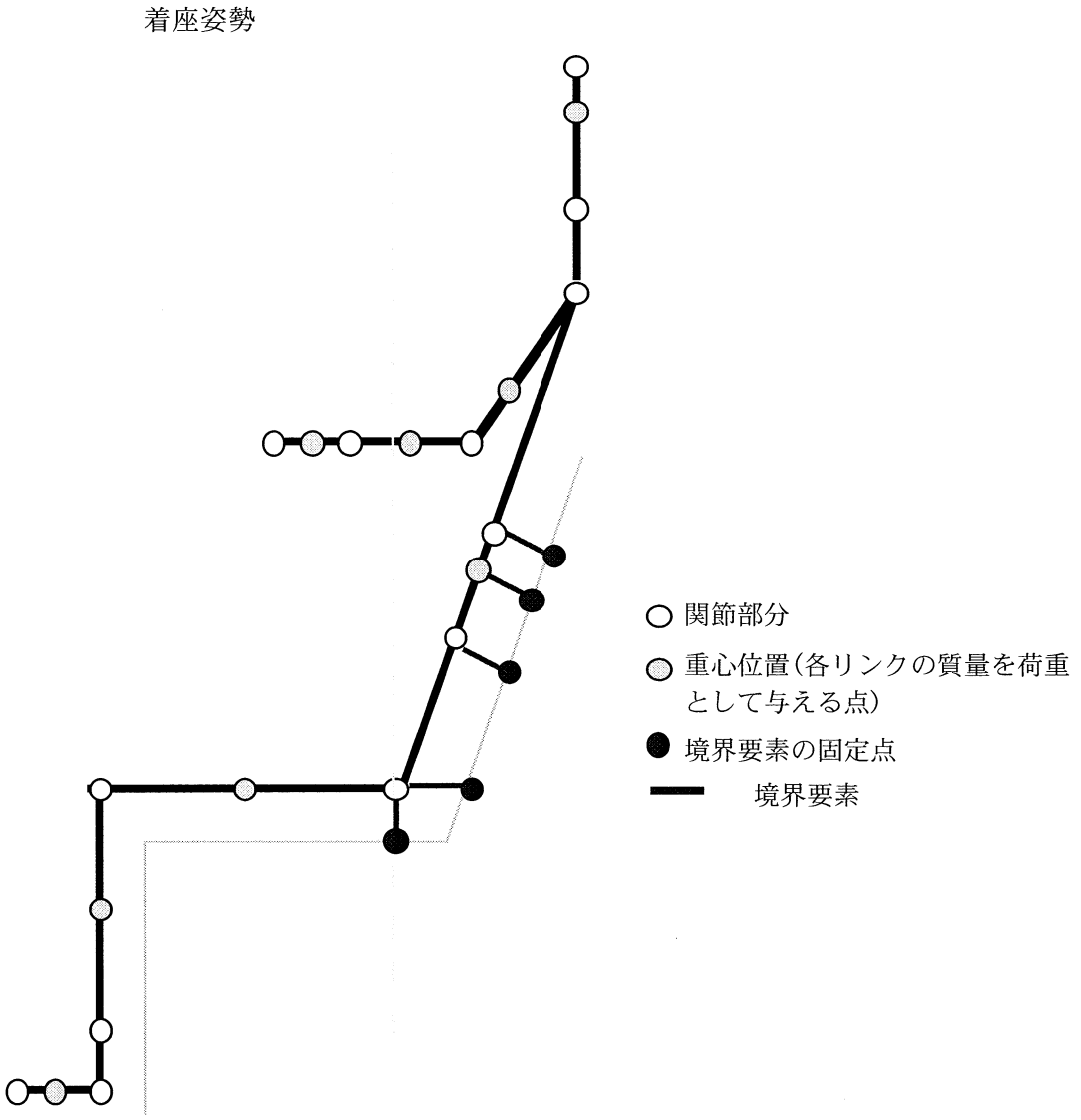


図 2.3-26　大腿下反力や座面摩擦力を検討する場合の例

(3-3) 解析境界条件

本手法で定義できる境界条件について以下に示す。

1）拘束条件

① 拘束

各節点において、全体座標系のX、Y、Z方向のそれぞれの並進成分とそれらの軸まわりのモーメントに関して、拘束することができる。 つまり、人間モデルにおいて、その姿勢により、必要に応じて、任意の関節（節点）を拘束できる。

② 解放

各リンク（要素）間は剛体結合であるが、関節部分の力の伝達をゼロにしたい時などに、要素座標系における、6方向において剛体結合をそれぞれ解放することができる。

2）荷重条件

節点位置において、集中荷重とモーメント荷重が与えることができる。

２．３．２ 研究開発システムの内容

２．３．２．１ 開発システムの基本構造

本研究において開発したコンピュータ・マネキン動態モデルシステムは、開発・実行環境を

- OS:WindowsNT4.0 SP5
- 開発実行プラットフォーム：SilTools
- 動作データベース：C++
- 負荷評価モジュール：FORTRAN

とした。その概要図を図 2.3-27 に示した。

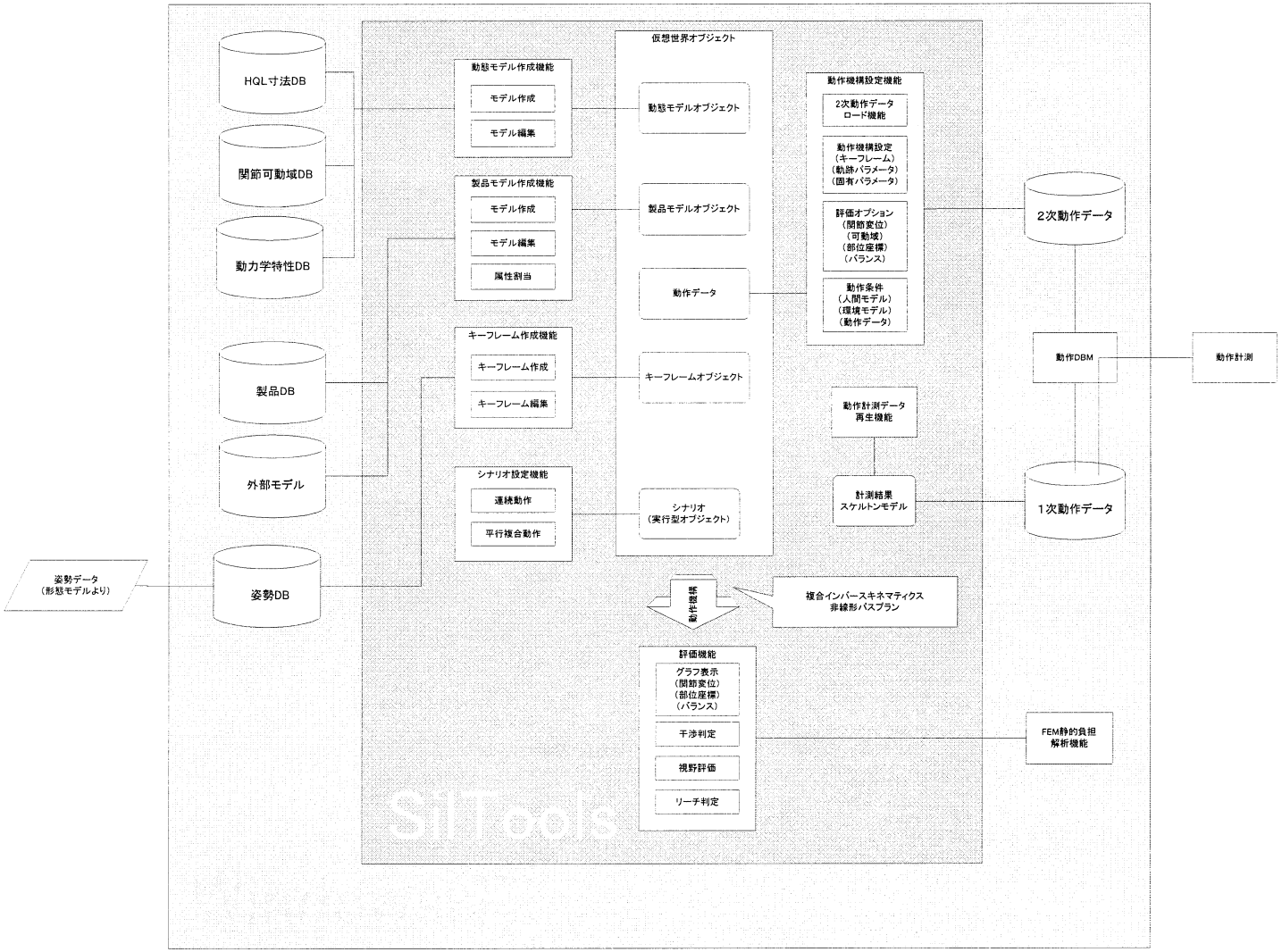


図 2.3-27　コンピュータ・マネキン動態モデルシステム概要図

２．３．２．２ 実装機能

本システムでは、SilTools ベースの基本人間動作シミュレータ部分と、C++による動作 DBMS 部分、FORTRAN による FEM 解析エンジン部分とが、一つの WindowsNT アプリケーションの形で実装されている。SilTools は、SIL 言語と呼ばれるオブジェクトパスカルベースの言語であり、3 次元の挙動を記述する優れたデータ型、クラスライブラリを有するプラットフォームである。

この 3 つの大きな分割機能の関連についてその機能を概説する。

(1)SilTools と動作データベースについて

1 次動作データベース管理システム、2 次動作データベース管理システムは、以下の理由により VisualSIL を使用せずに Windows プログラムで実装する。これによる利点は Windows 開発ツールの DB 管理モジュールが利用可能となり、ゼロからデータベース管理モジュールを作成しなくて良くなることである。

VisualSIL から Windows プログラムの呼出は、System 関数で行う。データの受け渡しはファイルで行う。以下にプログラム呼出とデータ受け渡しの関係図を図 2.3-28 に示す。

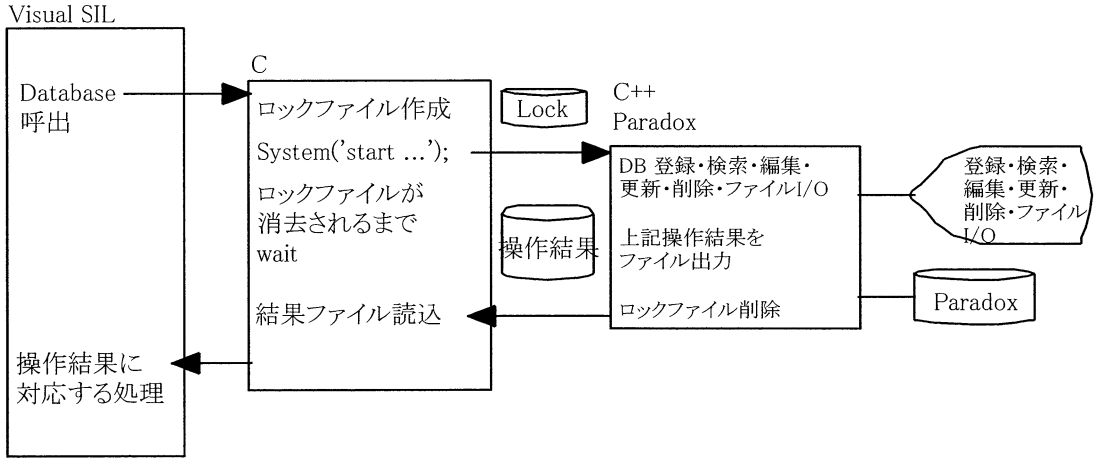


図 2.3-28　SilTools と動作データベースとのデータ受け渡し関連図

(2)SilTools と FEM 解析エンジンについて

FEM 解析エンジンは FORTRAN 言語により記述されており、動作データベースモジュールとは異なり、SilTools のコンパイル時に一つの executable として取り込んでいる。この組込み作業は、Sil の関数は、C 関数をコールし、さらにその C 関数が FORTRAN 関数をコールする形で実装されている。

SilTools の動作プログラム内で、ユーザーによって作成された姿勢を基に、FEM プログラムの

入力データが作成される。入力データファイル（解析名__FEMIN）を読み込んで、必要な解析を行い、その結果を出力ファイルに書き込み、動作解析プログラムへ渡す（図 2.3-29）。

FEM プログラムの解析結果は、リスト形式で、別ファイルにも出力される。解析の全体を確認することができる。

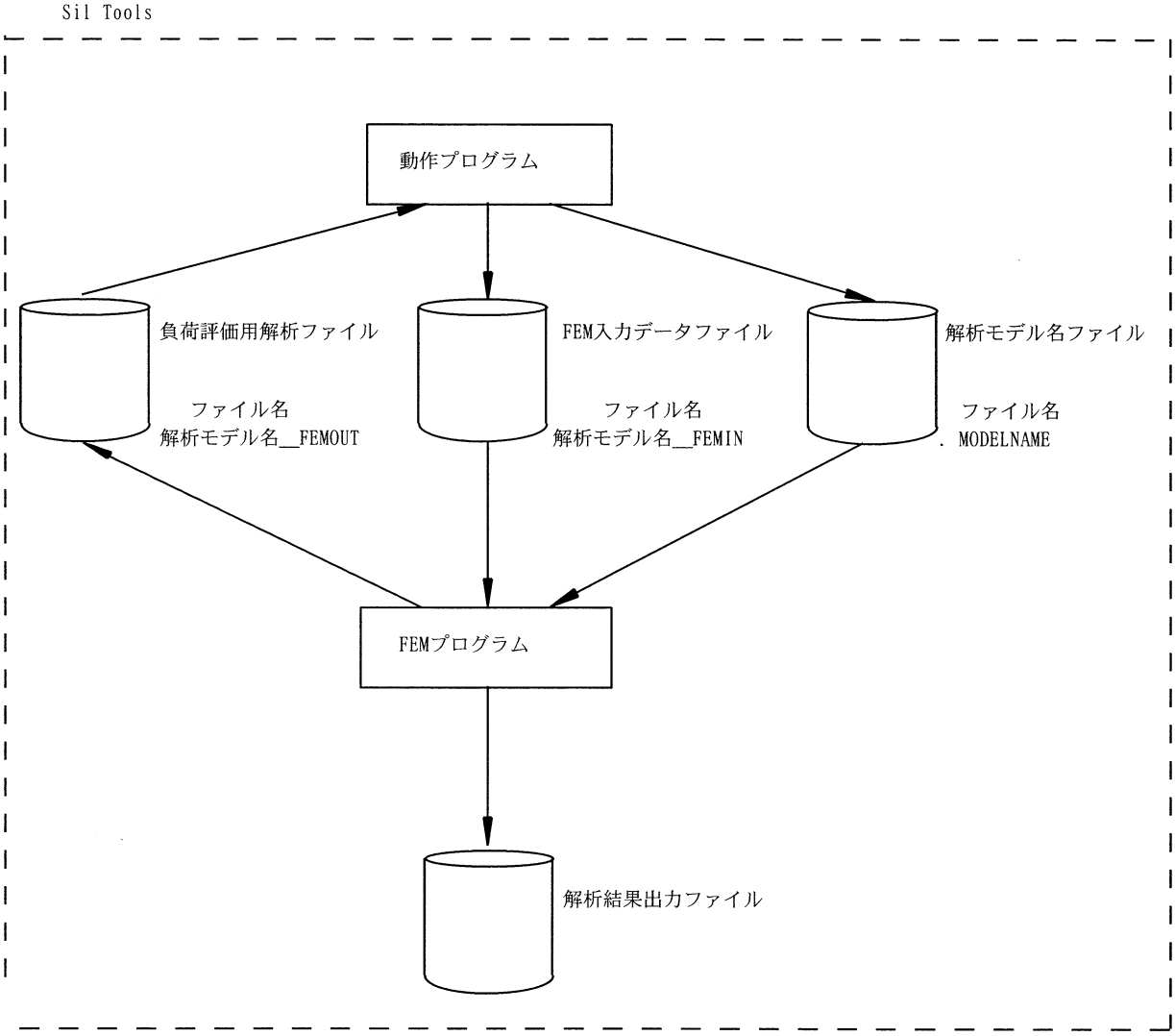


図 2.3-29　SilTools と FEM のデータ受け渡し

２．３．３ 研究開発結果

２．３．３．１ モジュールの種類と機能

動態モデルシステムにおけるモジュールの種類と機能の一覧を図 2.3-30 に示した。

(1)動作基本システム

SilTools プラットフォーム上に開発した動態モデル本体と、その動作機構部分。モジュールとして以下のような構成をとる。

- 動態モデル作成機能
- 製品・環境モデル作成機能
- 動作機構設定機能
- キーフレーム作成機能
- 計測動作再生機能
- 評価機能（グラフ表示）
- 静的負担解析機能
- シナリオ設定機能

以下それぞれについて概説する。

a)動態モデル作成機能

動態モデル作成機能は、「動態モデル作成」と「動態モデル属性変更」の 2 つの機能での構成となる。動態モデル作成機能は、動態モデルの年齢・性別を指定しての自動生成を行う。動態モデル属性変更機能は、寸法・関節可動域・動力学的特性値（重量分配率、重心位置、回転半径）などの属性を変更する属性変更機能の 2 つである。

b)製品・環境モデル作成機能

製品・環境モデル作成機能は、「モデル作成」、「モデル編集」、「属性割当」の 3 つの機能からなる。モデル作成機能は、モデル名、モデル種類、モデル寸法などの属性を与えて環境モデルを自動作成する機能である。モデル編集は機能は、モデルの寸法値などの属性を変更する機能で、属性割当機能は、CAD などからインポートした外部環境モデルに動作生成に必要なモデル属性を割り当てる機能である。

c)動作機構設定機能

動作機構設定機能は、「2 次動作データロード」「動作属性設定」「評価オプション」「動作条件設定」の各機能から構成される。2 次動作データロード機能は、2 次動作データベースモジュールを起動する機能し、動作機構を作成する機能であり、動作属性設定機能は、動作機構のキー

フレーム・部位軌跡・動作固有パラメータなどの属性を変更する機能である。評価オプション機能は、シミュレーション実行時の、関節変位時系列な関節点位置時系列データを記録の有無、重心点の表示オプションの設定などを行う。また、基礎評価の視野、リーチなどの評価設定もここで行う。動作条件設定機能は、動作機構に割り当てられた動態モデル、環境モデルなどの動作条件を設定する機能である。

d)キーフレーム作成機能

キーフレーム作成機能は、「キーフレーム作成」と「キーフレーム編集」機能から構成される。キーフレーム作成では、新たにキーフレームを作成する機能を提供し、キーフレーム編集機能では既にあるキーフレームの属性を変更する機能を提供する。

e)計測動作再生機能

計測動作再生機能は、1次動作データベースを起動し、選択された1次動作データをロードし、再生するための実行型オブジェクトを作成する機能を有する。

f)評価機能（グラフ表示）

評価機能（グラフ表示）では、動作機構設定機能の評価オプションで、設定された場合に関節変位時系列、関節位置時系列、重心パラメータ時系列をグラフ表示する機能がある。

g)静的評価解析機能

静的評価解析機能では、FEM計算に必要なデータをかき出し、FEM計算エンジンを起動する。FEM計算が終了後、その結果を直ちに表示するものとする。

h)シナリオ設定機能

シナリオ設定機能は、仮想世界のオブジェクトの階層構造により動作順序を記述する機能であり、実行型オブジェクトにより実現されている機能である。

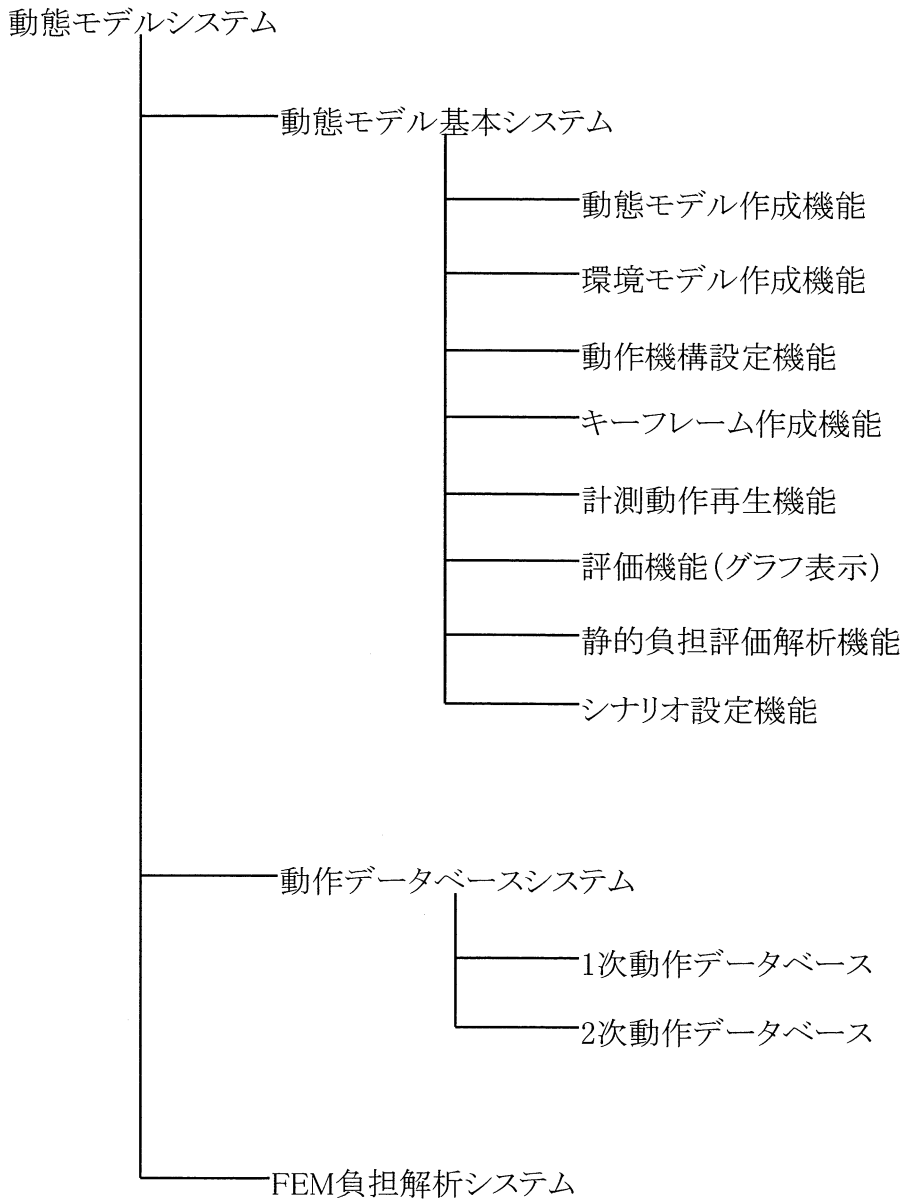


図 2.3-30　動態モデルシステムモジュール機能

2．3．3．2 モジュールの処理フロー

各モジュール（機能）毎の処理フロー図を以下に示す。

(1)動態モデル作成機能

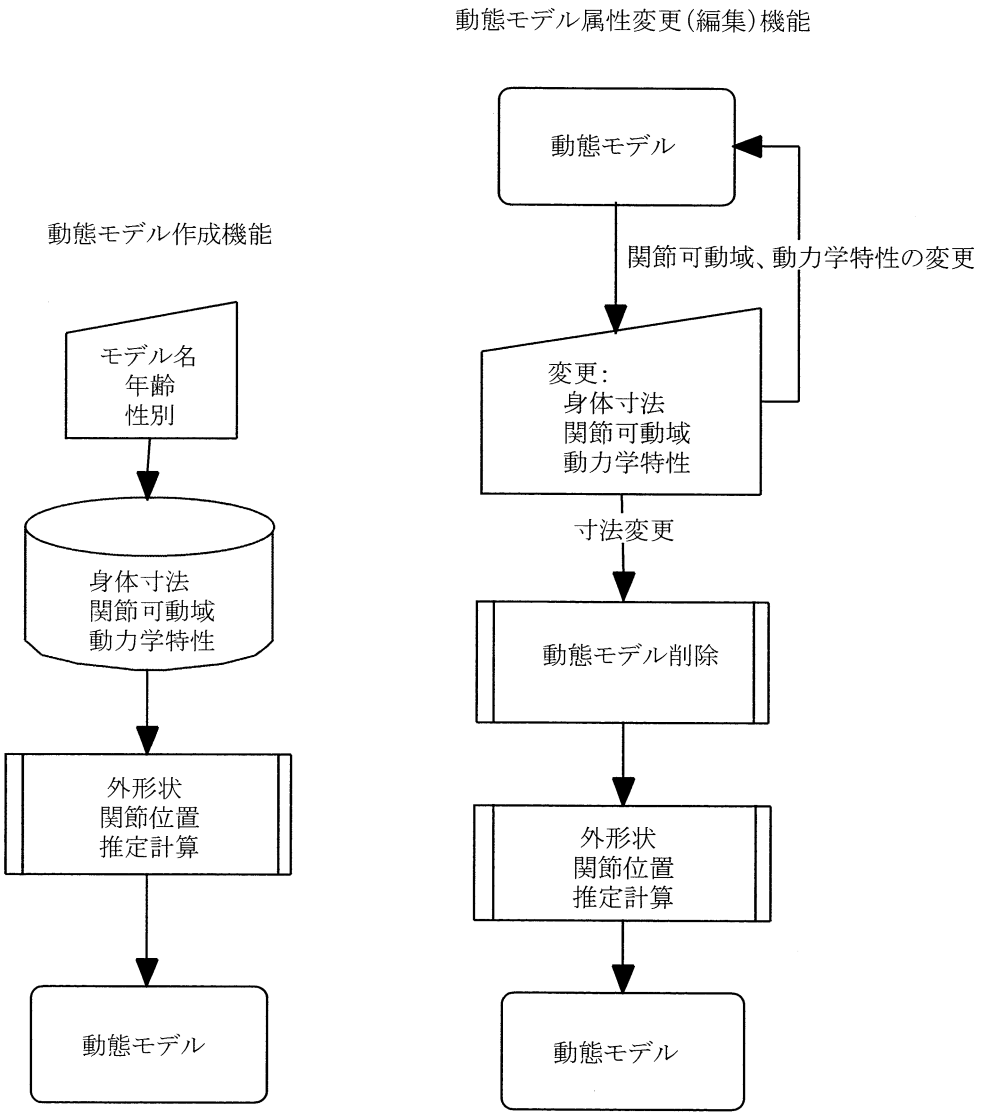


図 2.3-31　動態モデル作成機能フロー図

(2)製品・環境モデル作成機能

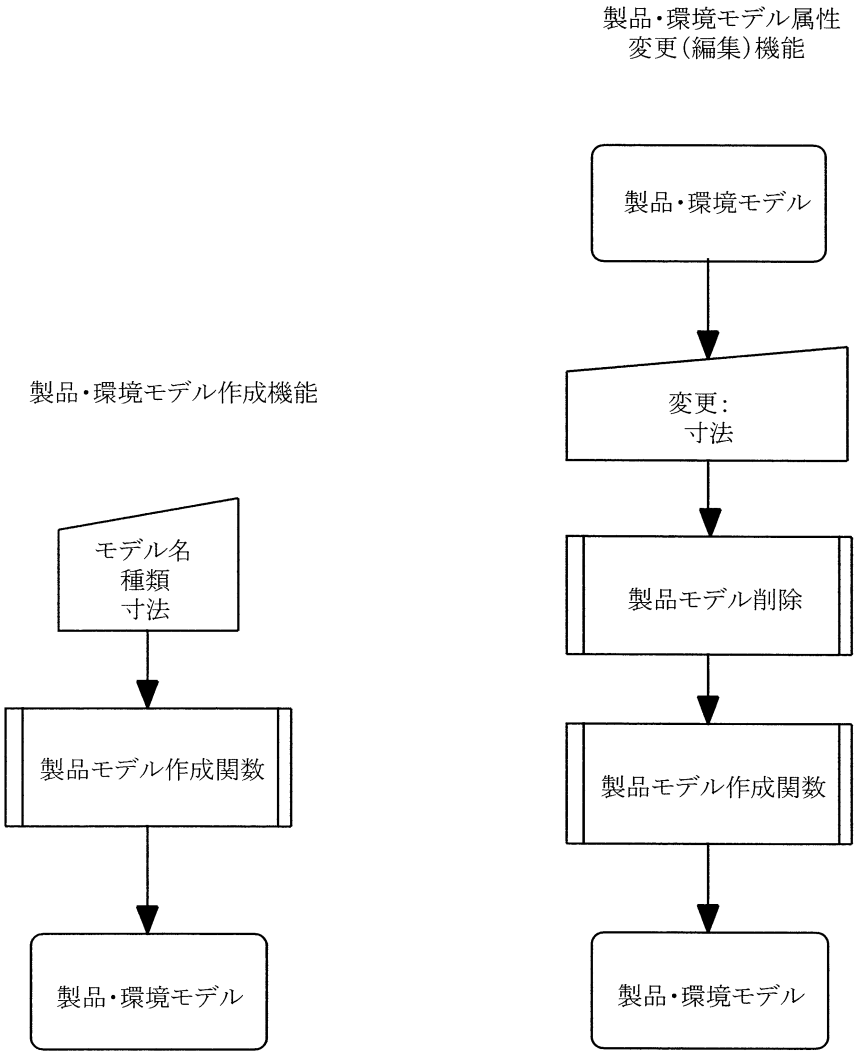


図 2.3-32　製品・環境モデル作成機能フロー図

(3)動作機構設定機能

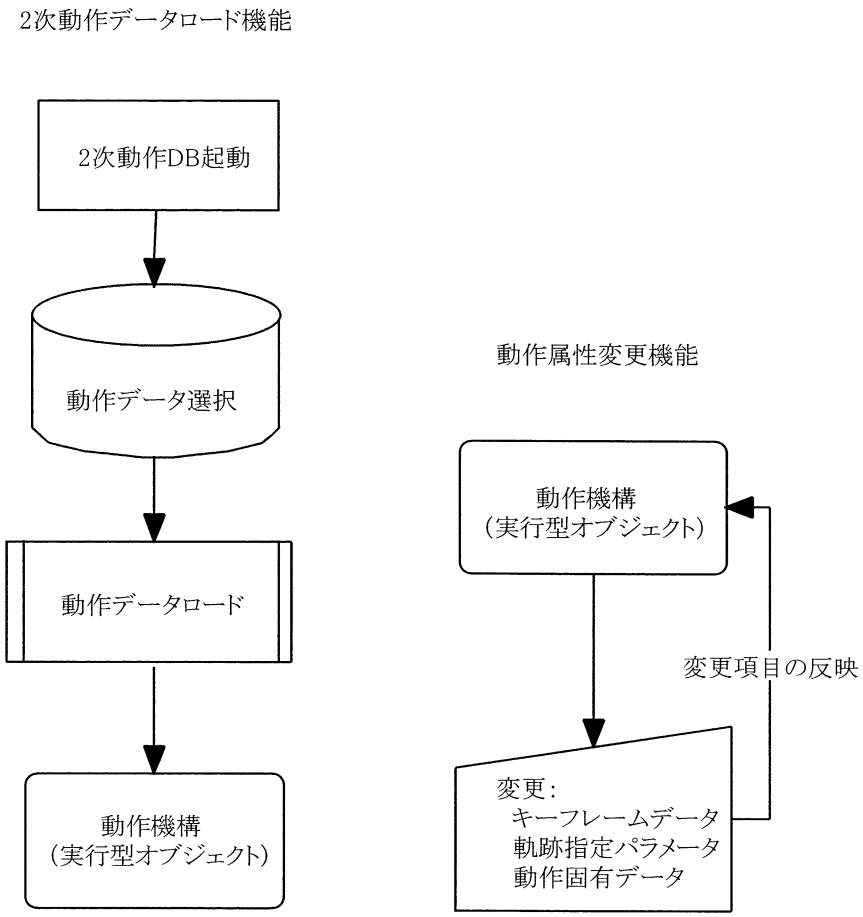


図 2.3-33　2 次動作データロードフロー図

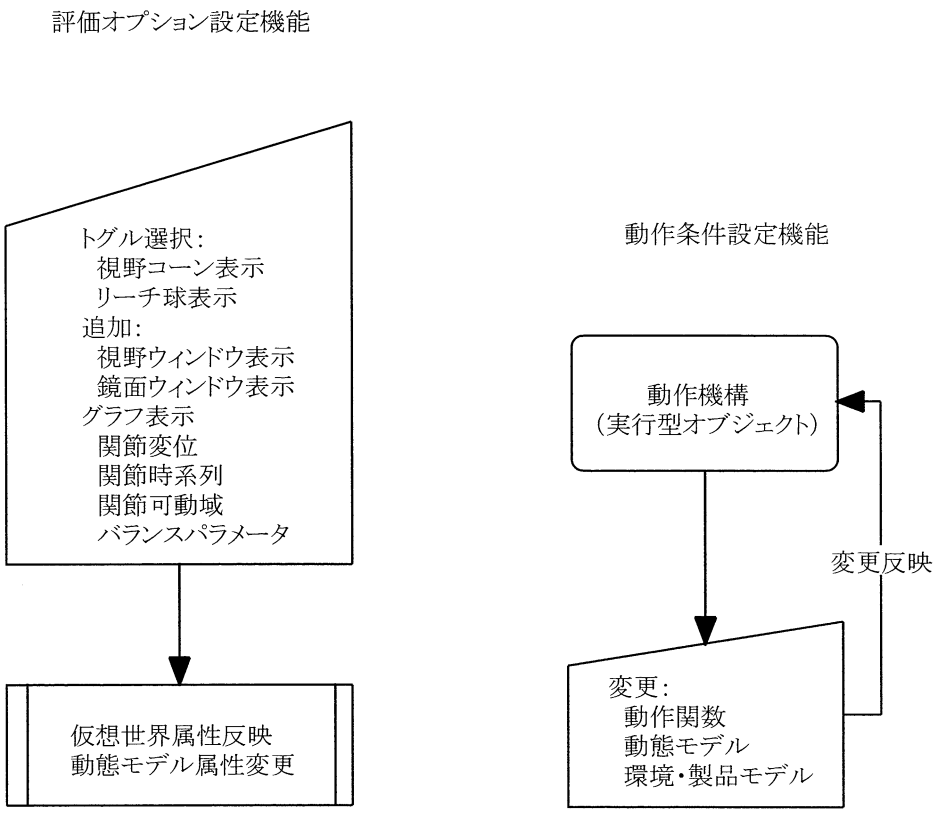


図 2.3-34　動作機構設定機能フロー図

(4)キーフレーム作成機能

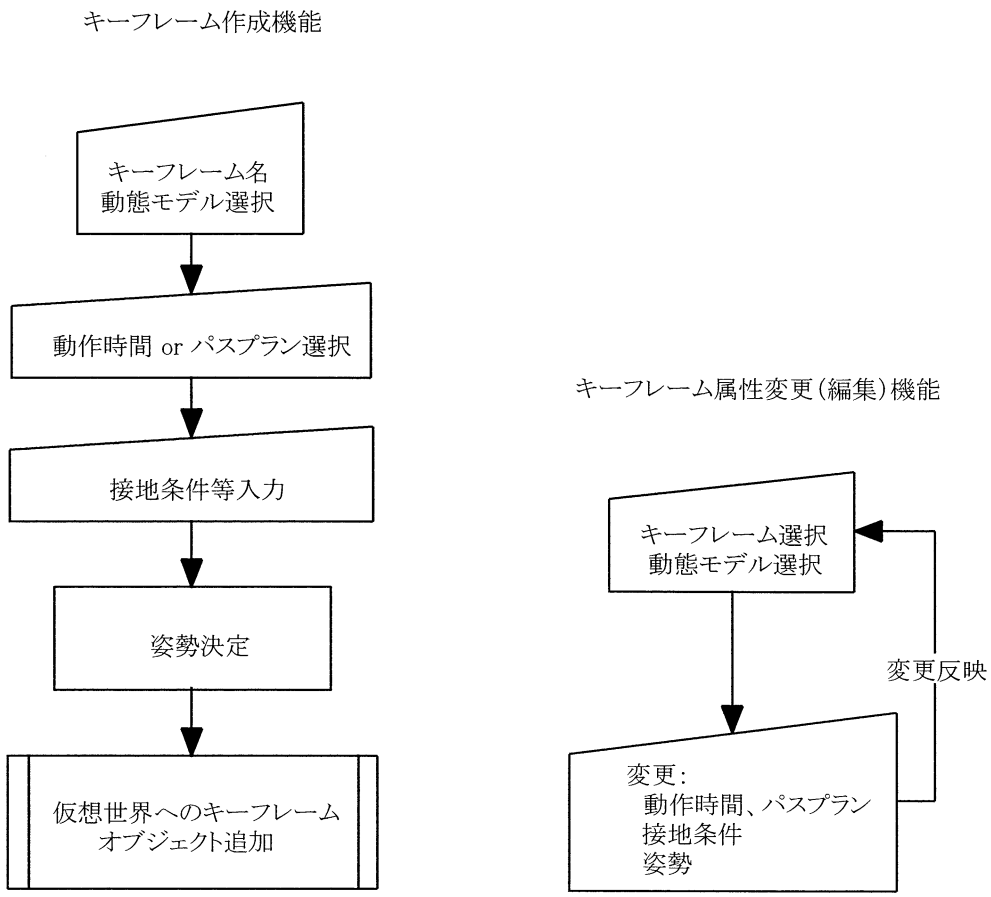


図 2.3-35　キーフレーム作成機能フロー図

(5)計測動作再生機能

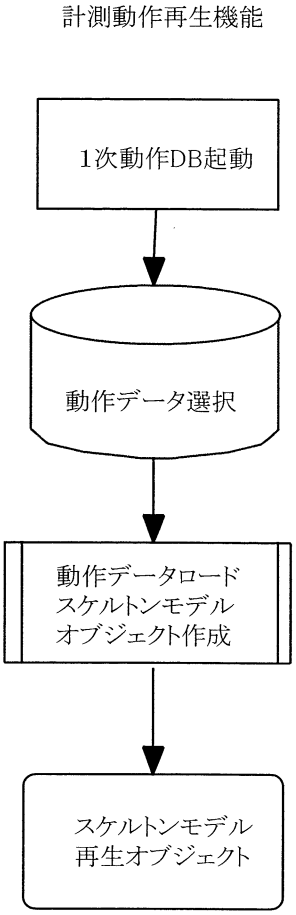


図 2.3-36　計測動作再生機能フロー図

(6)評価（グラフ表示）機能

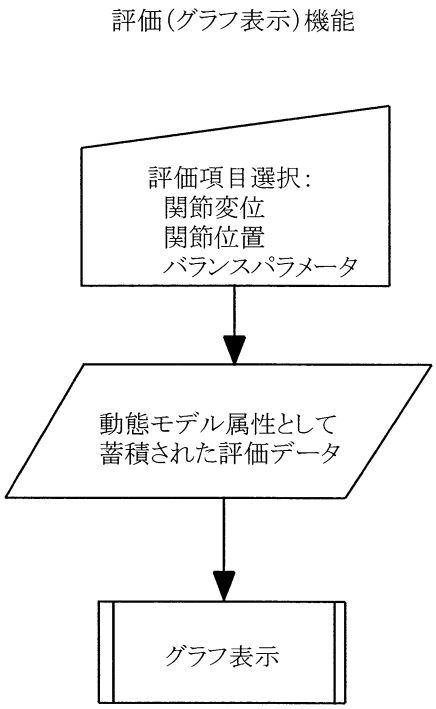


図 2.3-37　評価（グラフ表示）機能フロー図

(7)静的負担評価解析機能

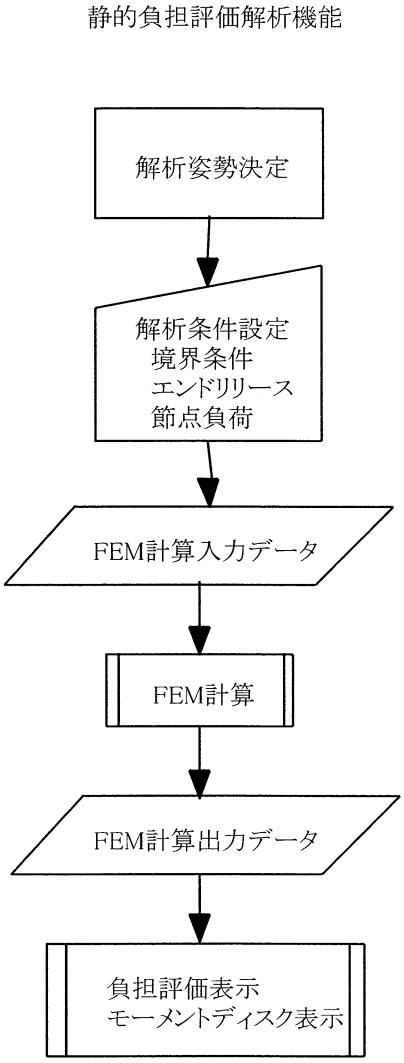


図 2.3-38　静的負担解析機能フロー図

(8) シナリオ設定機能

シナリオ設定の順序などは、仮想世界の階層構造によって行うので特にフローは存在しない。

(9) 動作生成機能

動作機構における動作生成のフロー図を以下に示す。

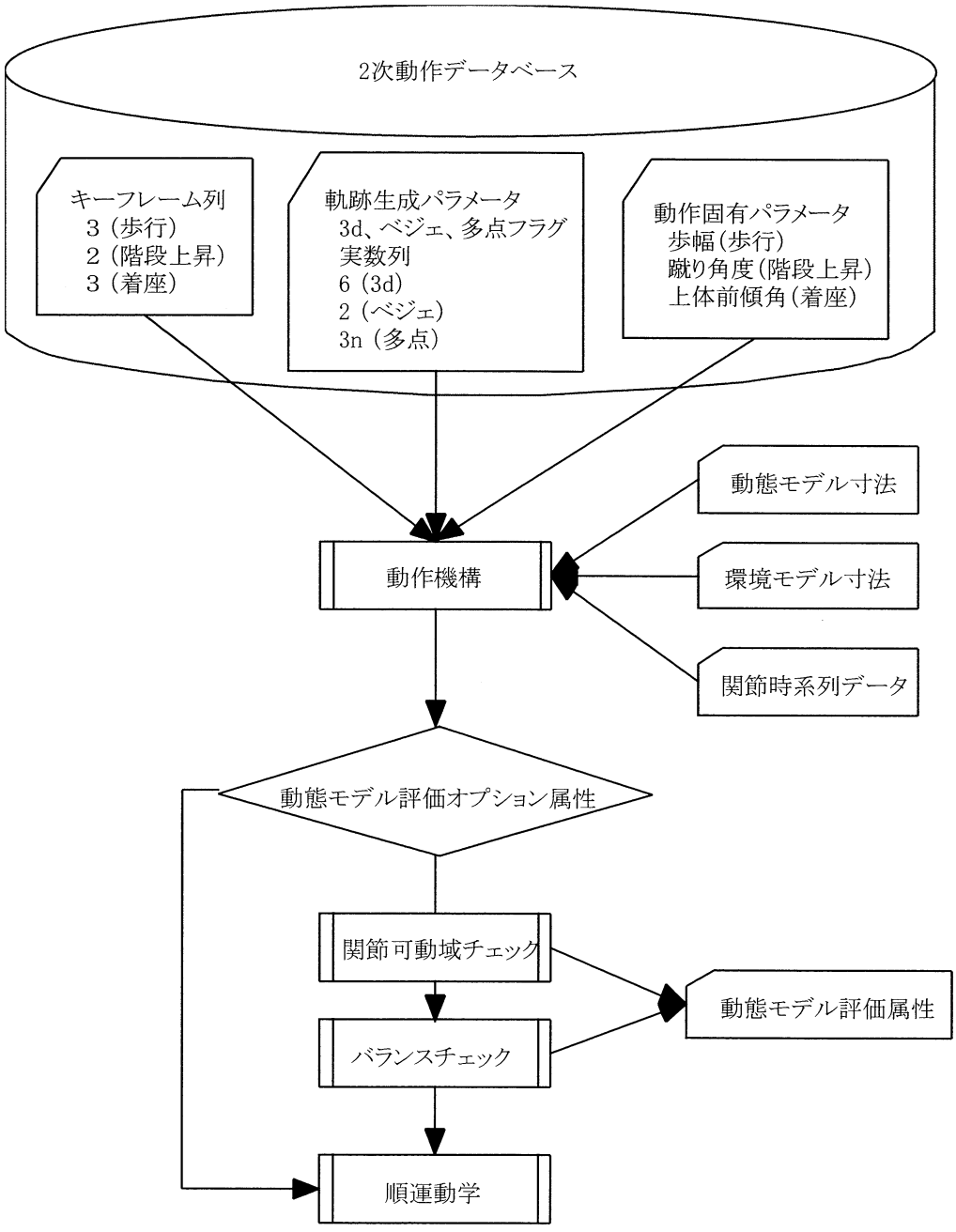


図 2.3-39　動作生成フロー図

(10)FEM メインルーチン

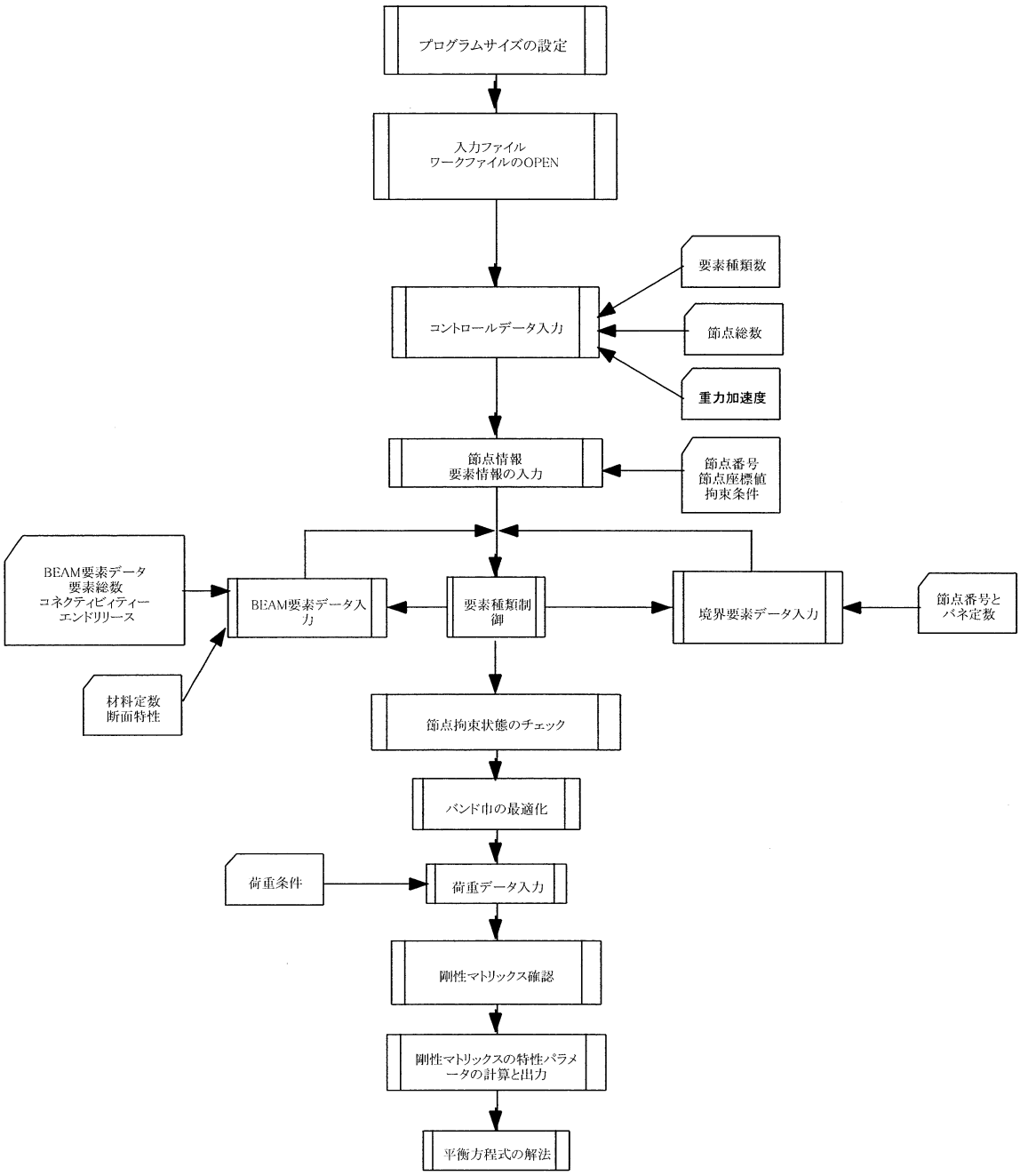


図 2.3-40　FEM 負荷評価メインルーチンフロー図

(11)要素制御ルーチン

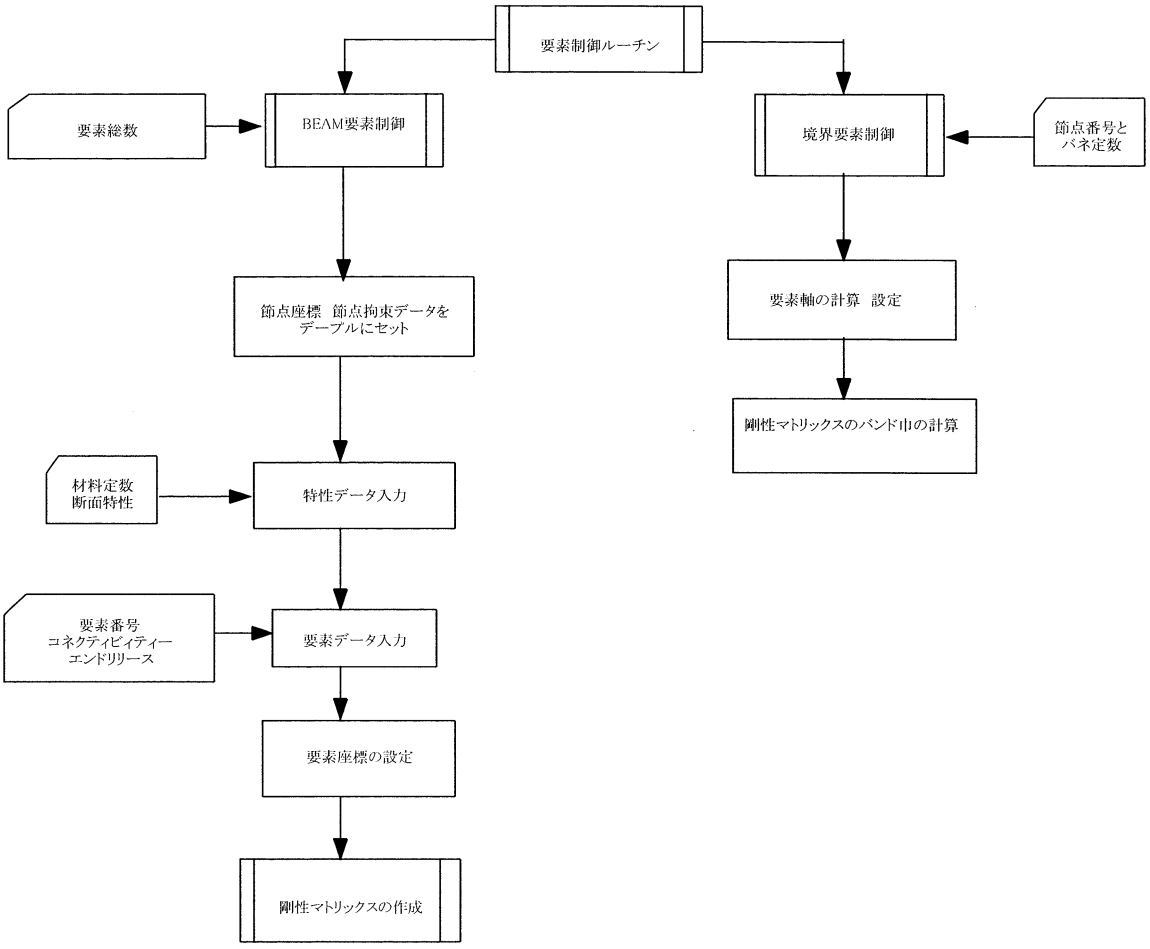


図 2.3-41　FEM 負荷評価要素制御ルーチンフロー図

(12)剛性マトリックス作成

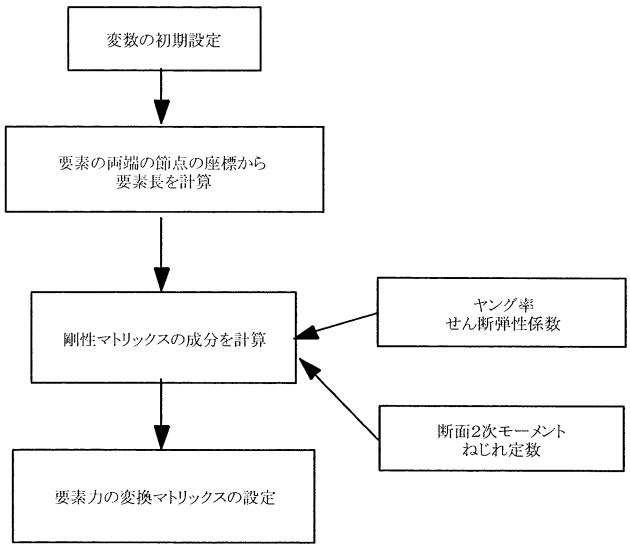


図 2.3-42　FEM 負荷評価剛性マトリックス作成フロー図

(13)平衡方程式の解法

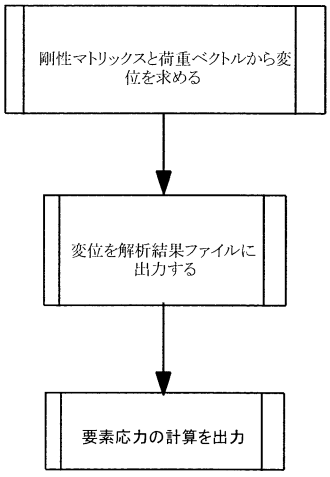


図 2.3-43　FEM 負荷評価平衡方程式解法フロー図

2.3.3.3 モジュール（クラス）の詳細

本システムを構成するオブジェクトのクラス構造について以下に示す。

(1) SilTools 基礎人間動作モジュール部分



図 2.3-44　人間モデル関連オブジェクトラス構造図



図 2.3-45　人間属性関連オブジェクトクラス構造図

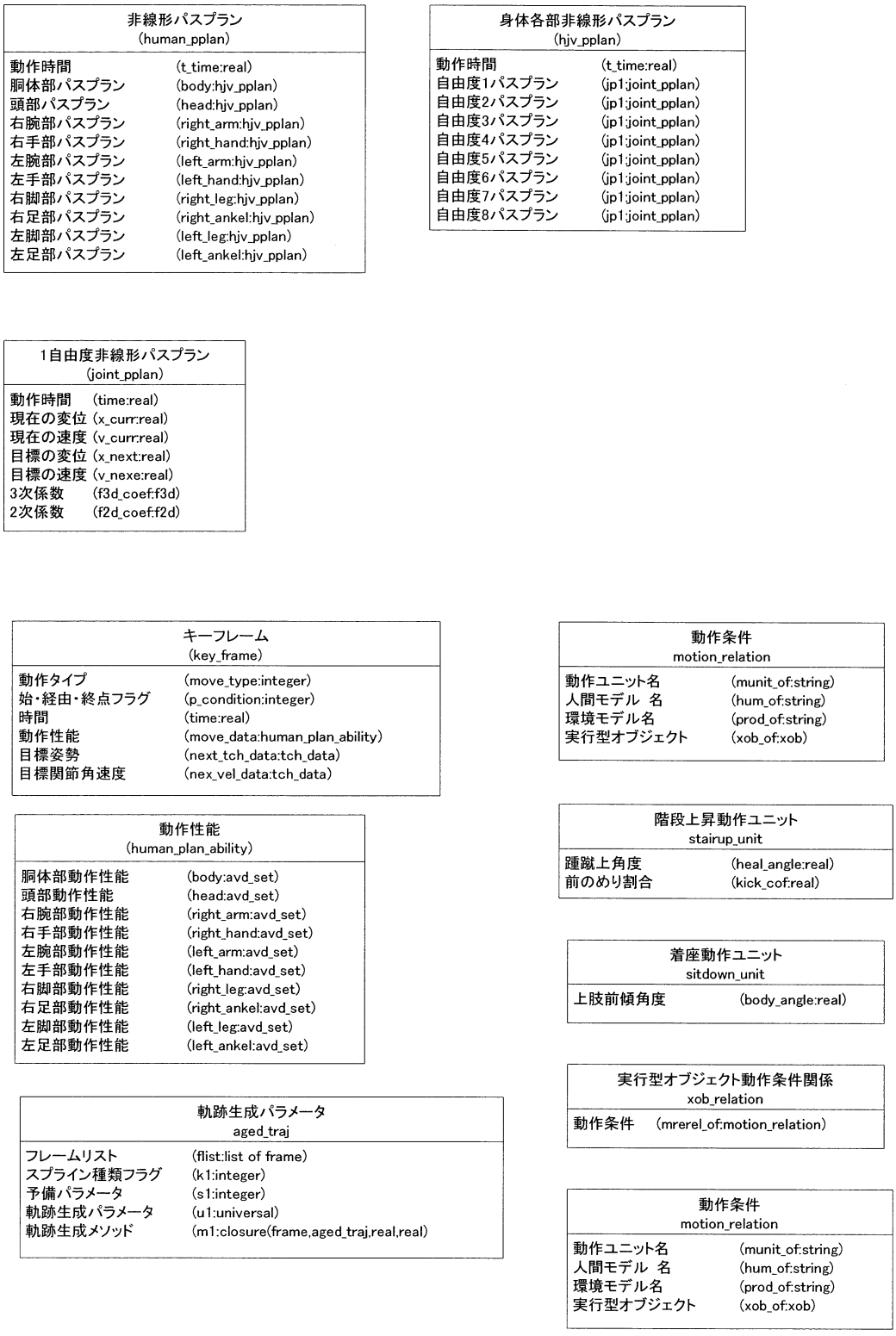


図 2.3-46　動作関連オブジェクトクラス構造図

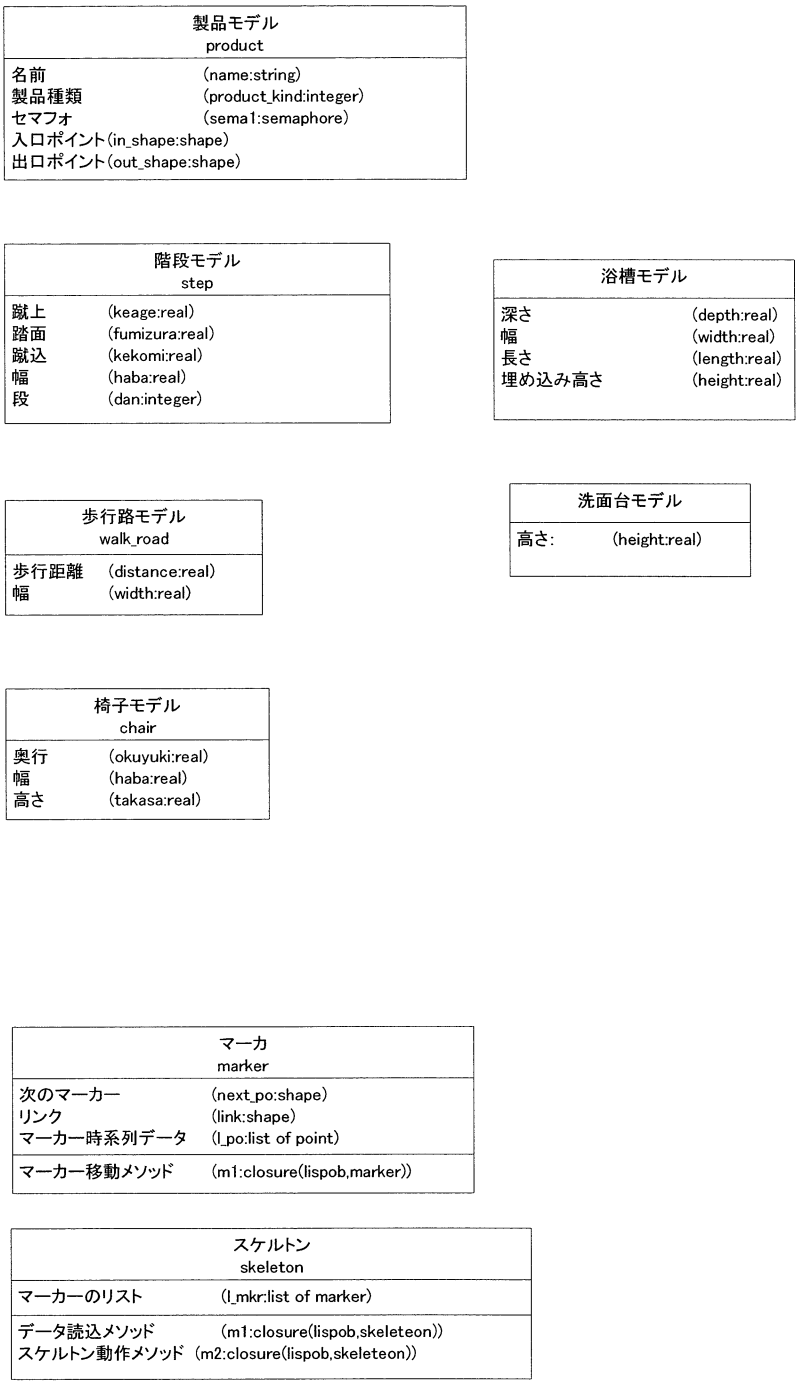


図 2.3-47　製品・環境モデル、スケルトンモデル関連オブジェクトクラス構造図

２．３．３．４ モジュール（クラス）の関係

本システムを構成するオブジェクトのクラスの関係（継承など）について以下に示す。

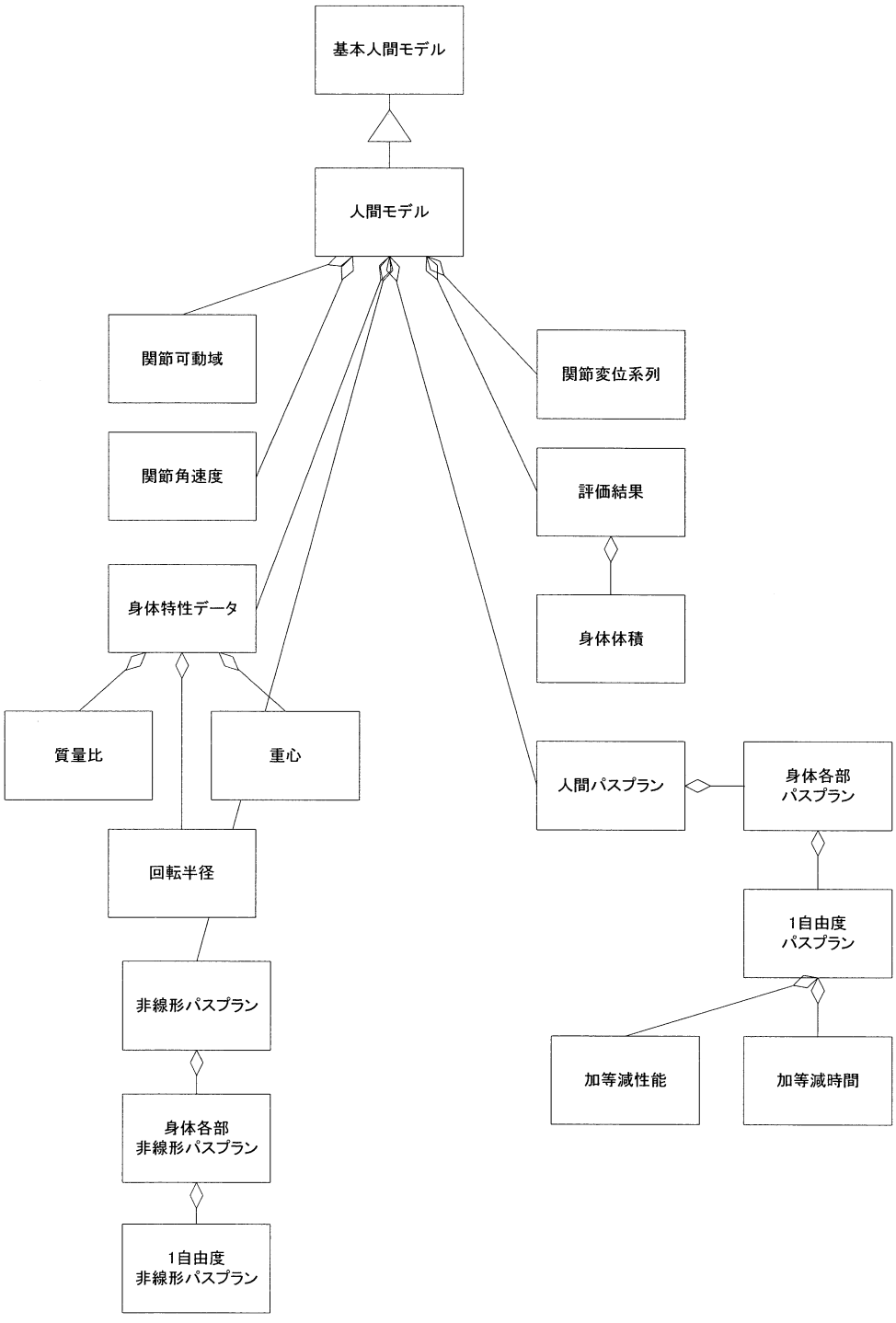


図 2.3-48　人間モデル関連オブジェクトクラス関係図

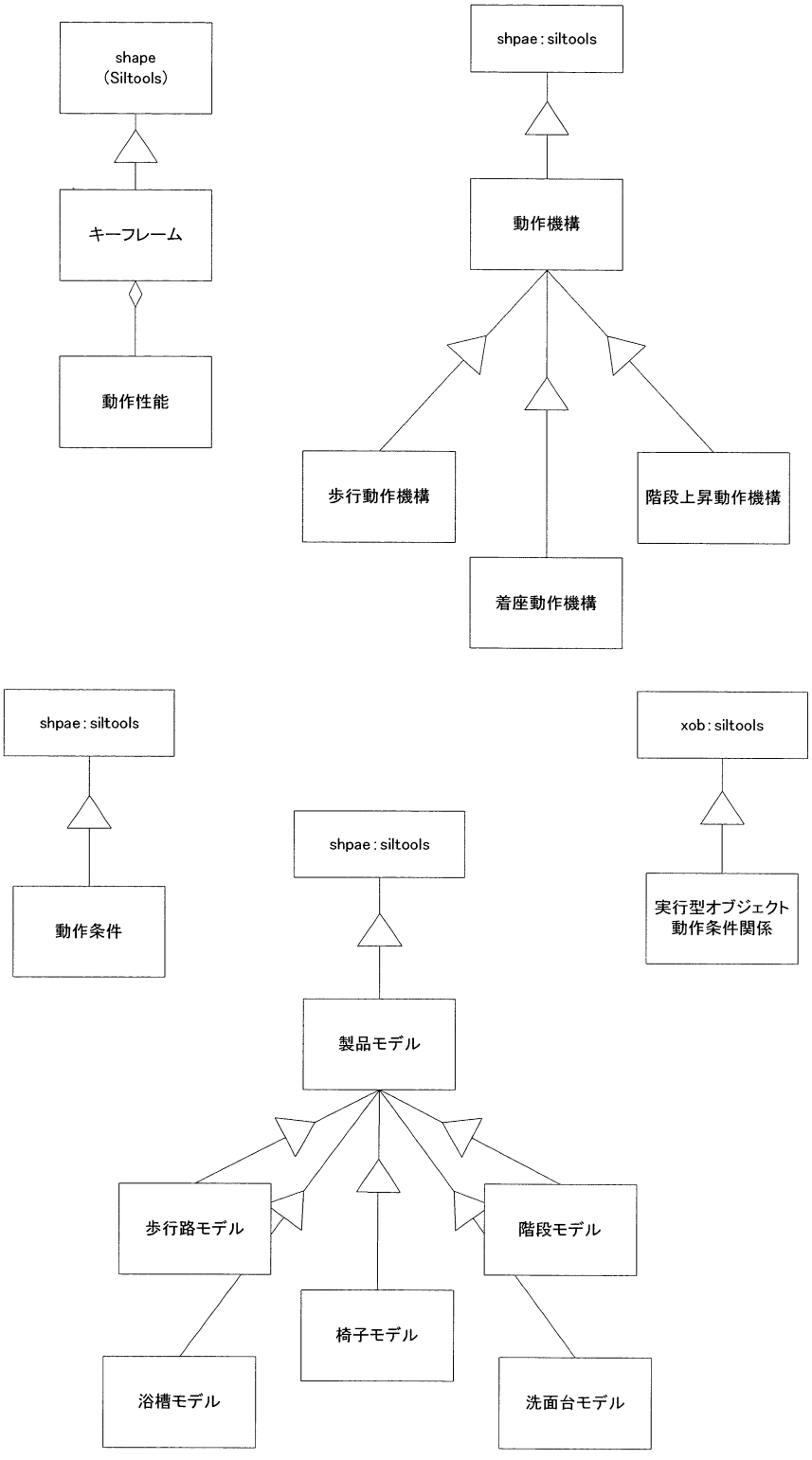


図 2.3-49　動作、製品・環境モデル関連オブジェクトクラス関連図

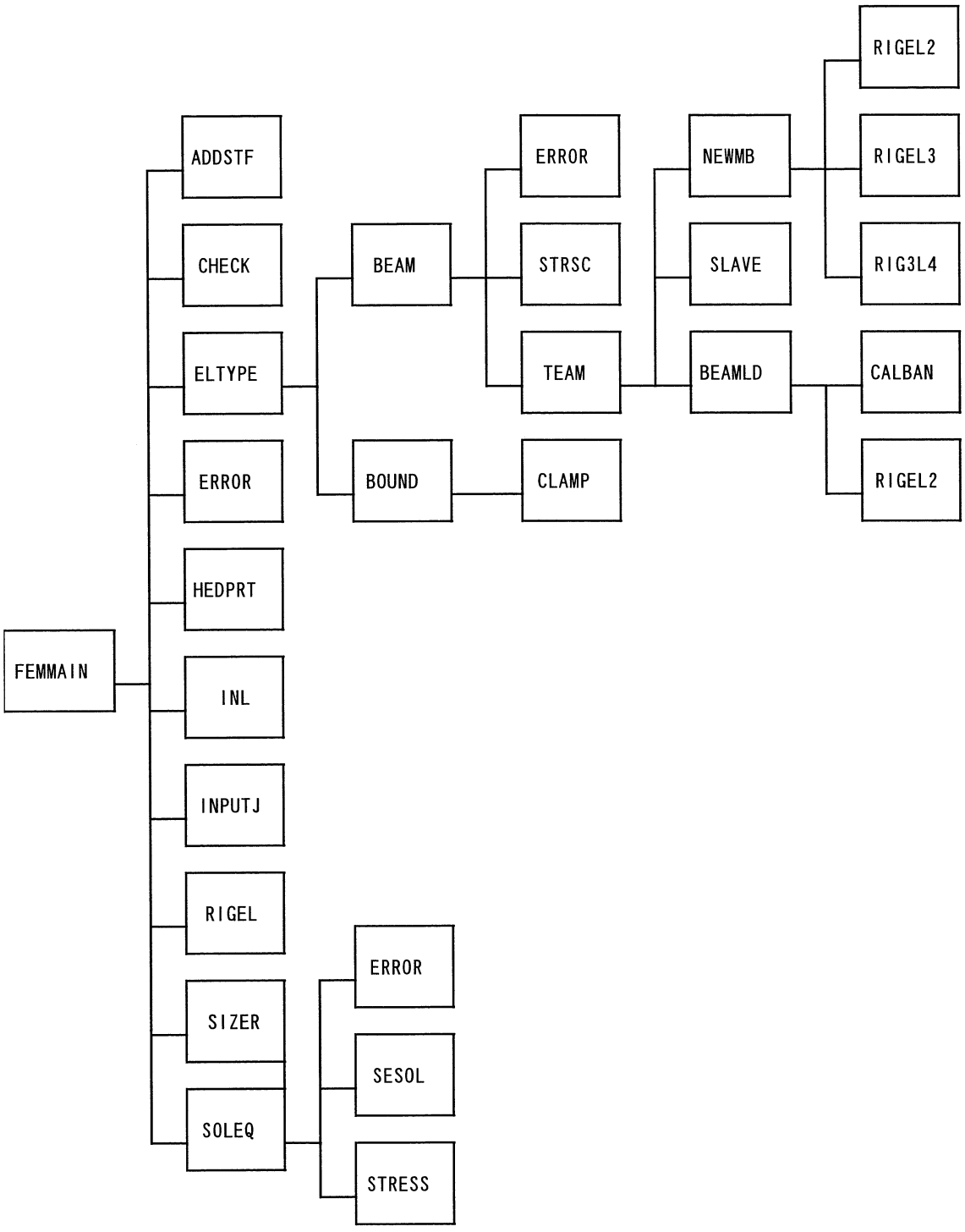


図 2.3-50　FEM 負荷モジュール関係図

(3)複合動作

複合動作として、動作機構とキーフレーム動作の混合連続動作のシミュレーションを行う。図2.3-54にシミュレーション実施環境のワークセルのロード、製品モデル属性の割り当ての様子を示した。

CADなどで作成した外部の製品モデルについて動作機構による動作を実行させるためには、動作機構が椅子モデルを正しく認識するためにその寸法等の属性を設定する必要がある。この設定もGUIから行うことが出来るものとしている。

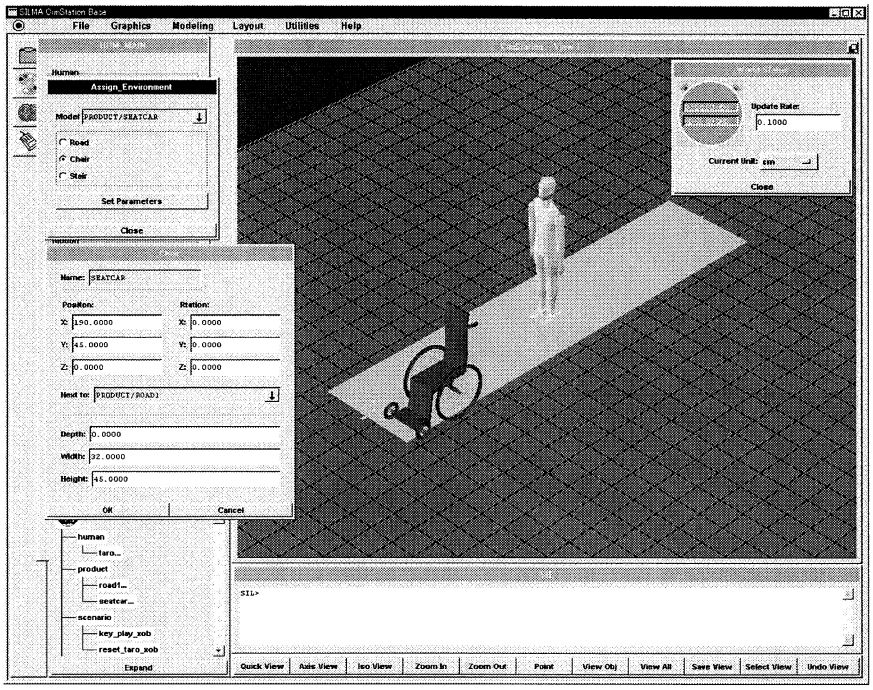


図2.3-54　椅子モデル属性割当機能の実行イメージ

ワークセルのロード、椅子モデルの属性の割り当てを行うことにより、動作シミュレーションを実行することが可能となる。この時の仮想世界のオブジェクト階層構造を図 2.3-55 に示した。

左半分の「Quick Pick」とある部分がオブジェクト階層構造を GUI ベースで表示したものであり、右半分の「Edit World」は、仮想世界オブジェクトの階層構造の変更や、名前の変更、削除などを行うパネルである。

階層構造において human 分枝が動態モデル本体関連のオブジェクト、move_unit 分枝以下のオブジェクトが動作機構関連のオブジェクト、product 分枝以下が製品・環境モデルオブジェクト、scenario 分枝以下にシナリオ設定オブジェクトが、それぞれ配置されている。

Scenario 以下の、「walk1_xob-slide1-slide2-slide3-sit1_xob」の系列が複合動作のシナリオとなっており、walk1_xob、sit1_xob の二つは動作機構に基づいた動作を生成する実行型オブジェクトであり、slide1、slide2、slide3 はキーフレームオブジェクトである。

ユーザは親子関係の先頭の walk1_xob を起動するだけで、一連の複合動作を生成することが可能である。

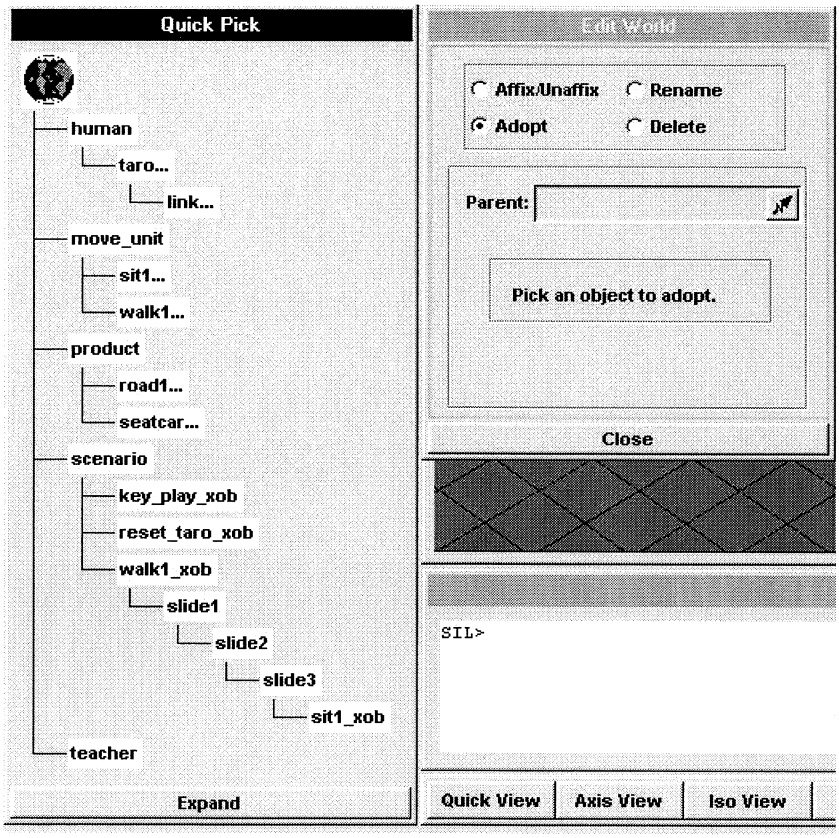


図 2.3-55　仮想世界オブジェクト階層構造例

実際に動作機構とキーフレーム動作の混じった動作シミュレーションの様子を以下(図 2.3-56)に示した。

(4)基礎評価機能

本システムでは、視野評価（視野コーン、視野ウィンドウ、鏡面ウィンドウ）、リーチ評価などの基礎評価機能を新たに開発した。その基礎評価機能を洗面台環境において用いた結果を図 2.3-57 に示す。

左上ウィンドウが視野ウィンドウであり、左下ウィンドウは正面の鏡面からのビューを移した鏡面ウィンドウである。

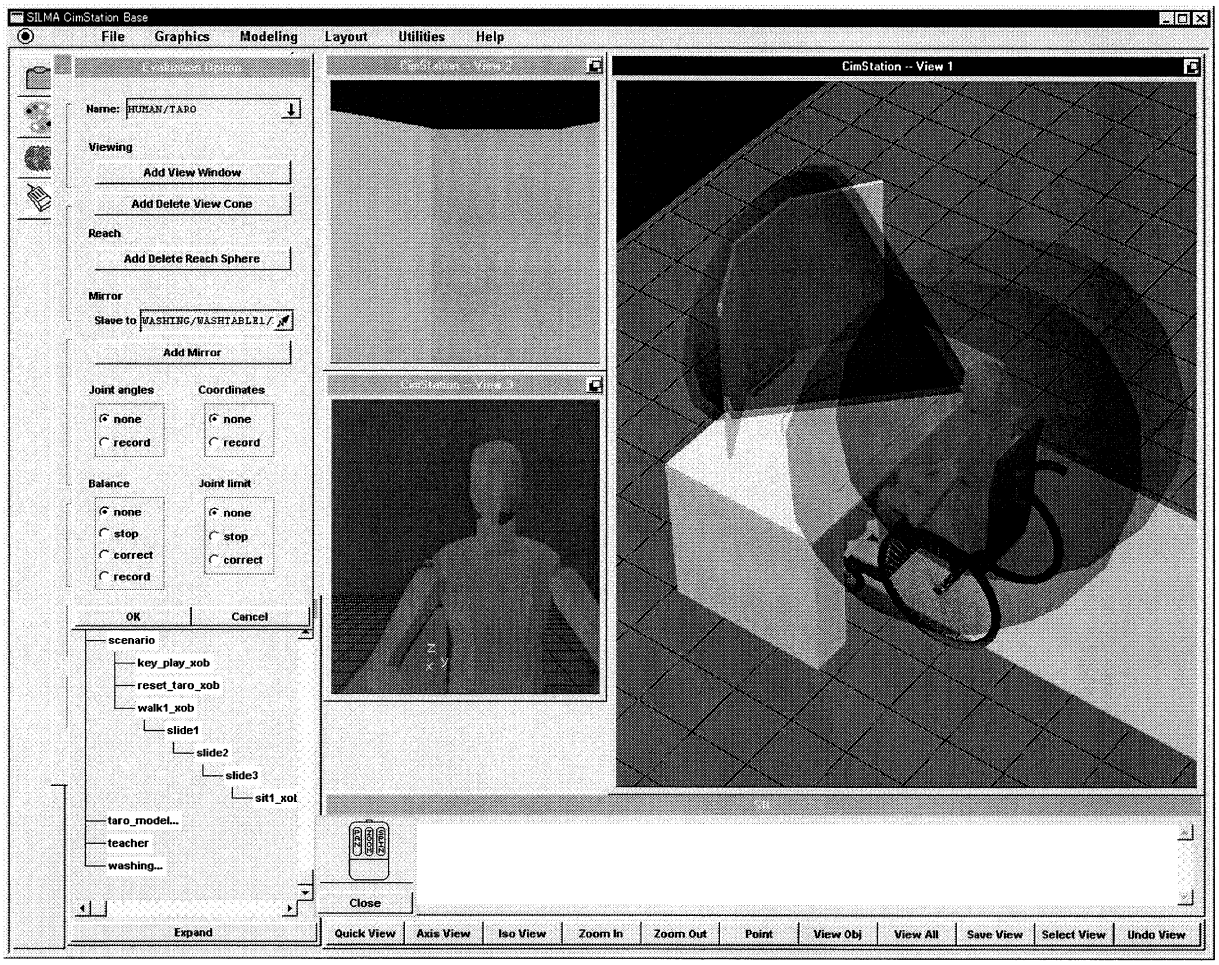


図 2.3-57　洗面台環境での基礎評価機能実施例

(5)負担評価機能

本システムにおいて、負担の評価機能を有限要素法により開発した。その計算結果例を図 2.3-58 に示す。

任意の姿勢において外部負荷パラメータを調整しながら身体各部位の評価を行うことができる。各関節中心位置から描かれているディスクが、その関節のディスクに垂直な軸まわりにかかるモーメントの相対値を示している。

パネルを表示することにより、各関節の各軸まわりのモーメントの絶対値、その値の基準値との比較を確認することも出来る。

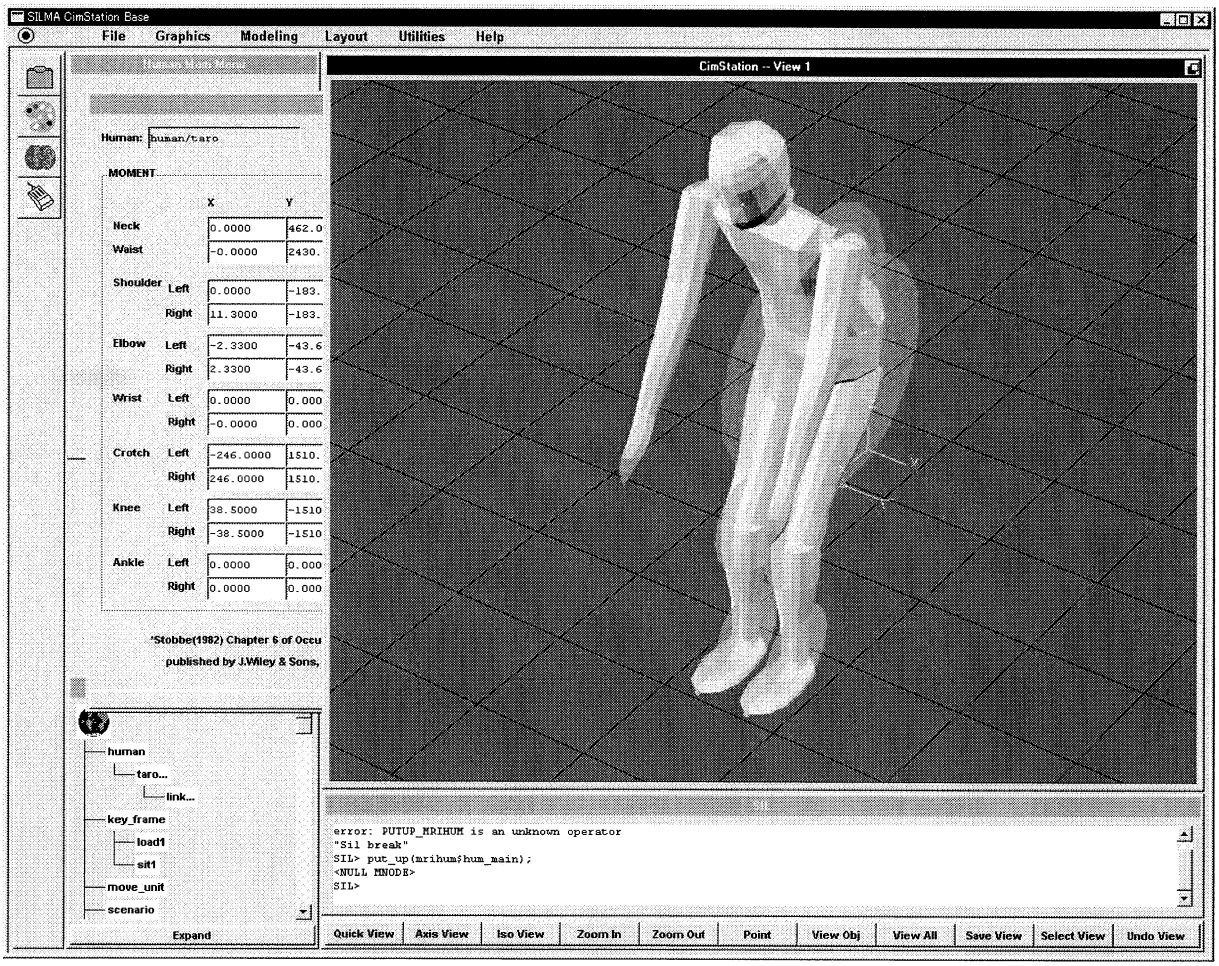


図 2.3-58　負担評価解析結果表示例

参考文献

[1] HQL 他、「コンピュータ・マネキンに関する国際標準規格」、平成 9 年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書 (1998)

[2] HQL 他、平成 11 年度国際特定共同事業「コンピュータ・マネキンに関する人体モデル形状の形態推定技術の研究」成果報告書(2000)

[3] 渡辺ら、「健康日本人における四肢関節可動域について－年齢による変化」、日本整形外科学会雑誌、53 巻、pp.275-291(1979)

[4] 岡部ら、「各年代における健康人の関節可動域について」、総合リハ、8 巻、pp.41-56(1980)

[5] 岡田ら、「日本人高齢者の身体部分慣性特性」、バイオメカニズム 13、東京大学出版会、pp.125-138(1996)

[6] 阿江ら、「日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定」、バイオメカニズム 11、東京大学出版会、pp.23-32(1992)

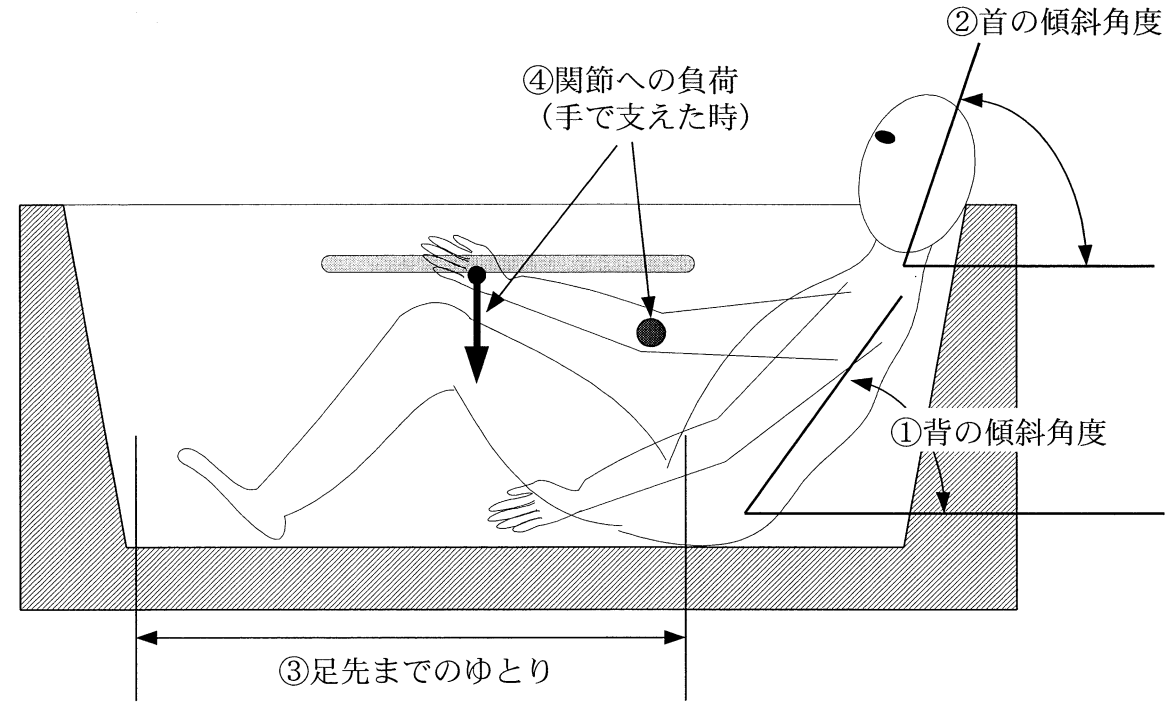
[7] 西谷ら、「WonderSpace: VRML ヒューマノイドアニメーション手法」、 NICOGRAPH 論文集、Vol.14、pp.163-172、 (1998)

２．４　高齢者用製品評価機能の応用事例研究

２．４．１　形態モデルシステムの応用事例研究

２．４．１．１　浴槽および浴室設備

浴槽及び浴室設備を対象として、そこで必要な評価ポイントを検討する。それを評価するための機能を検討し、これを反映したソフトウェアを製造する。この後、具体的な製品をいくつか選択し、その評価機能を使用して当該製品の評価を行う。旧来の評価方法で行った評価との比較を行い、本システムの有効性を検証する。



①背の傾斜角度　　：55度
②首の傾斜角度　　：65度
③足先までのゆとり：110cm
④関節への負荷　　：○○kg重
（手で支えた時）

○浴槽評価の概要

・様々な形態モデルに対して評価

→体型、年齢に応じた形態モデルを生成できる。

・浴槽 CAD データに、容易に形態モデルをセットできる。

→浴槽に接するポイントの指定（背中、尻、足など）

→関節角の調整機能（微調整可能）

→接する部分の形状変形を考慮

→関節角の可動制限を考慮できる

→干渉チェック(形態モデル自身、形態 モデル対浴槽)

・手すり位置の評価

→浴槽内から起き上がる際の手すり位置の評価

＝起き上がりやすいかの評価（関節に過大な負荷がかからないか）

→片手、両手に対応

・浮力を考慮

→浴槽内の水面を指定できる。

→水面下の容積を計算し浮力、浮心の計算ができる。

→浮力の成分を形態モデルと浴槽の接点にかかる力へ反映する。

→浮力の成分を形態モデルと浴槽の接点にかかる力へ反映する。

・水面位置の変更

→形態モデルが水に浸かっている容積の変化に応じて水面位置を再計算する。

→水面と頭(口)の位置を評価できる

・浴槽の快適性評価(姿勢に関して)

→関節にかかる負荷を計算し、浴槽形状が快適かを評価できる。

→例えば、腰に無理な負荷がかかっているか、といった評価

・介護者の観点からみた要件

→被介護者のどこを支えると無理無く支えることができるかの評価

→支える場所による浮心の移動

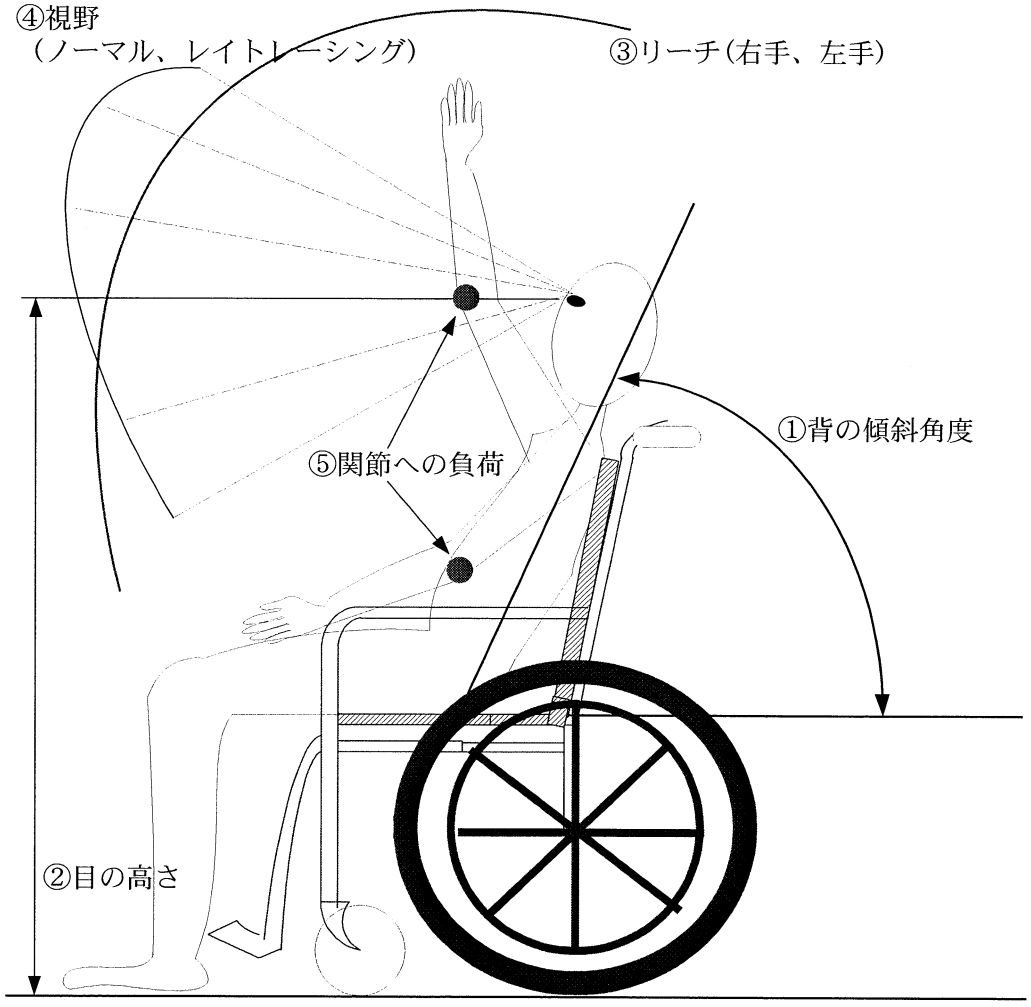
→支える場合の介護者にかかる重力の評価

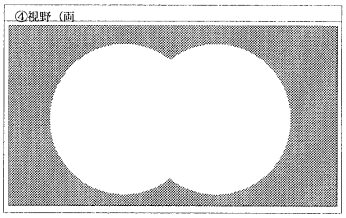
・リーチについて

→手すりや浴槽の縁、蛇口、コントローラ、非常警報ブザーのボタン
などの位置を設計する際の評価に利用

２．４．１．２　椅子

車椅子を対象として、必要な評価ポイントを検討する。そのポイントを評価するための機能を検討し、これを反映したソフトウェアを製造する。この後、具体的な製品をいくつか選択し、その評価機能を使用して当該製品の評価を行う。旧来の評価方法で行った評価と比較し、本システムの有効性を検証する。





①背の傾斜角度　：75度
②目の高さ　　：120cm
③リーチ（右手）：[表示／非表示]
　リーチ（左手）：[表示／非表示]
④視野　　：[表示／非表示]
⑤関節への負荷　：左肘：○○kg重

○車椅子評価の概要

・様々な形態モデルに対して評価

→体型、年齢に応じた形態モデルを生成できる。

・車椅子 CAD データに、容易にモデルを座らせることができる。

→接するポイントあるいは面の指定

→手すり、ステップ、車輪を押す位置、シートの深さなど考慮する

→車椅子の設計による転倒の可能性を評価できる。

→接する部分の形状変形に加え、シート材質による「へこみ」を考慮できる

・電動車椅子の場合の操作盤

→操作盤の位置評価。操作のしやすい位置の評価

・立ち上がる際の評価

→手すり、ステップの位置評価

→立ち上がる際に車椅子に対してかかる力の計算

→ブレーキ（安全装置）がかかっていない場合の安全性評価

・座り心地（快適性）の評価

→関節にかかる負荷を計算し、車椅子形状が快適かを評価できる。

→例えば、腰に無理な負荷がかかっているか、といった評価

・路面の傾きについて(坂道、歩道の段差など)

→姿勢（傾き）の変化による、車椅子の転倒可能性の評価

→重心位置の評価

→傾いたときに無理な力が加わらないか評価

・介護者の観点からみた要件

→介護者が押しやすい手押し位置の評価

→押すときの介護者の姿勢に対する負荷の評価

・視野について

→視野の表示

→例えば、部屋の中をウオークスルーでき、見え方を表示できる

・リーチについて

→手すり、コントローラなどの位置を設計する際の評価に利用

２．４．２　形態モデルシステムの評価方法

評価は、ユーザビリティ評価、性能評価、精度評価、ビジネス効果の４つの側面から実施した。

２．４．２．１　ユーザビリティ評価

個々の画面やその表示内容、応答速度や操作性など**システムの使い勝手**に関する評価を行う。評価は５段階で行う。

ユーザビリティチェック表

項目	評価
マウス操作で全て行えること	
AutoCADを知らなくても定例操作ができること	
メッセージ表示の内容がわかりやすいこと	
ミス操作も復帰できること	
3次元操作に対するガイドが充実していること	
処理の待ち時間が短いこと	
モデル操作のタイムラグがないこと	
操作対象モデルがわかること	
操作対象のオブジェクトがわかること	
マニュアルを見なくても凡そ操作できること	
操作の流れに違和感がないこと	
操作ミスに対してガイダンスが表示されること	
評価などの設定が容易なこと	

２．４．２．２　性能評価

性能評価としては、まず、メニューレベルでの機能の充足度の評価と各機能の達成レベルを評価する。達成度評価は同じく５段階で行う。

項目		内容	必要性有無	達成度評価
形状	形状	人間的な形状		
	変更方法	部位単位で変更可能		
		3方向個別に変更可能		
		1部位で複数の変更可能ﾎﾟｲﾝﾄを有する		
	データ	形状データ保存可能		
		体型データ保存可能		
データベース	内容	日本人データ保有		
		乳幼児等の子供のデータ保有		
	検索方法	年代・体型・ﾊﾟｰｾﾝﾀｲﾙにより検索可能		
	体型推定	数点のサイズから全体推定可能		
		異なる計測情報でも使用可能		
内容	設定値	各関節の可動域が設定可能		
		部位毎の重量推定が可能		
		部位毎の重量及び重心位置設定可能		
		指先や大転子等計測に必要なﾎﾟｲﾝﾄを予め座標として設定		
動作・姿勢	制御方法	関節角度による姿勢変更可能		
		ポイント指定による最終姿勢推定可能		
		左右対称ができること		
	指定方法	マウス・バー等による変更と数値設定可能		
	ルール	姿勢時の重心中心算出		
		姿勢時のバランス状態を考慮（ON・OFF設定可能）		
		他モデルとの連携動作可能		
	データ	姿勢情報が保存可能		
		基本的な姿勢が準備されていること		
		データを読み込んで再現可能		
		読み込んだ姿勢データを指定体型に合わせて変更可能		
		読み込んだ姿勢データに合わせて指定モデルの体型を変更可能		
	その他	バランスずれ量を表示		
		必要動作時間を表示		
ファイル出力	データ	CADデータ読み込み可能		
		CADフォーマットへの出力可能（2Dテンプレート）		
		CADフォーマットへの出力可能（ソリッドデータ）		
オブジェクト	作成	形状作成可能		
		形状変更可能		
		形状間の演算可能（人体モデル含む）		

項目		内容	必要性有無	達成度評価
ウィンドウ	画面	グリッド表示		
		グリッド間隔変更可能		
	種類	3方向から表示されること		
	視点	カメラ位置設定可能		
		画角変更可能		
その他	照明	照明状態を評価可能		
		映り込みを含んだ画像表示		
		複数のモデルを同時に検討可能		
■評価機能				
視界評価	視野範囲	視野範囲を明示(ViewCone)		
		視野範囲を変更可能		
		モデルの移動にあわせて視野も移動		
	評価	高齢者の視野状態を再現・表示可能		
到達判定	評価レベル	「無理なく」・「最大限」等のレベル毎に評価可能		
	範囲表示	到達可能範囲をレベル毎に表示可能		
	到達姿勢	腕のみの姿勢と全身使用による場合両方可能		
		障害物を回避しての到達姿勢推定可能(視界状態を含む)		
力学	重心	3次元に重心が表示されること		
		重心が3面に投影されること		
評価内容	評価指標	設定された内容と指標により評価作成可能		
	計測	数値計測可能(位置・距離・大きさ)		
	浮力	浮心算出可能		
		重心位置と浮心からバランス評価可能		
	その他	物体への加重算出可能(位置や分散情報指定可能)		
		動作時の滑り状態評価可能		

２．４．２．３　精度評価

人体寸法実測データ(HQL)とマネキンの姿勢のデータとの整合性を評価する。

①浴室

浴槽内でのリーチ評価について、本形態モデルとJack、実測値の違いを評価する。

②座姿勢

９体型の各モデルの計測値（統計処理後）と形態モデルをＣＡＤ上で測定した値とを比較することで、精度比較を行う。

２．４．２．３　ビジネス効果

形態モデルの利用により期待できる効果を以下の項目についてまとめる。

○評価期間の短縮
○評価コストの削減
○人間適合性評価回数の増加（質的効果の代替指標）
○評価対象体型の範囲拡大（質的効果の代替指標
○設計プロセスの変更

２．４．３　形態モデルシステムの評価結果

２．４．３．１　浴槽および浴室設備

①ユーザビリティ評価

項目	評価
＜初心者向け＞	
マウス操作で全て行えること	4
AutoCADを知らなくても定例操作ができること	4
メッセージ表示の内容がわかりやすいこと	3
ミス操作も復帰できること	4
3次元操作に対するガイドが充実していること	3
処理の待ち時間が短いこと	2
モデル操作のタイムラグがないこと	2
操作対象モデルがわかること	3
操作対象のオブジェクトがわかること	3
マニュアルを見なくても凡そ操作できること	4
操作の流れに違和感がないこと	2
操作ミスに対してガイダンスが表示されること	4
評価などの設定が容易なこと	3

処理速度、種々の設定の操作性にやや難があるものの、おおむね平均以上の評価が得られている。特に、初心者でもマニュアルを見なくても凡その操作ができる点に関して評価されていることは、注目に値する。

②性能評価

②－１）機能評価

項目		内容	必要性有無	達成度評価
形状	形状	人間的な形状	3	5
	変更方法	部位単位で変更可能	2	5
		3方向個別に変更可能	4	4
		1部位で複数の変更可能ﾎﾟｲﾝﾄを有する	2	－
	データ	形状データ保存可能	3	5
		体型データ保存可能	4	1
データベース	内容	日本人データ保有	3	3
		乳幼児等の子供のデータ保有	2	1
	検索方法	年代・体型・ﾊﾟｰｾﾝﾀｲﾙにより検索可能	5	2
	体型推定	数点のサイズから全体推定可能	3	3
		異なる計測情報でも使用可能	2	－
内容	設定値	各関節の可動域が設定可能	3	4
		部位毎の重量推定が可能	2	4
		部位毎の重量及び重心位置設定可能	2	2
		指先や大転子等計測に必要なﾎﾟｲﾝﾄを予め座標として設定	4	1
動作・姿勢	制御方法	関節角度による姿勢変更可能	5	2
		ポイント指定による最終姿勢推定可能	4	3
		左右対称ができること	3	3
	指定方法	マウス・バー等による変更と数値設定可能	1	2
	ルール	姿勢時の重心中心算出	1	2
		姿勢時のバランス状態を考慮（ON・OFF設定可能）	5	－
		他モデルとの連携動作可能	2	－
	データ	姿勢情報が保存可能	4	－
		基本的な姿勢が準備されていること	3	－
		データを読み込んで再現可能	2	－
		読み込んだ姿勢データを指定体型に合わせて変更可能	2	－
		読み込んだ姿勢データに合わせて指定モデルの体型を変更可能	2	－
	その他	バランスずれ量を表示	1	4
		必要動作時間を表示	2	－
ファイル出力	データ	CADデータ読み込み可能	3	5
		CADフォーマットへの出力可能（2Dテンプレート）	5	3
		CADフォーマットへの出力可能（ソリッドデータ）	5	4
オブジェクト	作成	形状作成可能	3	4
		形状変更可能	5	5
		形状間の演算可能（人体モデル含む）	5	4

項目		内容	必要性有無	達成度評価
ウィンドウ	画面	グリッド表示	3	—
		グリッド間隔変更可能	3	—
	種類	3方向から表示されること	4	5
	視点	カメラ位置設定可能	3	4
		画角変更可能	4	3
その他	照明	照明状態を評価可能	1	2
		映り込みを含んだ画像表示	3	—
		複数のモデルを同時に検討可能	4	5
■評価機能				
視界評価	視野範囲	視野範囲を明示(ViewCone)	2	3
		視野範囲を変更可能	2	3
		モデルの移動にあわせて視野も移動	4	2
	評価	高齢者の視野状態を再現・表示可能	2	—
到達判定	評価レベル	「無理なく」・「最大限」等のレベル毎に評価可能	5	2
	範囲表示	到達可能範囲をレベル毎に表示可能	5	—
	到達姿勢	腕のみの姿勢と全身使用による場合両方可能	4	3
		障害物を回避しての到達姿勢推定可能(視界状態を含む)	4	—
力学	重心	3次元に重心が表示されること	3	4
		重心が3面に投影されること	2	—
評価内容	評価指標	設定された内容と指標により評価作成可能	2	—
	計測	数値計測可能(位置・距離・大きさ)	3	—
	浮力	浮心算出可能	5	—
		重心位置と浮心からバランス評価可能	5	—
	その他	物体への加重算出可能(位置や分散情報指定可能)	4	—
		動作時の滑り状態評価可能	2	—

必要性の高い機能について、実装されているものについては高い評価がなされているものの、実装が遅れていることから評価対象外となっているものもあり、今後の開発課題である。

②－２）精度評価

被験者による立位および車椅子座位での到達実験の結果から、形態モデルと市販人体モデル（Jack）の再現性の比較評価を行う。

③ビジネス効果

○評価期間の短縮

製品開発においてはユーザビリティなどについて、様々な被験者実験を行いながら設計値を決め込んでいる。被験者実験は、本来対象となるすべての体型、体力の被験者で行うことが理想であるが、被験者集めなどデータ収集が非常に困難である。また、被験者での評価は設備の試作を伴うため、複数回の評価を行うときには期間などもかかるケースがあった。コンピュータマネキン（形態モデル）では、早い段階での評価が可能であり、複数の体型に対する評価が容易となるため、評価設計期間の短縮には有効であると考えられる。

現段階ではユーザビリティなどの基本的な実験は、マネキンだけでは不十分と考えられるため、被験者実験で行わなくてはならない部分はまだ多い。しかし、使いやすさの条件などを実験で求めておけば、被験者の体型の拡張、対象となる設計対象の変更に対し、コンピュータマネキンの効果は十分期待できる。

○評価コストの削減

評価設計に関わる被験者実験、および設計対象の試作を代替えすることが可能となるために、その部分にかかっていたコストの削減が期待できる。ユーザビリティの基本実験は人間で行うものの、使いやすさの条件に従って、様々な体型のマネキンを配置し、評価を行うことで被験者実験をおよそ１／２に削減できる可能性がある。また、被験者実験のための製品の試作に関しても、同程度削減できると考えている。ただ、最終的には対象者での確認実験が必要不可欠である。

○人間適合性評価回数の増加

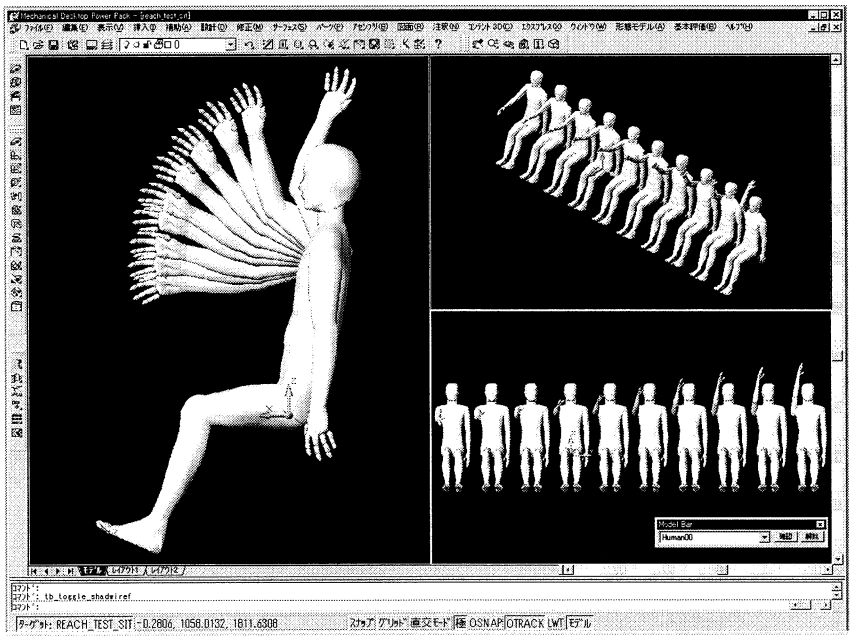
製品が身体寸法に適合しており、「大きな人でも接触する部位がないか」、「部品の配置が適切で小さな人でも手が届くか」、「対象物が確認しやすいか」などはマネキンの得意とする評価である。「どのような姿勢がよいか」、「どこまでなら楽に届くか」というような主観が入ってくる場合には、被験者実験が必要となるが、チェック機能としてマネキンを使用することは十分に可能である。そのため、煩雑な被験者実験を行わずに、チェックを実施しながら設計でき、人間適合性評価回数の増加につながると考えられる。上記の「どこまでなら楽に届くか」等の判定は、例えば、ＨＱＬの高齢者のデータベースを活用すれば可能となる。

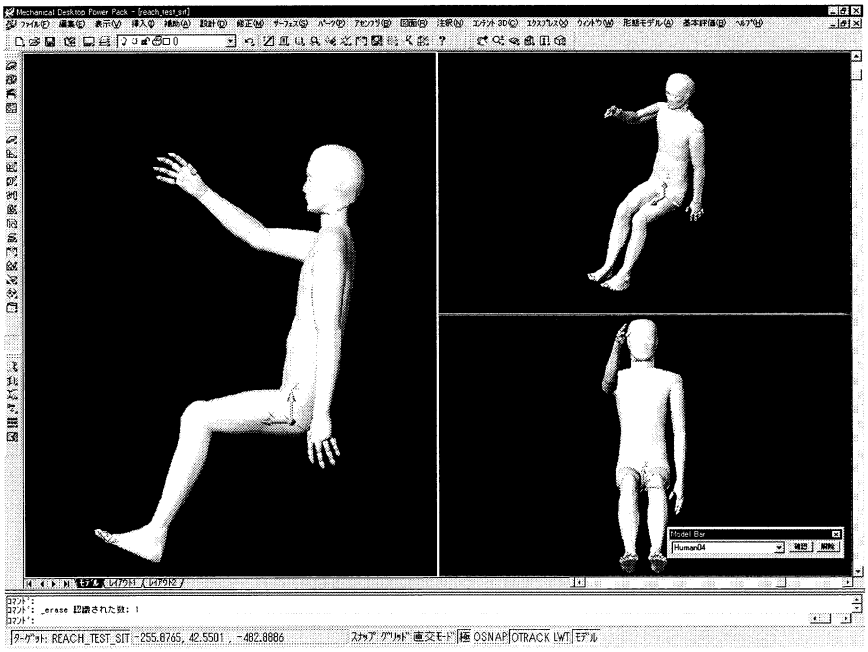
○評価対象体型の範囲拡大

被験者実験では対象者全体の身体寸法で実験を行うことは多くの場合困難である。そこである程度の範囲の被験者実験で設計値を決めたり、実験できなかった被験者部分を推定して設計している。しかし、マネキンでは５パーセンタイルの人や９５パーセンタイルの身体寸法も再現自在である。従って、それらのマネキンを用いれば、明確に大きな人や小さな人で

も使えるという根拠を得ることができるメリットがある。いままで、ユーザビリティ設計は対象者の９割に、安全面では９．９割にという観点があったが、それを実際にモデルを配置しわかりやすい形で、評価、設計、説明が行える。

また、製品設計に関しては全身体寸法に対して一つの仕様でいくのか、複数の仕様に分けなくてはならないかの評価も可能であり、有用性は大きい。





○設計プロセスの変更

設計プロセスは企画、構想、実験機設計、実験用試作、実験機評価、基本仕様決定、試作設計、評価、設計、量産試作～のような流れになっている。人間適合性評価はほとんどの場合、実験機評価の中で行われる。従って設計プロセスの変更もそこが中心となる。これまでは、被験者実験だけで数を稼いでいたものが、被験者実験は少人数で条件を抽出する実験となり、体型による身体寸法の適合性評価、設計対象の形状変更等はシミュレーション上で行なうことが効率的となると考えられる。実験用試作も複数に及ぶ場合があり、シミュレーションに変換することのメリットは大きい。このように、被験者実験とコンピュータマネキンのシミュレーションを融合するプロセスによって、お互いの利点を共有でき、
設計の効率化、被験者の安全確保の面での効果も大きい。

また、マネキンを用いれば、実験機の評価だけでなく実験機設計や構想などの段階からも製品を考えることが容易になると考えられる。

２．４．３．２　椅子

①ユーザビリティ評価

項目	評価
＜初心者向け＞	
マウス操作で全て行えること	4
AutoCADを知らなくても定例操作ができること	2
メッセージ表示の内容がわかりやすいこと	3
ミス操作も復帰できること	4
3次元操作に対するガイドが充実していること	3
処理の待ち時間が短いこと	2
モデル操作のタイムラグがないこと	2
操作対象モデルがわかること	4
操作対象のオブジェクトがわかること	4
マニュアルを見なくても凡そ操作できること	4
操作の流れに違和感がないこと	3
操作ミスに対してガイダンスイが表示されること	3
評価などの設定が容易なこと	2

操作性については一定の評価が得られているものの、使いこなすためには、処理速度、種々の設定の操作性などの面でより改善が求められる。

②性能評価

②－１）機能評価

項目		内容	必要性有無	達成度評価
形状	形状	人間的な形状	5	4
	変更方法	部位単位で変更可能	5	3
		3方向個別に変更可能	4	－
		1部位で複数の変更可能ﾎﾟｲﾝﾄを有する	3	－
	データ	形状データ保存可能	5	3
		体型データ保存可能	5	2
データベース	内容	日本人データ保有	5	4
		乳幼児等の子供のデータ保有	5	－
	検索方法	年代・体型・ﾊﾟｰｾﾝﾀｲﾙにより検索可能	5	1
	体型推定	数点のサイズから全体推定可能	4	2
		異なる計測情報でも使用可能	3	－
内容	設定値	各関節の可動域が設定可能	5	2
		部位毎の重量推定が可能	5	4
		部位毎の重量及び重心位置設定可能	4	－
		指先や大転子等計測に必要なﾎﾟｲﾝﾄを予め座標として設定	2	－
動作・姿勢	制御方法	関節角度による姿勢変更可能	5	4
		ポイント指定による最終姿勢推定可能	5	2
		左右対称ができること	5	5
	指定方法	マウス・バー等による変更と数値設定可能	5	4
	ルール	姿勢時の重心中心算出	5	2
		姿勢時のバランス状態を考慮（ON・OFF設定可能）	5	－
		他モデルとの連携動作可能	2	－
	データ	姿勢情報が保存可能	5	－
		基本的な姿勢が準備されていること	5	－
		データを読み込んで再現可能	5	－
		読み込んだ姿勢データを指定体型に合わせて変更可能	5	－
		読み込んだ姿勢データに合わせて指定モデルの体型を変更可能	5	－
	その他	バランスずれ量を表示	4	－
		必要動作時間を表示	3	－
ファイル出力	データ	CADデータ読み込み可能	5	3
		CADフォーマットへの出力可能（2Dテンプレート）	5	5
		CADフォーマットへの出力可能（ソリッドデータ）	5	3
オブジェクト	作成	形状作成可能	5	3
		形状変更可能	5	3
		形状間の演算可能（人体モデル含む）	3	－

項目		内容	必要性有無	達成度評価
ウィンドウ	画面	グリッド表示	3	―
		グリッド間隔変更可能	2	―
	種類	3方向から表示されること	4	―
	視点	カメラ位置設定可能	3	―
		画角変更可能	3	―
その他	照明	照明状態を評価可能	1	―
		映り込みを含んだ画像表示	1	―
		複数のモデルを同時に検討可能	3	―
■評価機能				
視界評価	視野範囲	視野範囲を明示(ViewCone)	5	3
		視野範囲を変更可能	5	2
		モデルの移動にあわせて視野も移動	5	3
	評価	高齢者の視野状態を再現・表示可能	5	―
到達判定	評価レベル	「無理なく」・「最大限」等のレベル毎に評価可能	4	―
	範囲表示	到達可能範囲をレベル毎に表示可能	4	―
	到達姿勢	腕のみの姿勢と全身使用による場合両方可能	4	―
		障害物を回避しての到達姿勢推定可能(視界状態を含む)	2	―
力学	重心	3次元に重心が表示されること	5	3
		重心が3面に投影されること	5	3
評価内容	評価指標	設定された内容と指標により評価作成可能	4	―
	計測	数値計測可能(位置・距離・大きさ)	5	2
	浮力	浮心算出可能	2	―
		重心位置と浮心からバランス評価可能	2	―
	その他	物体への加重算出可能(位置や分散情報指定可能)	4	―
		動作時の滑り状態評価可能	5	―

必要性の高い機能について実装されていないものが多く、今後の開発課題である。
実装されているもについては、平均以上の評価を得ている。

といった効果が見込まれる。幅広い層の方が使用する製品については、評価対象を容易に変更できるので、それぞれの層での、身体寸法的な不具合点を早期に発見することなどが期待できる。

○設計プロセスの変更

開発プロセスを分類すると、企画、構想、試作設計、試作、評価、設計、量産試作、検証、量産となる。従来、人間適合性評価は、人が座ることのできる試作品ができあがってから、実際に試作品（プロトタイプ）に座って、椅子と人との適合性を評価し、設計にフィードバックしていた。評価項目としては、体型差への適合性、椅子の座り心地、操作性、作業性などが挙げられる。

しかし実際に座ることのできるモデルができあがるまでには、かなりの時間と労力が費やされる場合が多く、評価、検証には多くの時間がとれないことが多い。また試作段階での評価であれば、設計へのフィードバックも可能であるが、量産試作品での評価結果のフィードバックには、金型修正や再設計などかなりの時間と工数、費用が発生することになる。当然ではあるが、人間適合性の評価をはじめ、多くの検証は、開発プロセスの上流域でおこなわれるのが理想となる。

設計後のタイミングでコンピュータマネキンを用い評価することでも、再設計の手戻りを最小限に抑えることができ、リードタイム短縮を図ることは出来るが、更には、設計前の企画、構想段階また、作図まえの段階で、まず人（マネキン）ありきで構想や設計をすることで、より精度が高く、人間適合性の高い製品開発が可能となる。形態モデルには生成したモデルの外部主力機能があるので、設計者のＣＡＤ環境の中でモデルを扱うことができる。

また現在構想段階での寸法設定や構想検討、機構検討などの概要設計は、２ＤＣＡＤでおこなわれているのが現状である。形態モデルの２Ｄテンプレート出力機能を使えば、構想段階から、人体寸法や形態などの適合性を考慮しながら、設計を進めていくことが可能となり、より人間適合性の高い、人に優しい製品の検討が可能となる。

２．４．４ 動態モデルシステムの応用事例研究

２．４．４．１ 浴槽および浴室整備

浴槽、浴室設備において典型的な動作は、浴槽からの立ち上がり動作、もしくは、浴槽へ座る動作であるといえる。浴槽での立ち座り動作において、手すりの持つ重要性は高い。手すりを用いることにより高齢者や身体障害者においても浴槽での動作の負担が軽減されることがある。

しかし、現状では、浴室設備において手すり位置を決定する手法は主に実験などによっている。実験では被験者が限られるため、高齢者や身体障害者などの動作への適合性は評価するのが困難である。

コンピュータ・マネキン動態モデルにおいて、浴槽での立ち座り動作における手すりをつかんだ状態での負荷評価を行うことにより、その応用の可能性を検討したい。

２．４．４．２ 椅子

椅子からの立ち上がり動作における負荷を推定することは、一般に容易ではない。立ち上がる動作は、様々な要因でその動作負荷が左右され、その力学的な状態は複雑であるため、定量的な議論を行うことは不可能であった。

一方で、立ち上がり動作の実験的研究はいくつか行われており、椅子の立ち上がり動作において肘かけの位置がその負担に及ぼす影響が大きいということが報告されている。

これらの先行した実験研究とほぼ同様の条件を仮想世界で作り上げて、その評価結果を比較することにより、動態モデルシステムの妥当性等を検討することが可能であると考えられる。

本研究では、椅子からの立ち上がり動作における肘高さの影響が与える負荷について、姿勢を作成して負荷評価を行い、文献との比較検討をすることに、動態モデルシステムの評価としたい。

２．４．５ 動態モデルシステムの評価方法

２．４．５．１ 浴槽および浴室設備

動態モデルのシステム評価は、システム全体の機能に関する評価と、手すり位置を変更した場合に、その姿勢が腰に与える負担についての力学的負荷による定量的評価を行うものとする。

システム全体の評価については、作成した機能についての一通りの試用テストを行い、結果を表にまとめるものとした。

具体的な応用研究の動作事例としては２．４．４．１で述べた通り、浴槽における立ち座り動作での手すりを持った姿勢による手すりの効果を負荷を算出することにより評価するものとする。評価方法を以下に概説する。

動態モデルシステム内に、浴室設備と、その中での手すりを用いた立ち上がり動作の実行型オブジェクトが実装されている。それらを用いて、実際に詳細な手すりモデルの改良、手すりを持つ姿勢の調整などを行い、負荷評価を実施するものとする。

① 手すり位置が近すぎる場合（手すり反力なし）
② 手すり位置が最適の場合　（手すり反力なし）
③ 手すり位置が遠すぎる場合（手すり反力なし）
④ 手すり位置が近すぎる場合（手すり反力あり）
⑤ 手すり位置が最適の場合　（手すり反力あり）
⑥ 手すり位置が遠すぎる場合（手すり反力あり）

それぞれの場合に姿勢を作成し、その負荷評価を行う。

２．４．５．２ 椅子

動態モデルのシステム評価は、システム全体の機能に関する評価と、椅子からの立ち上がり動作における肘高さの負荷に与える影響についての評価を行うものとする。

システム全体の評価については、作成した機能についての一通りの試用テストを行い、結果を表にまとめるものとした。

具体的な応用研究の動作事例としては２．４．４．２で述べた通り、椅子からの立ち上がり動作における肘高さの負荷に与える影響を評価する。評価方法を以下に概説する。

動態モデルシステム内に、椅子モデルと、着座動作、起立動作を生成する実行型オブジェクトがじっそうされている。それを用いて、肘高さを変更しつつ、それぞれの肘高さでの立ち上がりの姿勢を詳細に調整し、それぞれの姿勢での負荷を評価するものとする。

評価を実施するために生成する姿勢は次の３通りとする。

① 肘標準高さ（着座姿勢で肘関節を 90 度曲げたところに肘がある）
② 標準高さ＋40mm
③ 標準高さ－40mm

以上のケースで実際に負荷評価を行い、それを文献のデータと比較することとする。

2．4．6 動態モデルシステムの評価結果

2．4．6．1 浴槽および浴室設備

動態モデルシステムを浴槽および浴室設備系を評価するためのシステムとしてみたときのシステム全体の機能についての概要評価を行った。ユーザインタフェース等は荒削りの感があるが、機能としては今後期待できるものもあり、それらを含めて現状システムの問題点、新たな機能要望などを挙げた。

システムの評価概要を表 2.4.6-1 に示した。

表 2.4.6-1　動態モデルシステム評価概要（浴槽および浴室設備）

機能分類	機能項目	評価(5段階)	コメント/備考
人間モデル作成・編集	年齢・性別による生成	2	
	属性編集(寸法)	4	
	属性編集(身長のスケーリング)	5	
	属性編集(関節可動域)	5	
	属性編集(部位特性)	3	
環境モデル作成・編集	歩行路モデル生成	4	
	椅子モデル生成	3	
	階段モデル生成	4	
	環境プリミティブモデル作成	3	
	歩行路モデル編集	5	
	椅子モデル編集	4	
	階段モデル編集	4	
	外部インポートモデルへの属性割当	−	CADインタフェース未組込みのためテスト不可
動作設定	動作機構読込み(2次動作データベース検索)	2	
	動作機構読込み(SilToolsへのデータロード)	3	
	動作機構属性編集(キーフレーム)	2	
	動作機構属性編集(軌跡生成パラメータ)	−	
	動作機構属性編集(動作固有パラメータ)	−	
	評価オプション(ビューウィンドウ)	4	
	評価オプション(ビューコーン)	4	
	評価オプション(リーチ球)	2	
	評価オプション(鏡ウィンドウ設定)	1	
	評価オプション(評価グラフ設定;関節変位)		機能的には問題ないと思うが、システム全体としてみた場合には場所等に問題があり、使いにくいと思う
	評価オプション(評価グラフ設定;身体部位)		
	評価オプション(バランス表示)	4	
	評価オプション(関節可動域)	5	
	動作機構人間モデル、製品・環境モデル割当変更	4	
キーフレーム作成・編集	動作時間等設定	5	
	基準点設定(右足接地+左足接地、接地なし)	3	
	姿勢編集・関節変位指定(数値入力)	3	
	姿勢編集・関節変位指定(スライダ入力)	4	
	姿勢編集・インバースキネマティクス(手のみ)		
	姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋胴曲げ)		
	姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋上肢前傾)		
	姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋胴曲げ＋上肢前傾)		
	姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋上肢前傾＋胴体ねじり)	2	
グラフ評価	グラフ表示(関節角)	3	
	グラフ表示(身体部位位置)	4	
	グラフ表示(バランスパラメータ)	2	
VICONデータ再生	1次元動作データベース検索	2	
	動作データのSilToolsへのデータロード	3	
	スケルトンモデル再生	4	
負荷評価	手・足に体重%対応の荷重をかけた解析	4	
	指定された境界条件での解析	5	
	境界条件設定	4	
	浮力オプション	2	
	特殊姿勢評価	−	特殊姿勢不備のため評価不可
動作生成	シナリオ設定	5	
	歩行動作	5	
	着座動作	1	
	階段上昇動作	5	
	連続動作	−	

また、システム試用での機能チェック・要望機能などを以下にまとめた。

機能チェックについて

- ◆ 掌と手の甲（手の裏表）が判別しやすいよう、形状をもう少し変えた方が良い←親指があるだけでも違う
- ◆ 「Quick View」の「Spin」が感覚的に逆方向に廻っている気がする
  （右に動かすと時計廻りになる）
- ◆ ワーニングも表示されるが、多くの問題が生じた場合にはDOS画面にのみ表示され、作業画面には何のリアクションも無い場合があるので、何らかの表示を行って欲しい
- ◆ 別のウインドウで対象を指定し、編集専用のウインドウを表示する形となっているが、編集用のウインドウで対象を変更できても便利ではないのか？
- ◆ 全体的に、変更可能なのか、選択により変更するのか等が分かり難い
  「白抜きフレーム内は変更可能」・「色付きフレーム内は選択により決定された内容」のような約束事と併せて、変更不可能な値にフレームを付けないことが必要なのではないか
- ◆ 対象物の位置等を確認し、位置合わせや移動を行う機能が欲しい
  （Object Monitorは移動不可で、Move Objectは相対移動の為位置確認が困難）
- ◆ 複数方向からの画像の同時表示（表示ウインドウの複数起動）
- ◆ シェードとワイヤーフレーム表示の設定を部品毎に行いたい
- ◆ 視点情報の確認と、数値的な制御を可能として欲しい

要望機能について

- ◆ CADで作成した形状データの読み込みと、モデル上での変更
- ◆ スティックピクチャー画像での再現ではなく、VICONを人体モデル上に再現可能として欲しい
  （被験者体型の自動再現や、周辺状態および対象人体モデルサイズに合わせた動作変更が可能となると、更に便利）
- ◆ 動作時にゴーストを残す等して、動作スペースの表示が出来ると便利
- ◆ 動作データからの特徴抽出の簡易化（若しくは、マニュアル化）

さらに、システムを用いた具体的応用事例研究として、浴室における、手すりを用いた立ち上がり動作の評価を行った。評価手法としては、手すり位置として「近い場合」「最適の場合」「遠い場合」の 2 種類について、手すりをつかむ動作姿勢を作成し、手すりから受ける反力を境界条件として与えて、負荷評価を行った。「最適の場合」の手すりをつかむ姿勢を図 2.4.6-1 に示した。

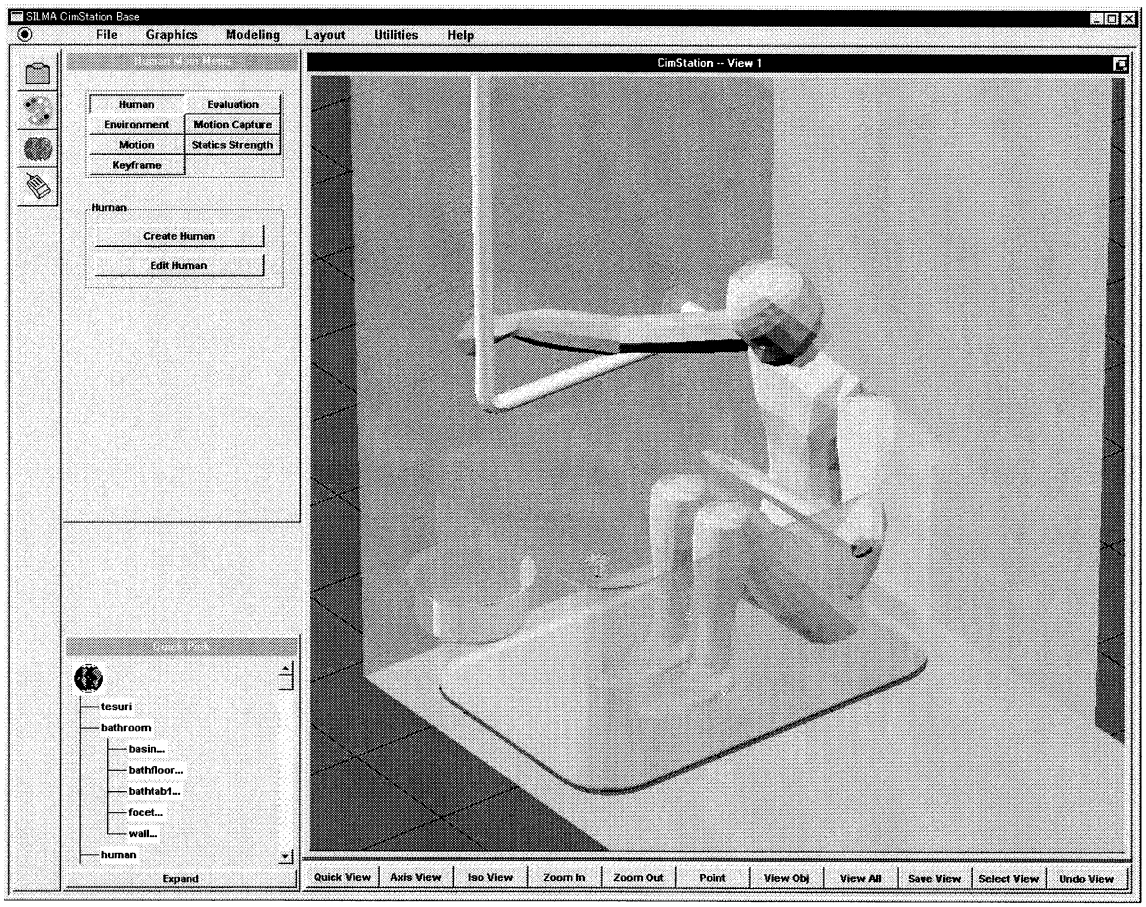


図 2.4.6-1　最適位置の手すりをつかむ姿勢

(2-1) 手すり反力なしでの負荷評価

まず最初に、それぞれの手すり位置において、手すり反力のない場合での負荷評価を行った。その結果を「手すり位置が近い場合」「手すり位置が最適の場合」「手すり位置が遠い場合」についてそれぞれ図 2.4.6-2～図 2.4.6-4 に示した。

(2-2) 手すり反力ありでの負荷評価

続いて、手すり反力を加えての負荷評価を行った。それぞれの姿勢において、手すりを持つ姿勢が異なることより、手に加える手すりの反力としては、その絶対値が 300N になるように各姿勢でその入力値を変更した。

各姿勢での手すり反力は表 2.4.6-2 に示した。

負荷評価の結果を、「手すり位置が近い場合」「手すり位置が最適の場合」「手すり位置が遠い場合」についてそれぞれ図 2.4.6-5～図 2.4.6-7 に示した。

表 2.4.6-2　手すり反力の入力値

手すり位置	X (N)	Y (N)	Z (N)
近い	212.1	0.0	212.1
最適	300.0	0.0	0.0
遠い	0.0	0.0	300.0

(2-3) 結果と考察

図 2.4.6-2～図 2.4.6-7 の結果より、手すり反力がない場合は、姿勢を保持するために下肢の関節に大きなモーメントがかかっており、腰部には比較的大きなモーメントがかかってないことが分かる。これは解析の条件が足裏のみが固定されており、他の関節に境界条件が設定されていないため、いわゆる「空気椅子」状態の解析を行っているためであると考えられる。

手すり反力を加えた場合では、対照的に腰のモーメントが増加し、下半身のモーメントが減少している。これは手すりを引っ張ることにより、下半身の負担を軽減させることが可能であること同時にその分腰への負担が増していることを示していると言える。

ただし、手すり反力を考慮した場合、手すり位置が最適であると考えられる場合においては例外であり、腰への負担が小さい（腰まわりのモーメントが小さい）。このことより、逆に腰への負担を計算し、それが小さい位置を割り出すことにより、手すり位置を最適することが出来る可能性があると言える。

このような手法を確立していくことにより、製品設計のシーンで動態モデルを有効に活用することが出来ると考えられる。

本事例では、健常若年男性を用いて姿勢を作成し負荷評価を行ったが、高齢者や身体障害者などへの適用は、外力（手すりを引っ張る力）や姿勢作成時の関節可動域の調整などにより、その効果を考慮することができる。

また、更に詳しい評価を行うためには、VICON 等を用いた動作計測の結果から、動作機構を開発し、それにより、動作を発生させた場合のある瞬間をとって負荷を評価させることにより行うことが出来ると考えられる。ただし、この高齢者や身体障害者の動作を動作機構化するためには、その動作特性を正確に把握する必要があり、これからのシステム機能充実には、システム開発者とユーザとの親密な検討、意見のすり合せを行い、特殊な動作へ対応する必要があると考えられる。

本研究では、比較的分かりやすい例をとって、ある程度答えの予想できるような系においてシステムの試用を行った。ただユーザインタフェースをはじめ、改良すべき個所もあるので、本格的実用化にはもう少し細部の仕上げが必要であるとの印象も受けた。

今後は、より複雑である系での設計支援をも可能なものと成長していくよう期待している。

本研究では手すり反力を 300N としたが、本来はこれは実験データを参照するか、計算で算出されるべき項目である。これらの項目は今後同様の実験などを参照にしながら、より詳細に吟味していく必要がある。

2.4.6.2 椅子

動態モデルシステムを椅子評価を行うためのシミュレータという着眼点でその機能など全体的な完成度の評価を行った。システムはまだプロトタイプシステムに相当するものであり、全体の完成度は必ずしも高いとは言えないが、各機能はレベルの高いものもあり、負荷評価機能などについては、今後の発展が大いに期待できると考えている。

評価の概要を表 2.4.6-3 に示した。

表 2.4.6-3　動態モデルシステム評価概要（椅子）

機能項目	評価(5段階)	コメント/備考
年齢・性別による生成	2	時間がかかる
属性編集(寸法)	2	時間がかかる
属性編集(身長のスケーリング)	2	
属性編集(関節可動域)	3	
属性編集(部位特性)	3	
歩行路モデル生成	4	
椅子モデル生成	4	
階段モデル生成	3	
環境プリミティブモデル作成	2	
歩行路モデル編集	3	
椅子モデル編集	3	
階段モデル編集	3	
外部インポートモデルへの属性割当	-	CADインタフェース未組込みのためテスト不可
動作機構読込み(2次動作データベース検索)	2	
動作機構読込み(SilToolsへのデータロード)	2	
動作機構属性編集(キーフレーム)	3	
動作機構属性編集(軌跡生成パラメータ)	2	
動作機構属性編集(動作固有パラメータ)	2	
評価オプション(ビューウィンドウ)	3	
評価オプション(ビューコーン)	3	
評価オプション(リーチ球)	3	
評価オプション(鏡ウィンドウ設定)	2	
評価オプション(評価グラフ設定;関節変位)	2	
評価オプション(評価グラフ設定;身体部位)	2	
評価オプション(バランス表示)	2	
評価オプション(関節可動域)	2	
動作機構人間モデル、製品・環境モデル割当変更	1	
動作時間等設定	3	
基準点設定(右足接地+左足接地、接地なし)	3	
姿勢編集・関節変位指定(数値入力)	4	
姿勢編集・関節変位指定(スライダ入力)	3	
姿勢編集・インバースキネマティクス(手のみ)	2	
姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋胴曲げ)	2	
姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋上肢前傾)	2	
姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋胴曲げ＋上肢前傾)	2	
姿勢編集・インバースキネマティクス(手＋上肢前傾＋胴体ねじり	2	
グラフ表示(関節角)	3	
グラフ表示(身体部位位置)	2	
グラフ表示(バランスパラメータ)	2	
1次元動作データベース検索	2	
動作データのSilToolsへのデータロード	2	
スケルトンモデル再生	2	
手・足に体重%対応の荷重をかけた解析	3	
指定された境界条件での解析	3	
境界条件設定	4	
浮力オプション	2	
特殊姿勢評価	-	特殊姿勢不備のため評価不可
シナリオ設定	3	
歩行動作	4	
着座動作	4	
階段上昇動作	4	
連続動作	3	

続いて具体的事例での評価として、椅子からの立ち上りの動作における、肘掛けの影響を動態

モデル各関節への負荷評価からおこない、肘の高さの設計条件の検討を実施した。

(2-1) 動態モデル負荷計算の検証

椅子からの立ち上り動作における、肘掛けの有無、肘掛けの高さ違いでの負荷を、動態モデル負荷評価と文献値*1) から比較検証をおこない、動態モデルでの評価の妥当性を確認した。

(2-2) 椅子の設定と評価条件

座面高：下腿高にあわせる。（膝 90 度）
座面角度：0 度（アップライト姿勢）
背もたれの角度：95 度（アップライト姿勢）
モデルの手の位置：肘を 90 度に曲げた時に手の来る位置
肘掛け：①なし、
②デフォルト値（肘を 90 度に曲げた位置）
③デフォルト値から４０mm上げる
④デフォルト値から４０mm下げる

評価する姿勢：文献での 2 相から 3 相の姿勢
立ち上り時の手への荷重：片手へそれぞれ 80N の負荷を上向きにかけた
（実測値：成人男性　体重 70kg）

(2-3) 評価項目

肘掛け有無での下肢の負荷（①②比較）
→文献では肘掛けがある時は下肢の負担が減っている。（下肢 30％減）

肘掛けの高さで下肢への負担が変わるか（②③④比較）
→文献では+40mm のとき下肢の負担が減っている。（数値は記載されていない）

(2-4)　動態モデルの姿勢と椅子の設定

(2-4-1) 椅子の設定（詳細は別紙：椅子と姿勢の設定）

①座面高：下腿高にあわせる。（膝 90 度）
②座面角度：0 度（アップライト姿勢）
③背もたれの角度：95 度（アップライト姿勢）
④肘高さ(デフォルト)：肘を 90 度に曲げた時に手の来る位置

肘位置を表 2.4.6-4 に、椅子モデル図を図 2.4.6-8 にそれぞれ示した。

表 2.4.6-4　肘位置

肘位置	X	Y	Z
L	-15	-20	65
R	-15	20	65

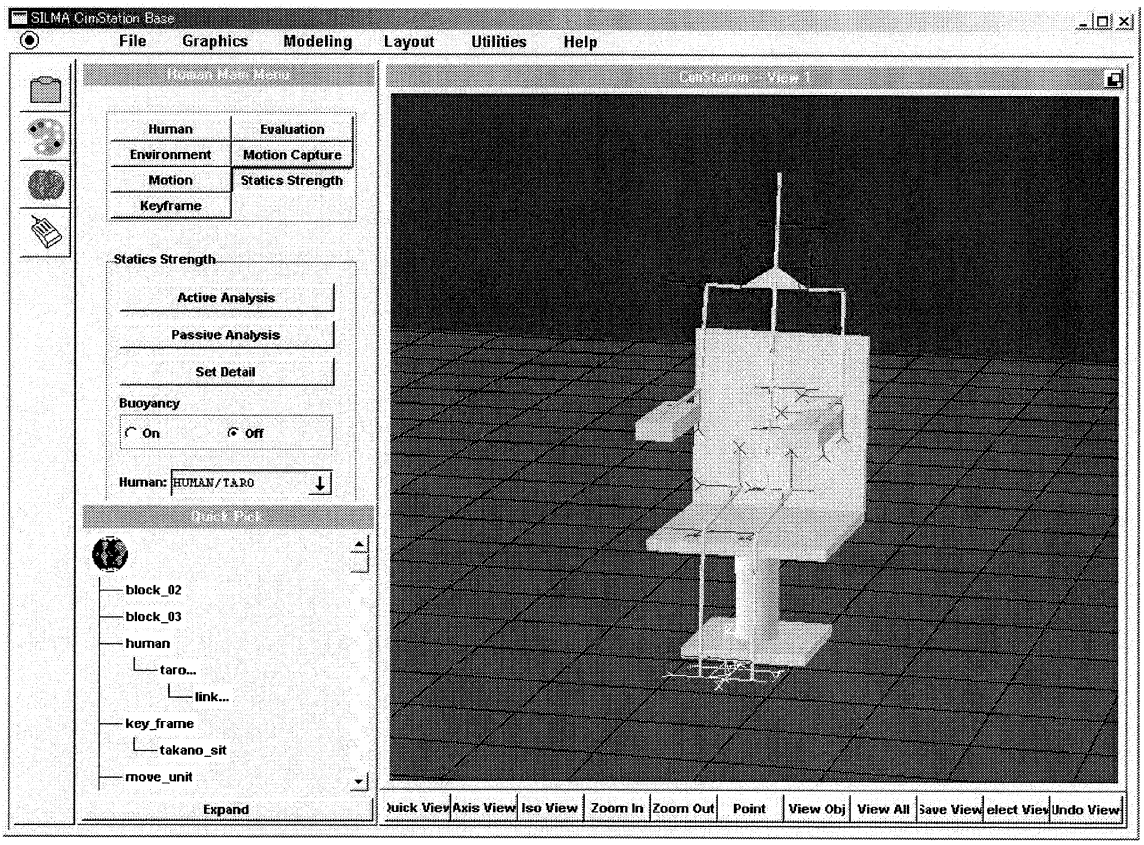


図 2.4.6-8　椅子モデル

(2-4-2) 姿勢の設定（詳細は別紙：椅子と姿勢の設定）

①着座姿勢

Shoulder、Elbow 以外は上記椅子に座らせた時のデフォルト値。特徴的関節角度と、着座姿勢図を表 2.4.6-5 と図 2.4.6-9 にそれぞれ示した。

表 2.4.6-5　着座姿勢関節角度

	X	Y	Z
Shoulder	0	0	0
Elbow	−	80	90

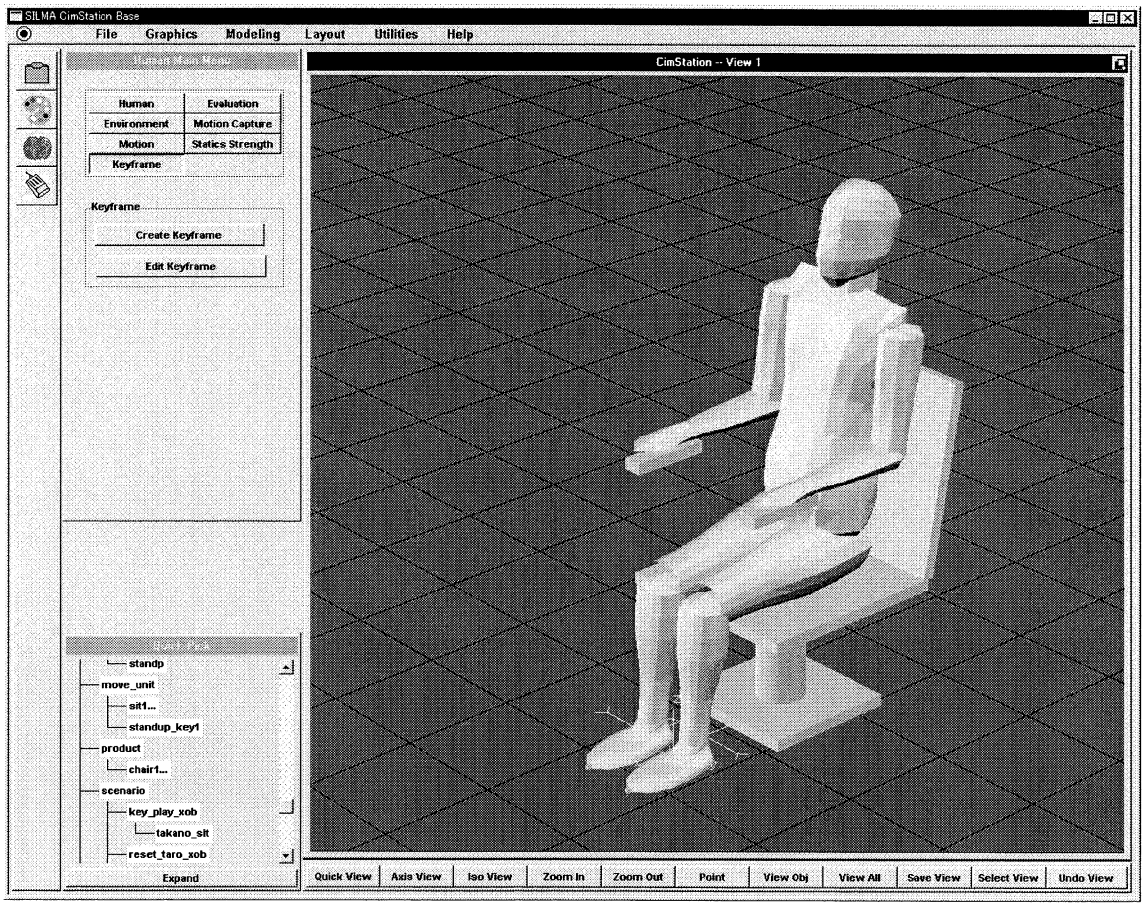


図 2.4.6-9　着座姿勢

②立ち上がり姿勢１　－　肘デフォルト高さ。関節角度と姿勢図、負荷評価結果を表 2.4.6-6、図 2.4.6-10、図 2.4.6-11 にそれぞれぞ示した。

表 2.4.6-6　立ち上がり姿勢１　関節角度

	X	Y	Z	
Crotch	-	88.9782	-	左右対称
Shoulder	0	-25	0	左右対称
Elbow	-	100	-90	左右対称
Wrist	-25	0	-	左右対称

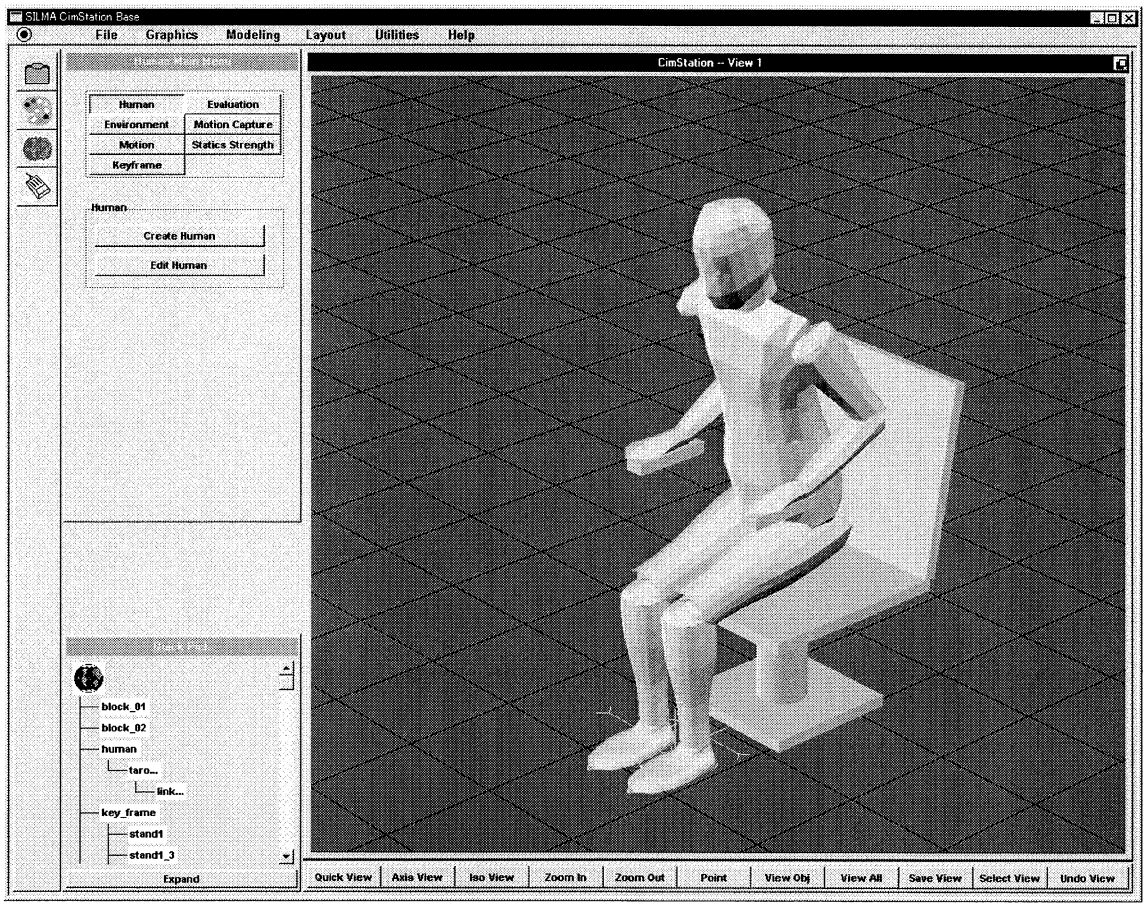
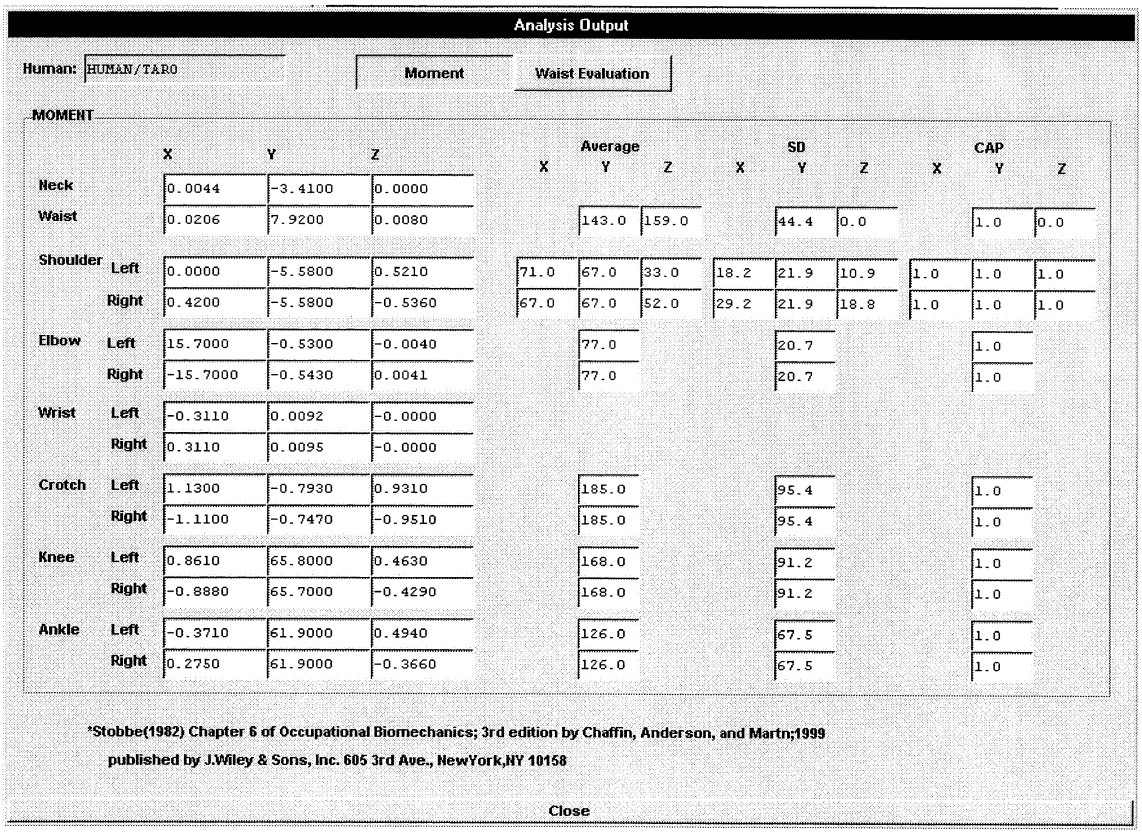


図 2.4.6-10 立ち上がり姿勢１



Analysis Output

Human: HUMAN/TARO

Moment | Waist Evaluation

MOMENT

		X	Y	Z	Average X	Average Y	Average Z	SD X	SD Y	SD Z	CAP X	CAP Y	CAP Z
Neck		0.0044	-3.4100	0.0000									
Waist		0.0206	7.9200	0.0080		143.0	159.0		44.4	0.0		1.0	0.0
Shoulder	Left	0.0000	-5.5800	0.5210	71.0	67.0	33.0	18.2	21.9	10.9	1.0	1.0	1.0
	Right	0.4200	-5.5800	-0.5360	67.0	67.0	52.0	29.2	21.9	18.8	1.0	1.0	1.0
Elbow	Left	15.7000	-0.5300	-0.0040		77.0			20.7			1.0	
	Right	-15.7000	-0.5430	0.0041		77.0			20.7			1.0	
Wrist	Left	-0.3110	0.0092	-0.0000									
	Right	0.3110	0.0095	-0.0000									
Crotch	Left	1.1300	-0.7930	0.9310		185.0			95.4			1.0	
	Right	-1.1100	-0.7470	-0.9510		185.0			95.4			1.0	
Knee	Left	0.8610	65.8000	0.4630		168.0			91.2			1.0	
	Right	-0.8880	65.7000	-0.4290		168.0			91.2			1.0	
Ankle	Left	-0.3710	61.9000	0.4940		126.0			67.5			1.0	
	Right	0.2750	61.9000	-0.3660		126.0			67.5			1.0	

*Stobbe(1982) Chapter 6 of Occupational Biomechanics; 3rd edition by Chaffin, Anderson, and Martn;1999 published by J.Wiley & Sons, Inc. 605 3rd Ave., NewYork,NY 10158

Close

図 2.4.6-11　立ち上がり姿勢１負荷評価結果

③立ち上がり姿勢２　－　肘 40㎜ 高。関節角度と姿勢図、負荷評価結果を表 2.4.6-7、図 2.4.6-12、図 2.4.6-13 にそれぞれ示した。

表 2.4.6-7　立ち上がり姿勢２　関節角度

	X	Y	Z	
Crotch	-	80	-	左右対称
Shoulder	0	-20	0	左右対称
Elbow	-	100	-90	左右対称
Wrist	-15	0	-	左右対称

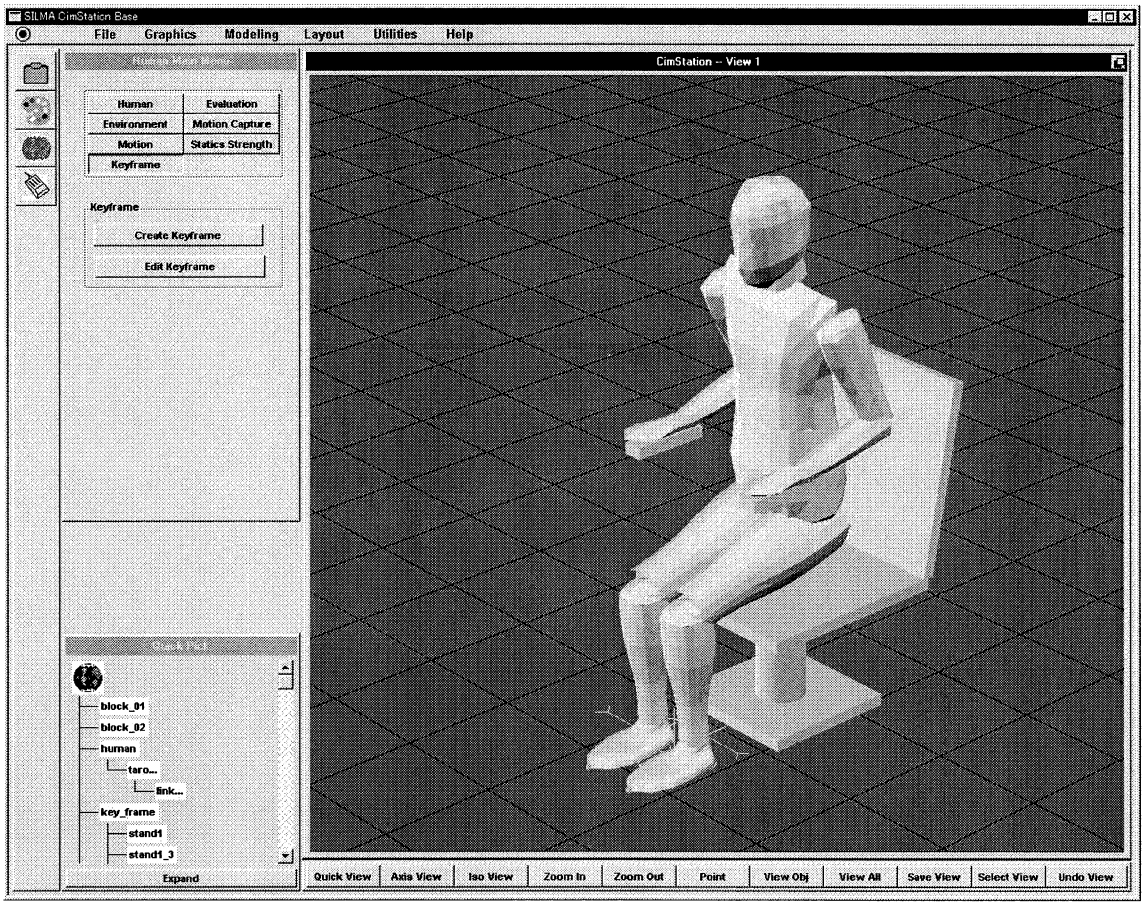
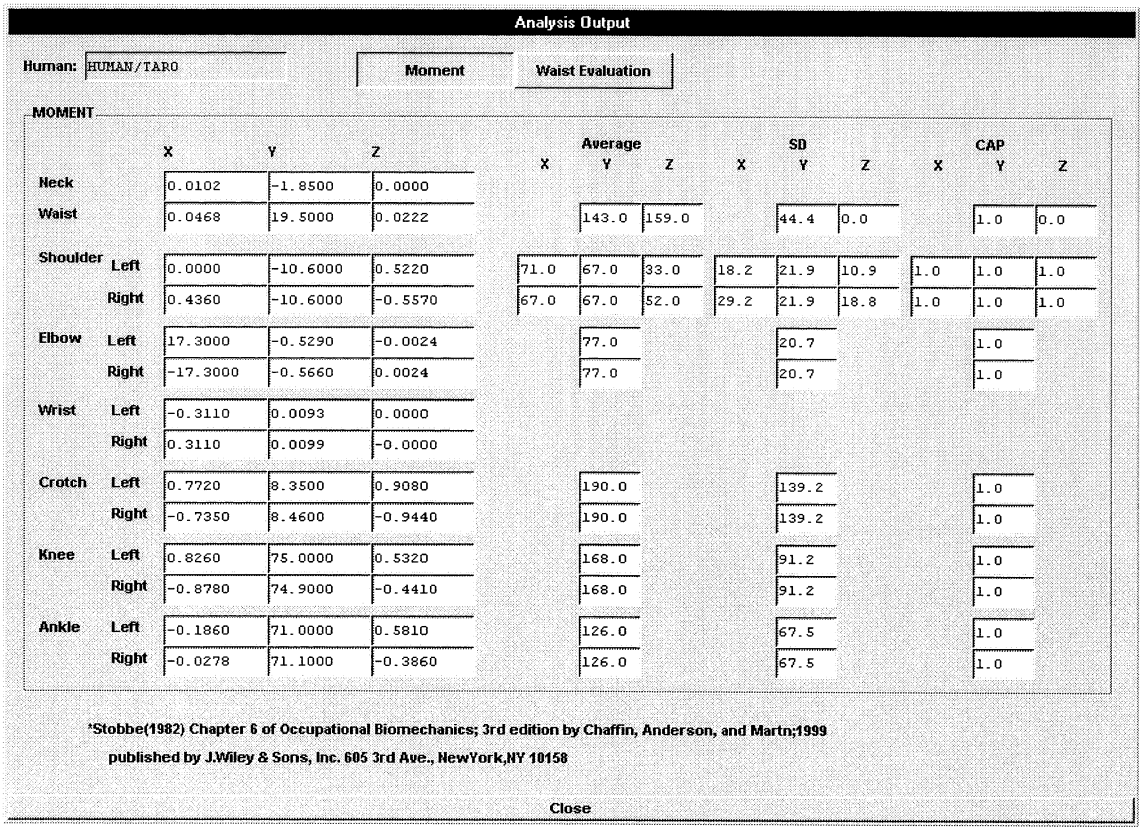


図 2.4.6-12　立ち上がり姿勢２



Analysis Output

Human: HUMAN/TARO

Moment | Waist Evaluation

MOMENT

		X	Y	Z	Average X	Average Y	Average Z	SD X	SD Y	SD Z	CAP X	CAP Y	CAP Z
Neck		0.0102	-1.8500	0.0000									
Waist		0.0468	19.5000	0.0222		143.0	159.0		44.4	0.0		1.0	0.0
Shoulder	Left	0.0000	-10.6000	0.5220	71.0	67.0	33.0	18.2	21.9	10.9	1.0	1.0	1.0
	Right	0.4360	-10.6000	-0.5570	67.0	67.0	52.0	29.2	21.9	18.8	1.0	1.0	1.0
Elbow	Left	17.3000	-0.5290	-0.0024		77.0			20.7			1.0	
	Right	-17.3000	-0.5660	0.0024		77.0			20.7			1.0	
Wrist	Left	-0.3110	0.0093	0.0000									
	Right	0.3110	0.0099	-0.0000									
Crotch	Left	0.7720	8.3500	0.9080		190.0			139.2			1.0	
	Right	-0.7350	8.4600	-0.9440		190.0			139.2			1.0	
Knee	Left	0.8260	75.0000	0.5320		168.0			91.2			1.0	
	Right	-0.8780	74.9000	-0.4410		168.0			91.2			1.0	
Ankle	Left	-0.1860	71.0000	0.5810		126.0			67.5			1.0	
	Right	-0.0278	71.1000	-0.3860		126.0			67.5			1.0	

*Stobbe(1982) Chapter 6 of Occupational Biomechanics; 3rd edition by Chaffin, Anderson, and Martn;1999 published by J.Wiley & Sons, Inc. 605 3rd Ave., NewYork,NY 10158

Close

図 2.4.6-13　立ち上がり姿勢２　負荷評価結果

④立ち上がり姿勢３　－　肘 40mm 低。関節角度と姿勢図、負荷評価結果を表 2.4.6-8、図 2.4.6-14、図 2.4.6-15 にそれぞれ示した。

表 2.4.6-8　立ち上がり姿勢３関節角度

	X	Y	Z	
Crotch	-	105	-	左右対称
Shoulder	0	-30	0	左右対称
Elbow	-	100	-90	左右対称
Wrist	-45	0	-	左右対称

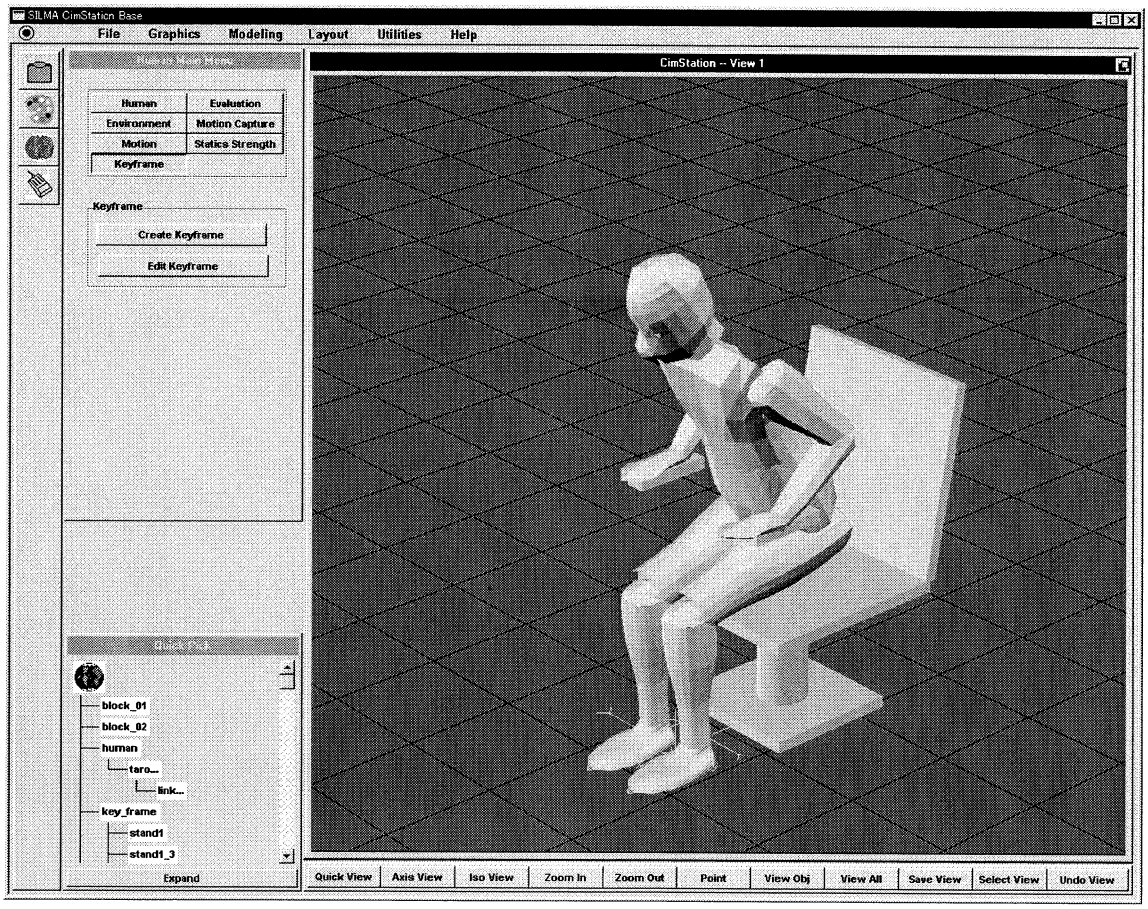
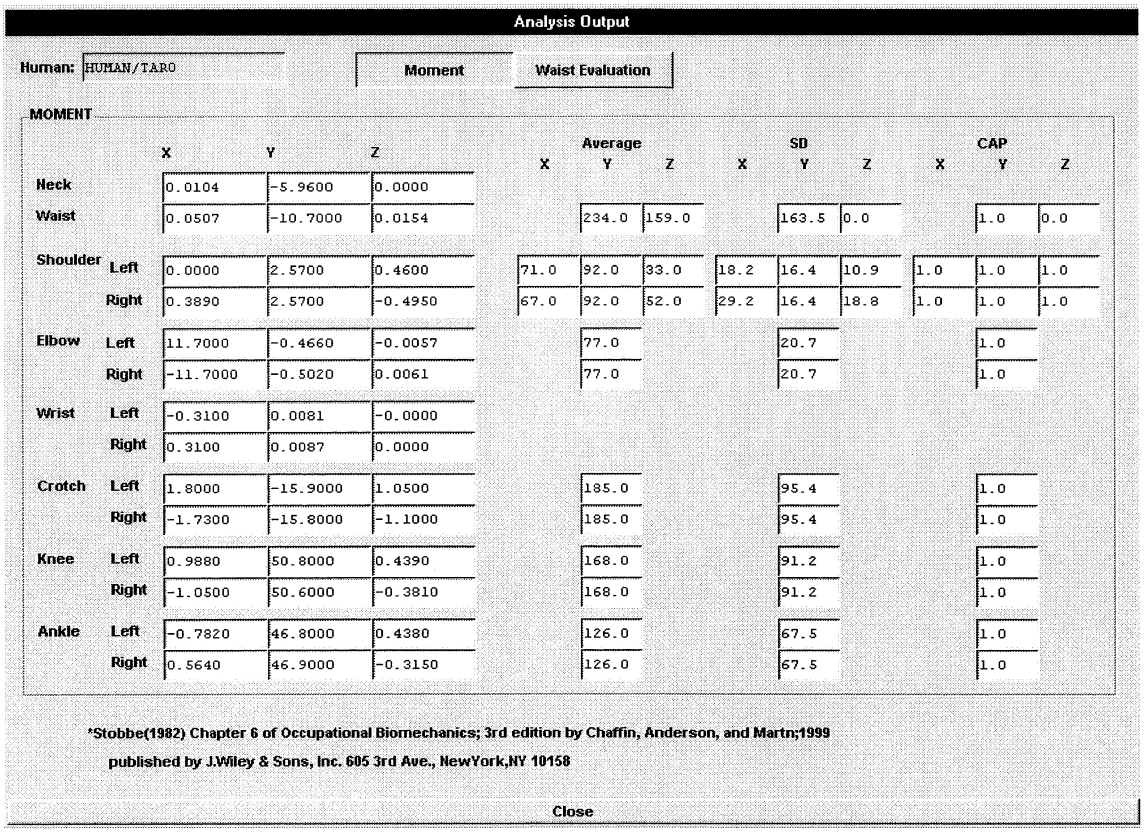


図 2.4.6-14　立ち上がり姿勢３



Analysis Output

Human: HUMAN/TARO

Moment | Waist Evaluation

MOMENT

		X	Y	Z	Average X	Average Y	Average Z	SD X	SD Y	SD Z	CAP X	CAP Y	CAP Z
Neck		0.0104	-5.9600	0.0000									
Waist		0.0507	-10.7000	0.0154		234.0	159.0		163.5	0.0		1.0	0.0
Shoulder	Left	0.0000	2.5700	0.4600	71.0	92.0	33.0	18.2	16.4	10.9	1.0	1.0	1.0
	Right	0.3890	2.5700	-0.4950	67.0	92.0	52.0	29.2	16.4	18.8	1.0	1.0	1.0
Elbow	Left	11.7000	-0.4660	-0.0057		77.0			20.7			1.0	
	Right	-11.7000	-0.5020	0.0061		77.0			20.7			1.0	
Wrist	Left	-0.3100	0.0081	-0.0000									
	Right	0.3100	0.0087	0.0000									
Crotch	Left	1.8000	-15.9000	1.0500		185.0			95.4			1.0	
	Right	-1.7300	-15.8000	-1.1000		185.0			95.4			1.0	
Knee	Left	0.9880	50.8000	0.4390		168.0			91.2			1.0	
	Right	-1.0500	50.6000	-0.3810		168.0			91.2			1.0	
Ankle	Left	-0.7820	46.8000	0.4380		126.0			67.5			1.0	
	Right	0.5640	46.9000	-0.3150		126.0			67.5			1.0	

*Stobbe(1982) Chapter 6 of Occupational Biomechanics; 3rd edition by Chaffin, Anderson, and Martn;1999 published by J.Wiley & Sons, Inc. 605 3rd Ave., NewYork,NY 10158

Close

図 2.4.6-15　立ち上がり姿勢３　負荷評価結果

(2-5) 結果

負荷評価の結果、肘なしに対し肘付きの方が下肢への負荷が 22%程度軽減されていることが分かった。

手に与える加重により左右されると思うが、文献値と同じ傾向である（図 2.4.6-16）。

しかしながら、肘の高さによる下肢への負荷については、文献とは逆になり、肘が低い方が、下肢へ与える負荷が少ないといった結果になった。動態モデルでは立ち上がり姿勢を保つ為に必要な、トルク量を計算している。したがって、重心が下肢の上に近づいた方が姿勢を保つための下肢のトルクは低くなる。

姿勢設定での図からも分かるように、今回は肘の角度を固定して、肘の高さ違いによる姿勢を設定したため、肘が高い方が上肢が立ち上がり、下肢より後方へ位置している。このため下肢の姿勢を保つためのトルク量が大きくなっていると思われる。

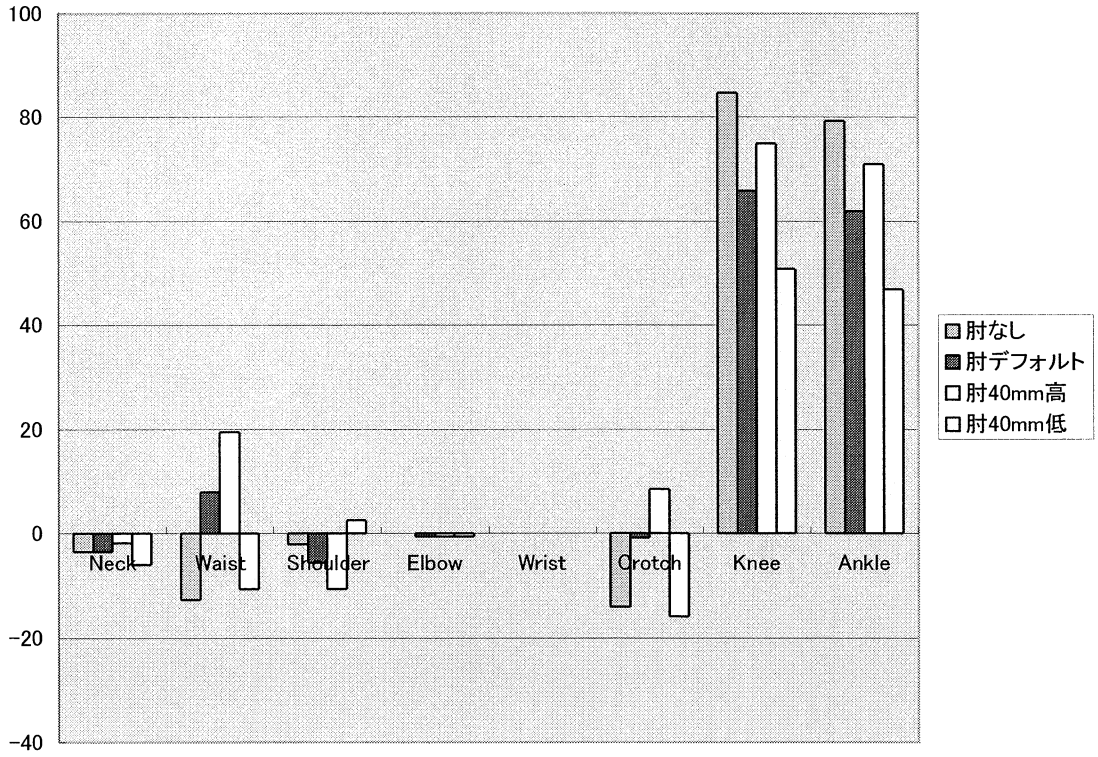


図 2.4.6-16　肘高さ違いによる負荷評価結果

(2-6) 考察

今回の検証では、立ち上がりやすい肘掛けの高さを動態モデルを用いて、検討できるかの確認をおこなった。文献値とは逆の結果となったが、座姿勢から立ち上がるときの負荷について、どのような姿勢であれば下肢への負担を少なくできるのか、十分に検討することが出来た。

文献値から考えられるのは、肘掛けが高い方が、肘掛けへ手の力が掛けやすいということではないだろうか。したがって下肢の筋負担が少なくなったという結果になっていると思われる。しかしながら高齢になるに従い、筋力は十分に発揮できなくなるため、肘掛けへ掛けられる力や、下肢の筋力も限られてくる。一定の加重量しかかけられない場合を想定すれば、今回のシュミレーションと同じような結果になるのかもしれない。今後さらに検証が必要ではあるが、下肢に負荷をかけずに立ち上がるための姿勢を検討するための良い機会となった。このような検討が出来ただけでも、動態モデルを用いての検討は十分価値があったと思われれる。

更には次のようなことが可能であれば、より活用場面が広がると思われる。

- 負荷評価が連続的（時系列で）にできる。
  今回の評価では、立ち上がり動作の一部分でしか評価が出来ていない。連続的な動作の中での負荷量がピークになる姿勢をとらえ評価をおこなうなどしたい。

- 拘束条件を与えれば、動作が変化する。
  手は肘掛けの上に置いておくなど拘束条件を与えれば、その拘束条件下で動作をとらせることができ、容易に姿勢設定ができる。また、肘掛けから手が放れる瞬間の姿勢を捉えることができる。

- 同じ動作でもいくつかのパターンを持っている。
  立ち上がるといった動作でもいくつかのパターンがあると思われる。それぞれのパターンで評価が出来れば、より詳細な評価が可能となる。

動態モデルを活用することにより、ある製品を使うときの、一連の連続的な動作の中での評価が可能となる。その製品の使用する場面をより具体的にイメージしながら、製品評価が出来るといった効果があると共に、評価だけでなく、商品検討の際の強力なツールとしての利用も考えられる。

人の動特性情報をもったツールがあれば、より人間適合性を考慮した製品設計が可能となる。人間特性情報を多く持った、製品開発の際の強力なツールとして動態モデルの開発に期待したい。

参考文献

*1)椅子の肘掛けの高さが立ち上がり動作に及ぼす影響　人間工学第３５巻　特別号２
小山秀紀　野呂影勇（早稲田大学）　1999年

３．研究場所

以上の研究開発は次の場所で実施した。

① 社団法人人間生活工学研究センター
（大阪市北区堂島 1-2-5　堂北ダイビル 3F）

② 株式会社オージス総研　アドバンストプロダクツ事業部
（大阪市住之江区南港東 8-2-1）

③ 株式会社三菱総合研究所　ニューサイエンス部
（東京都千代田区大手町 2-3-6）

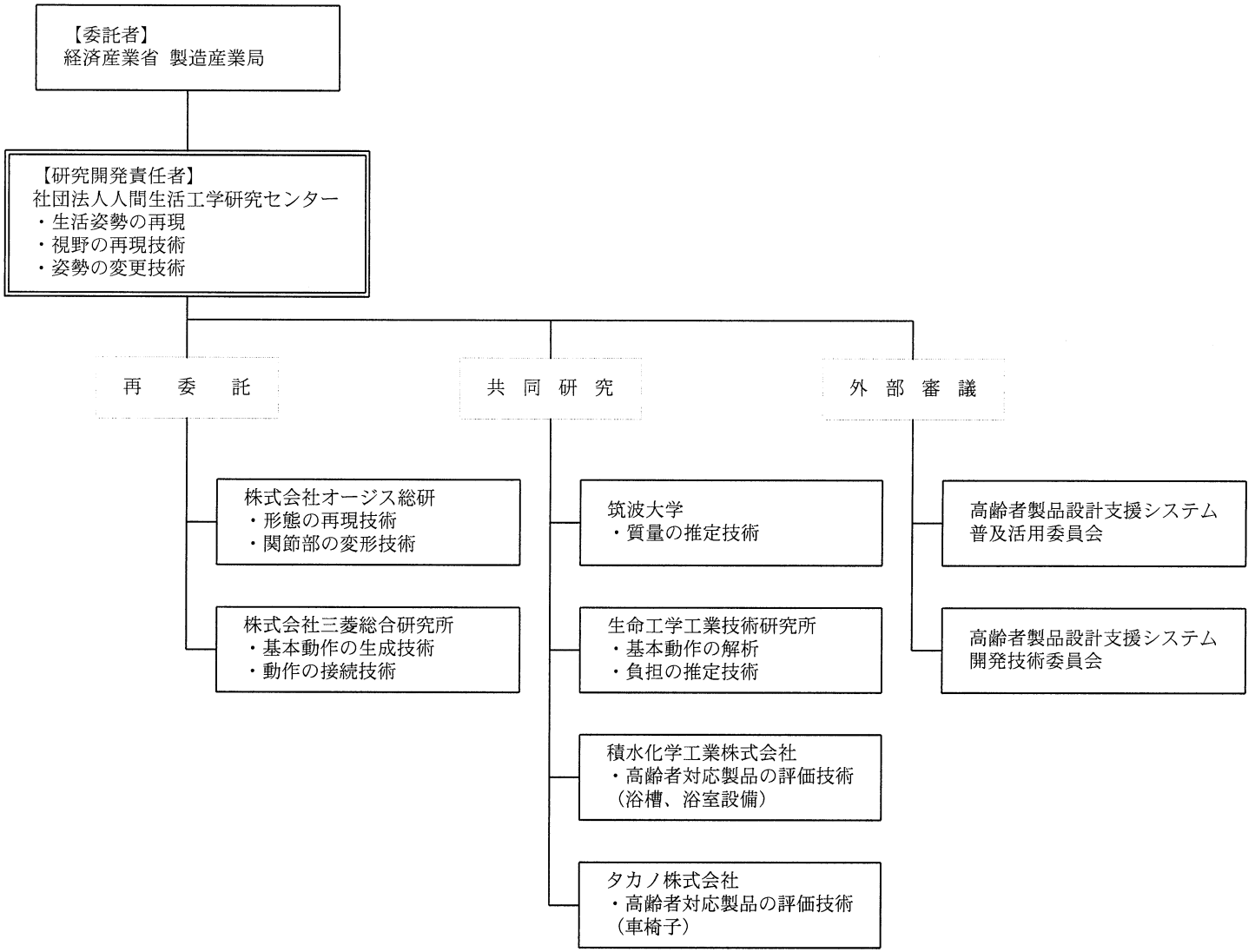
④ 積水化学工業株式会社　筑波研究所
（茨城県つくば市和台 32）

⑤ タカノ株式会社　家具開発部
（長野県伊那市西春近下河原５３３１）

⑥ 筑波大学　体育科学系
（茨城県つくば市天王台１－１－１）

⑦ 経済産業省　産業技術総合研究所　生命工学工業技術研究所　人間環境システム部
（茨城県つくば市東１－１）

4．研究体制


【委託者】
経済産業省 製造産業局
【研究開発責任者】
社団法人人間生活工学研究センター
・生活姿勢の再現
・視野の再現技術
・姿勢の変更技術
再 委 託
共 同 研 究
外 部 審 議
株式会社オージス総研
・形態の再現技術
・関節部の変形技術
株式会社三菱総合研究所
・基本動作の生成技術
・動作の接続技術
筑波大学
・質量の推定技術
生命工学工業技術研究所
・基本動作の解析
・負担の推定技術
積水化学工業株式会社
・高齢者対応製品の評価技術
（浴槽、浴室設備）
タカノ株式会社
・高齢者対応製品の評価技術
（車椅子）
高齢者製品設計支援システム
普及活用委員会
高齢者製品設計支援システム
開発技術委員会

5．おわりに

平成８年度に実施された「コンピュータ・マネキンに関する調査研究（社団法人人間生活工学研究センター、コンピュータ・マネキン研究委員会）」報告書は、コンピュータ・マネキン開発への決意を示して終わりのことばとしています。

> 真に実用的な、真に人間と製品や環境との適合性を評価できる
> コンピュータ・マネキンを開発していこう

本研究開発は、このメッセージに応える形で、高齢者製品設計支援システムの中核となるコンピュータ・マネキンの実用化を目指して進めてきました。複雑きわまりない人の構造、機能を仮想的に再現することは非常に難しいことでしたが、多くの方々のご協力により、大きな成果を得ることができました。本研究の成果が、実際の製品設計の場で有効に活用されることを願ってやみません。

しかしながら、コンピュータ・マネキンにはまだまだ進化の余地が沢山あります。研究開発の過程においても多くの課題が見つかっています。これらの課題のひとつひとつを解決し、

> 真に実用的な、真に人間と製品や環境との適合性を評価できる
> **よりよい**コンピュータ・マネキンを開発していこう

とさらなる決意をして本報告を終わりたいと思います。

最後になりましたが、本研究開発に参画していただいたすべての方々に心より御礼申し上げます。

委託研究者：株式会社オージス総研
株式会社三菱総合研究所

共同研究者：筑波大学
生命工学工業技術研究所
タカノ株式会社
積水化学工業株式会社

高齢者製品設計支援システム開発技術委員会

職 務	氏 名	組織名・所属及び役職
委員長	福井 幸男	筑波大学　電子・情報工学系 教授
委員	足立 和隆	筑波大学　体育科学系 講師
	植竹 篤志	積水化学工業株式会社　筑波研究所 ライフサポート開発グループ
	首藤 俊夫	株式会社三菱総合研究所　ﾆｭｰｻｲｴﾝｽ部 機械技術研究ﾁｰﾑ ﾁｰﾑﾘｰﾀﾞｰ
	西村 弘之	タカノ株式会社　家具開発部 企画研究グループ
	松本 亮	株式会社オージス総研　ｱﾄﾞﾊﾞﾝｽﾄﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部 ﾏｰｹﾃｨﾝｸﾞﾁｰﾑ 課長
	三村 拓也	応用技術株式会社　ＳＩ事業部 技術部
	横井 孝志	生命工学工業技術研究所　人間環境システム部 主任研究官
オブザーバー	栗原 一徳	経済産業省 製造産業局 人間生活システム企画チーム 係長
	宗平 順巳	株式会社オージス総研　コンサルティング部 部長

高齢者製品設計支援システム普及活用委員会

職 務	氏 名	組織名・所属及び役職
委員	杉本 清	大阪府立産業デザイン研究センター 企画推進グループ 課長補佐
	松下 隆一	NRI ﾈｯﾄﾜｰｸｺﾐｭﾆｹｰｼｮﾝｽﾞ株式会社 インターネット事業部 課長
	宮浦 健	住商ｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ株式会社 ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ・ｿﾘｭｰｼｮﾝ部 課長代理
	村山 和夫	株式会社オージス総研 ビジネス開発部 部長

また、本研究開発の全体的展開に関して、経済産業省 製造産業局 機械・生活産業 ユニット人間生活システム企画チームに強力なご支援をいただきました。厚く御礼申し上げます。

平成１３年３月

社団法人人間生活工学研究センター

海外調査報告

■ 目的

コンピュータ・マネキンの最新動向の調査

■ 調査者

足立　和隆　（筑波大学　体育科学系　講師）

大矢　高司　（社団法人　人間生活工学研究センター　システム担当課長）

■ 期間

平成１３年３月６日～平成１３年３月１１日

■ 日程

以下のとおり（移動を除く）

月日	場所	訪問先
３月８日（木）	イタリア・カデナビア	CEN 国際会議
９日（金）	イタリア・カデナビア	CEN 国際会議

1．はじめに

人間工学分野における利用を目的としたコンピュータ・マネキンシステムは、世界的にみると現在のところ４種類（RAMSIS、JACK、SAMMIE、ERGOMAN）がおもに流通している。今後は、本プロジェクトで作成したマネキンもこれに加わる。コンピュータ・マネキンの製造者と市場は益々増大することが予想されるため、製品化されるコンピュータ・マネキンシステムの質を一定以上に保ち（粗悪なマネキンを排除する）、お互いにある程度の互換性をもたせるため、ISO（国際標準化機構）と CEN（欧州規格委員会）の人間工学専門委員会に属する作業グループ（ISO/TC159/SC3/WG1 および CEN/TC122/WG1）によって国際規格が作成されることになった。ただし、ISO と CEN が同じテーマの規格を並行して作成するのは無駄手間であるということから、先に着手した方が主体となって規格を作るという協定が 1991 年に締結されており（ウィーン協定）、これに従って、CEN が主体となってこの規格案作成を行うことになった。CEN が作成した規格案は、最終的に ISO と CEN の加盟国によって並行投票が行われ、採択の可否が決定される。CEN が主体となる規格案づくりに ISO の意見を反映してもらうため、通常、ISO 側からリエゾンエキスパート（連絡委員）が CEN の定例会議に派遣される（参考資料 1 参照）。この連絡委員として、小生は 1997 年 9 月に英国のラフボローで開催された CEN/TC122/WG1 の定例会議以来、半年ごとに開かれる定例会議に出席してきた（2000 年 9 月に英国グラスゴーで開催された会議は欠席）。先回のグラスゴー会議では、コンピュータ・マネキン規格案の Part 1:General requirements（第 1 部「一般要求事項」）がほぼ完成し、現在、ISO と CEN においてこれに関する並行投票への手続きが進行中である。

2．カデナビア会議（2001 年 3 月 8,9 日、イタリア）

この会議では、コンピュータ・マネキン規格案 Part 2:Structure and dimensions（第 2 部「構造とディメンション」）の審議が本格的に開始された。第 2 部に関しては、ISO 側が主体となって作成することがラフボロー会議（於イギリス）で承認されており、ISO 側で作成した 2 通りの規格案の審議を行った。

第 1 案は、2000 年 3 月にオーストリアのウィーンで開催された定例会議に配布したものそのままである。本案は、そのときの会議では時間切れのために十分に審議することができなかったが、規格案として採用するかについては、消極的な意見が多かった。第 2 案は、ウィーン会議における第 1 案の不評から、視点を変えて作成したものであるが、まだ規格案としての体裁にはなっておらず、Part 2 の内容に関する基本概念を示したものである。第 2 案の内容は後述する。

第 1 案に関しては、Part 1 と重複する部分が多いため、審議の上、結局、採択しないことになった。第 2 案は、コンピュータ・マネキンの使用者、製作者にとって大変わかりやすい基本概念であるということが認められ、これをもとに Part 2 を作成することになった。



写真：会議出席者．向かって左から４人目が議長H．ユルゲンス教授（キール大学）、右から２人目が事務局N．ブッツ氏、右端が足立講師．　（カデナビアにて、大矢撮影）

３．第２案：Part ２に関する基本概念

「Class」と「Level」の提案

コンピュータマネキンには、簡単なボディーテンプレートから自律機能を有する複雑なものまでさまざまなものが現在、また将来において存在する。そこで、これらに段階を設け、これをClass というカテゴリー（Category）で表し、さらにその下に Level という細目（Subcategory）をもうける。たとえば、

Class A: ２次元ボディーテンプレート。ボディーテンプレートを単にコンピュータ内に再現させたもの。

Class A, Level 1: 二次元の形態のみを反映。自律運動機能なし。オペレーターが手動で姿勢を操作。最終的に対象物を把持する、あるいは姿勢を最適化させる微調整機能はもっている場合がある。

Class A, Level 2: 二次元の形態を反映し、自律運動（対象物の位置関係、表面形状を自動的に検出し、それに応じて基本立位姿勢を変化させて最適な姿勢をとる。）機能あり。

option: 付加機能に応じて、これをつけてもよい。たとえば、重心位置の計算(1)、対象物にかかる二次元的な重量配分(2)、関節負荷値の計算(3)等の算出ができる。

（例：Class A, Level 1, option 1,2）

Class B: 三次元形態再現コンピュータマネキン。指定した集団の体型寸法値をもつ三次元コ

ンピュータマネキンをコンピュータ内に再現させたもの。体型寸法値は、集団における実際のパーセンタイル値、あるいは計算によって求めたパーセンタイル値に基づいて変更可能である。形態を主眼とする用途に使用。

Class B, Level 1: 三次元の形態を反映し、さまざまな姿勢を手動でとらせることができる。もちろん、実際の人体がとれないような姿勢になってはいけない。最終的に対象物を把持する、あるいは姿勢を最適化させる微調整機能はもっている場合がある。

option: 付加機能に応じて、これをつけてもよい。

この Level における option として

・体重配分計算および評価機能（重心位置の計算および重心線、着力点位置の計算）。つまり、マネキンが自分立つことができる(1)。

・関節トルクを計算してくれる(2)。

・視野を表示してくれる(3 。

・対象物との干渉を表示してくれる(4)。

Class B, Level 1a: アパレル用コンピュータマネキン。

Class B, Level 2: 三次元の形態を反映し、自律運動（対象物の位置関係、表面形状を自動的に検出し、それに応じて基本立位姿勢を変化させて最適な姿勢をとる。）機能あり。ただし、対象物に接触あるいは対象物を把持後は静止する。負担の多い姿勢となった場合や、対象物と干渉する場合には警告を表示する。

Class C: Class B の形態をもち、コンピュータ内で運動させることができる。運動を主眼とする用途に使用。

Class C, Level 1: マネキンの運動様式は、基本的には使用者がプログラムする。

Class C, Level 2: マネキンの運動様式は、マネキンが自分で判断して決める。

option: 付加機能に応じて、これをつけてもよい。

・幼児、青年、高齢者、男女別の運動様式が選べる(1)。

・文化を反映した運動様式が選べる(2)。

・健康状態、特定の疾患に応じて異なる運動様式が選べる(3)。

・マネキンの置かれた環境（床面との摩擦、気候等）を設定できる(4)。

4．まとめ

上記のような分類概念を導入することによって、たとえば、製品に Class B, Level 1 対応と記されていれば、使用者（購入者）には、これがどのようなマネキンかすぐにわかる、すなわち、自分が行おうとしている設計への適不適がすぐにわかる。

さらに細かい点、たとえばCAD環境との座標系の変換、一致とか、CADデータとのインポート・エキスポート、体型データのフォーマット等に関しては、推奨できる方法を今後調査する。

参考資料

1)足立和隆：コンピュータマネキンの国際標準化，ﾊﾞｲｵﾒｶﾆｽﾞﾑ学会誌，Vol.23，No.1，1999.

資料１

コンピュータ・マネキン　～　形態モデルシステム

操作説明書（概要版）

目　次

1．メニュー構成 233

2．システム概観 234

3．インストール 234

4．起動・終了 234

5．メニュー 235

6．ツールバー 237

7．右クリックメニュー 239

8．モデル表示 240

9．システム設定 241

１０．機能別ダイアログ 244

１１．その他 271

はじめに

「高齢者製品設計支援システム等開発（高齢者適合製品の設計技術開発）」で研究開発されたコンピュータ・マネキンの名称は“que（キュー）”と呼ばれるが、ここではその構成要素である形態モデルを便宜上“que”と呼ぶことにする。

1．メニュー構成

システム概観	インストール	表示画面
	起動・終了	起動ショートカット，（メニュー）
	メニュー	
	ツールバー	
	右クリックメニュー	
	システム設定	
各種機能 ダイアログ	モデル生成	
	モデル表示	モデルの見せ方 評価結果の表示の有無
	モデルのプロパティー	生成情報 画面表示／変更 サイズ情報表示／変更 関節制限角表示／変更 質量表示／変更
	姿勢変更	FK IK 詳細移動 補正 姿勢ファイル入出力
	干渉	自己干渉 相互干渉 製品干渉 干渉演算 設定
	リーチ	
	拘束	
	視野	
	力学負荷推定	
	評価設定	
	変換	２Ｄファイル出力
		ソリッド変換

2．システム概観

que は、AutoCAD プラットフォーム上で機能追加（プラグイン）的な動作を行なう。

3．インストール

インストールは専用ツールを用いて作成されたインストーラ（InstallShield）を利用する。
このため、利用するインストールツールに準拠した画面構成になる。

インストーラに必要な機能は、以下のとおり
- インストールディレクトリの選択が可能
- インストール先のディスクの容量チェック
- メニューホルダを選択することが可能
- 選択されたメニューホルダに、実行ファイルのショートカットが作成される
- デスクトップにショートカットを用意するかの選択が可能
- レジストリにシステムが利用するディレクトリ情報を格納できる
- アンインストール可能
- 再インストール（二重インストール）しても二重登録されない

4．起動・終了

que の起動・終了時は、以下の動作が行なわれる。

起動：

que の起動は、以下の３種類を想定する。

１．インストール時に作成される、デスクトップ上の専用アイコンからの起動

２．インストール時に作成される、スタートメニューより起動

３．AutoCAD が実行されている状態で、スクリプトの実行により起動

また、que を起動した場合 AutoCAD の概観に以下のような変化が現われる。
- 起動時にシステム起動ロゴ表示が行なわれる
- AutoCAD のメニューバーへ que 専用メニューを追加
- AutoCAD のツールバーへ que 専用ツールバーを追加

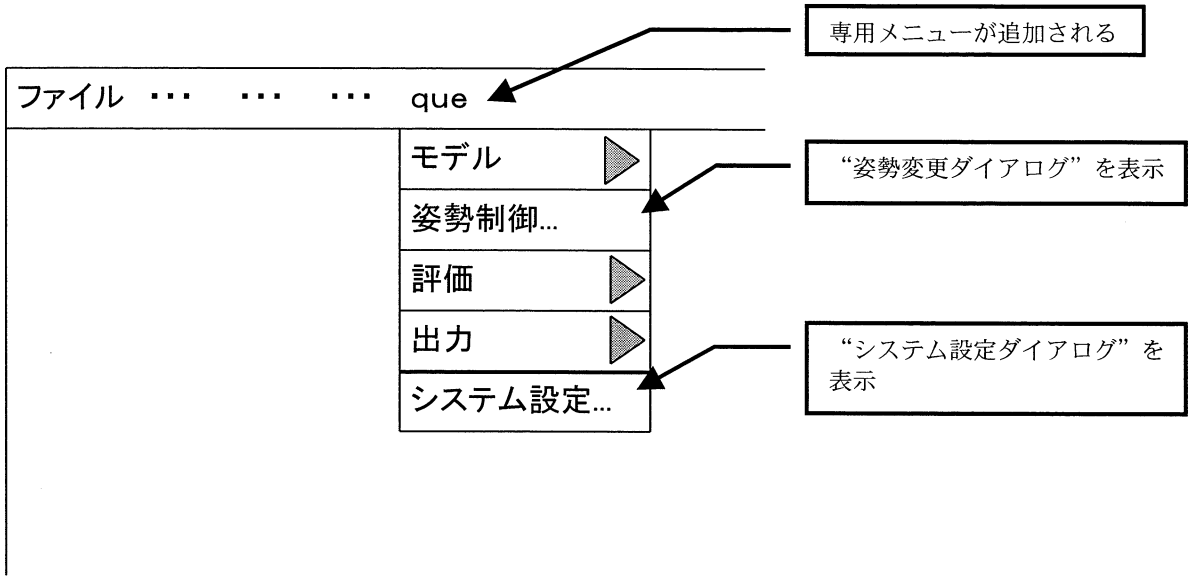
終了：

que は AutoCAD の終了に連動して終了する。

※　一旦 que が起動すると、que のみ AutoCAD 上から終了させることは不可能

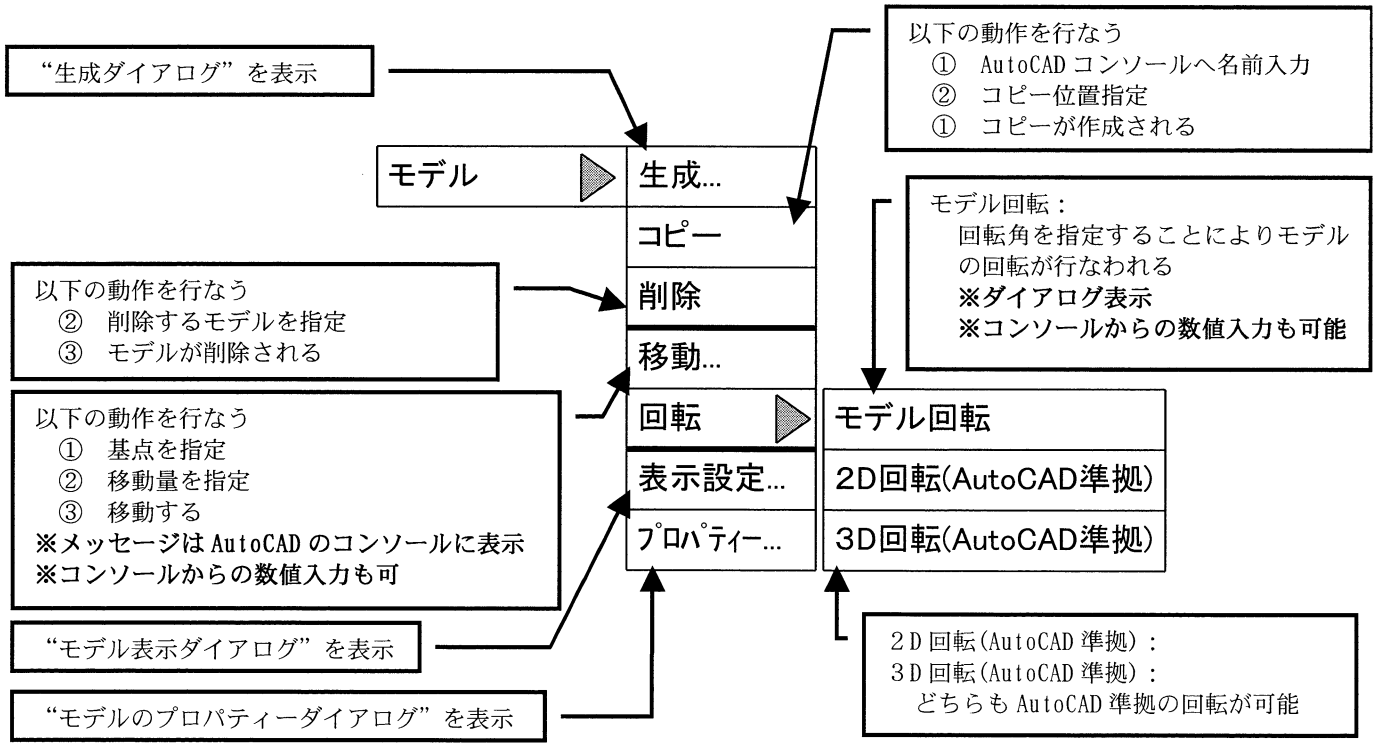
5．メニュー

que が起動されると、AutoCAD に que 専用メニューが追加される。



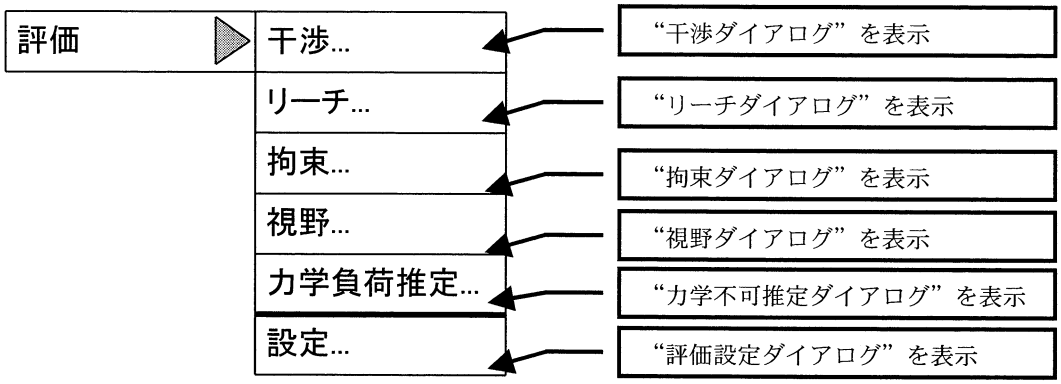
モデルサブメニュー

モデルに関しての各種操作が行なえるメニューが表示される。



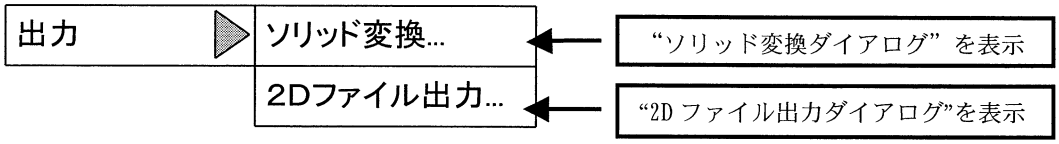
評価サブメニュー

評価に関しての各種操作が行なえるメニューが表示される。



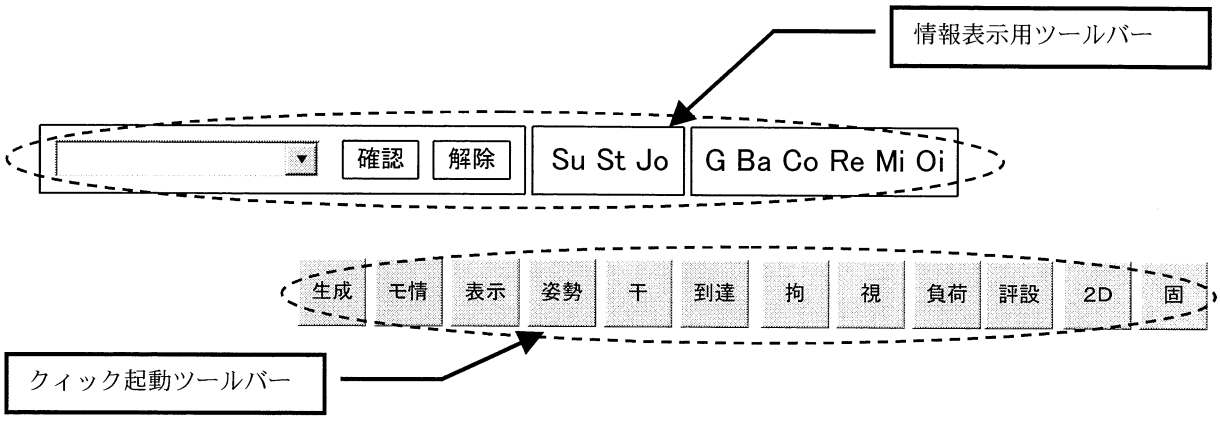
出力サブメニュー

出力に関しての各種操作が行なえるメニューが表示される。

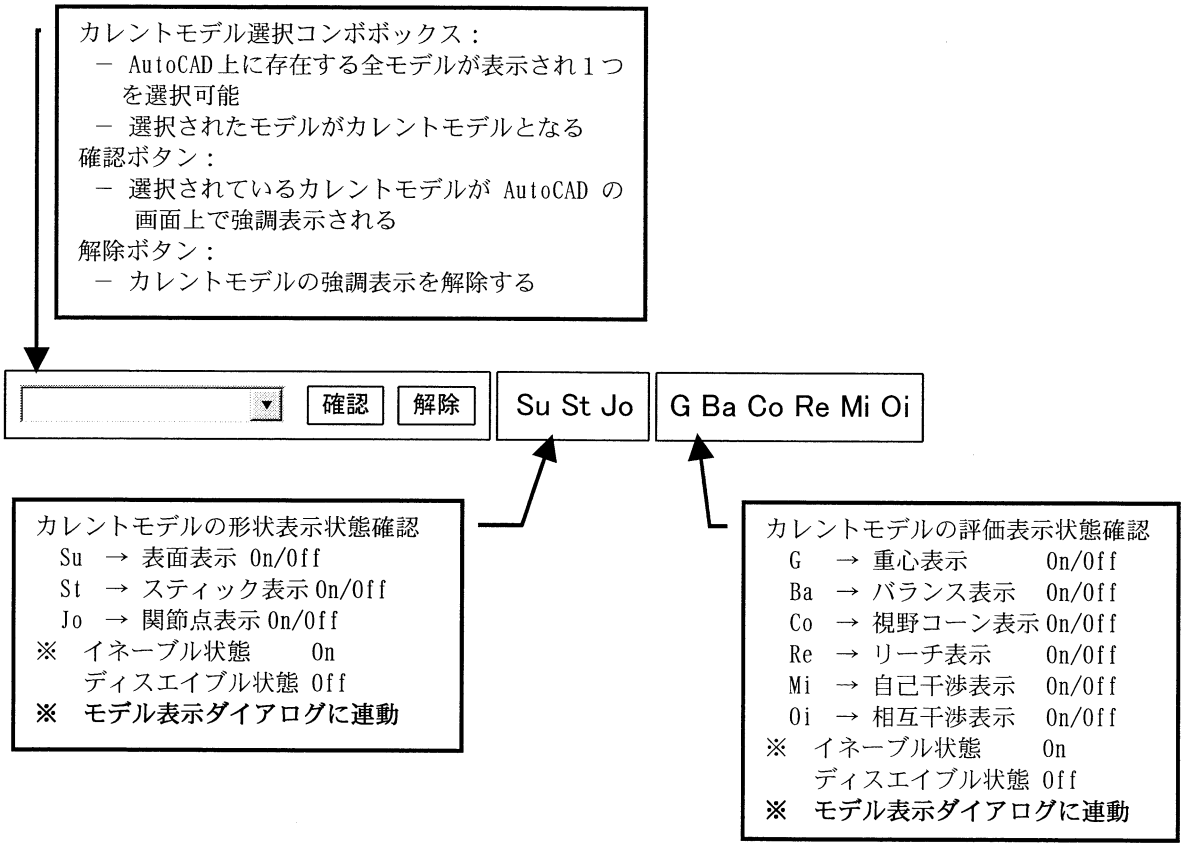


6．ツールバー

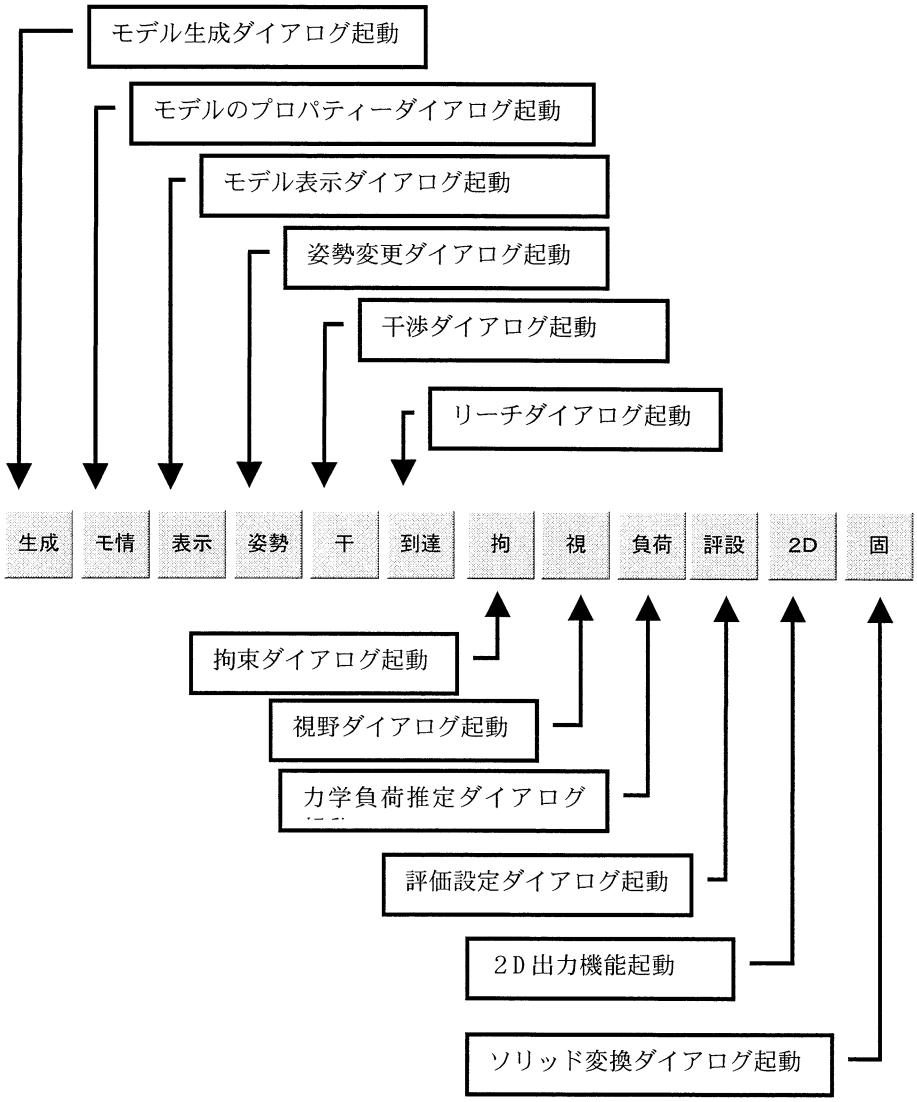
que が起動されると、AutoCAD に que 専用ツールバーが追加される



情報表示用ツールバー



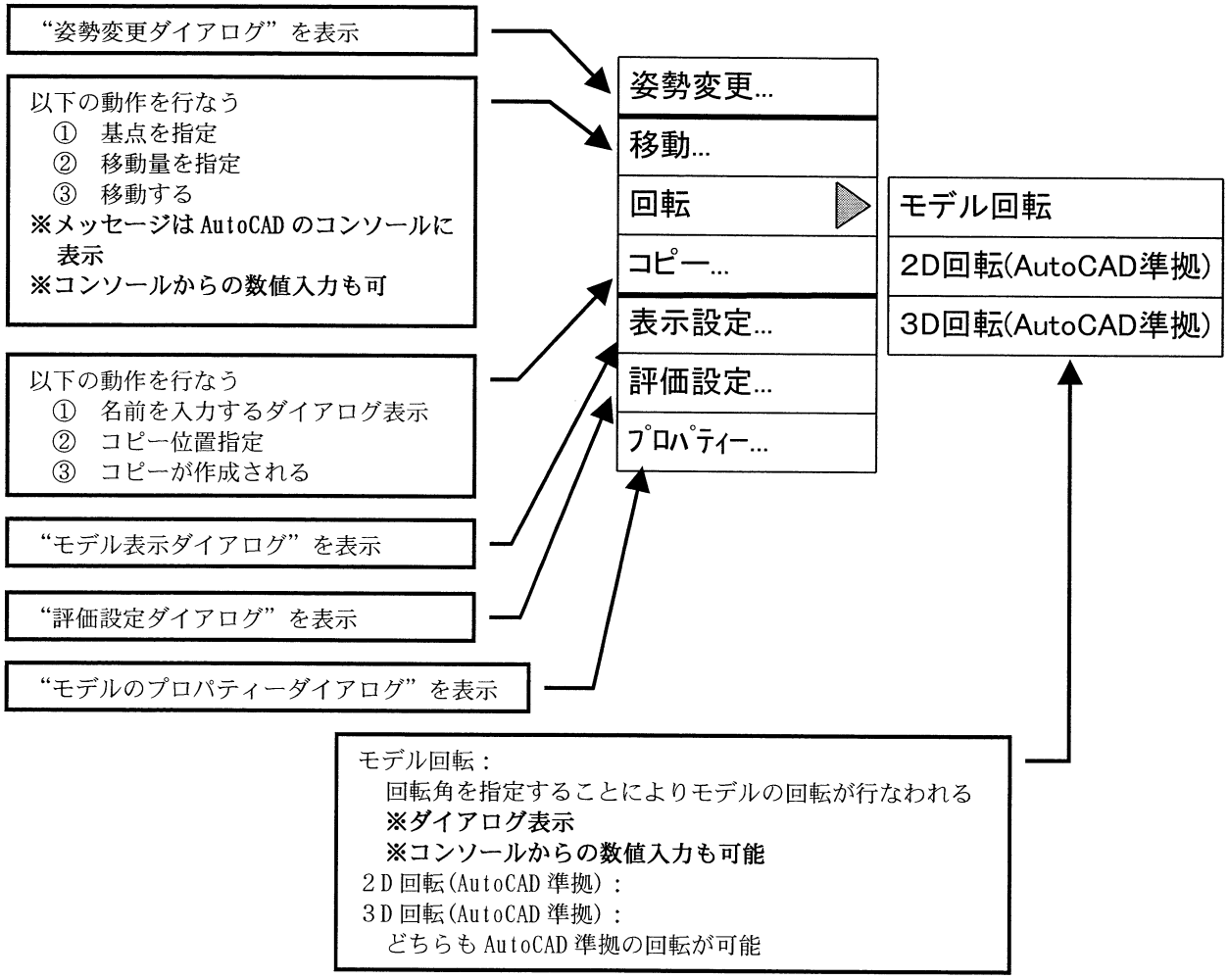
クイック起動ツールバー



7．右クリックメニュー

右クリックは、AutoCAD 上で選択(セレクション)されている“モデル”に対しての処理が行われるように動作する。メニューからの呼び出しと異なる部分は以下のとおり。

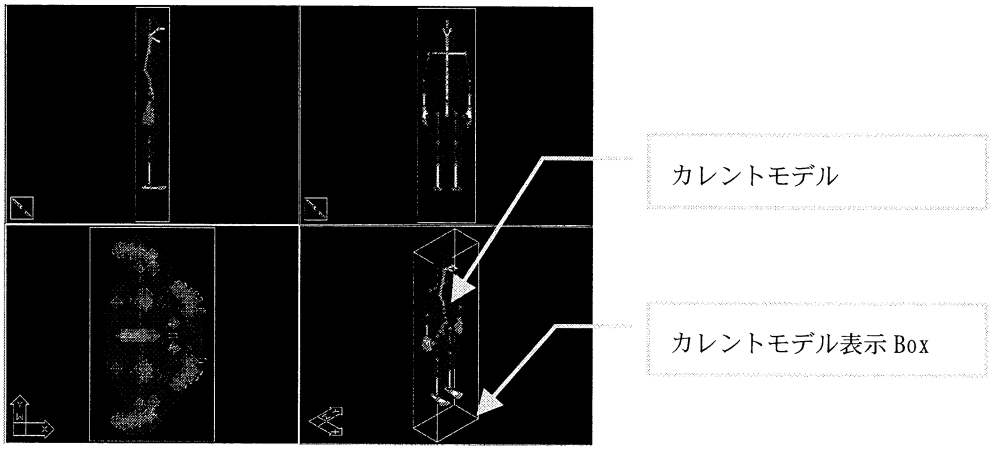
1）ダイアログ表示され“モデル名”を選択できる場合は、セレクションで選択されているモデル名を初期モデル選択とする。
2）ダイアログ表示され“部位名”を選択できる場合は、セレクションで選択されている部位名を初期部位選択とする。
3）“モデル”および“部位”が複数選択されている場合は、選択されている“モデル”“部位”をシステムが自動的に１つだけ抽出する。



8．モデル表示

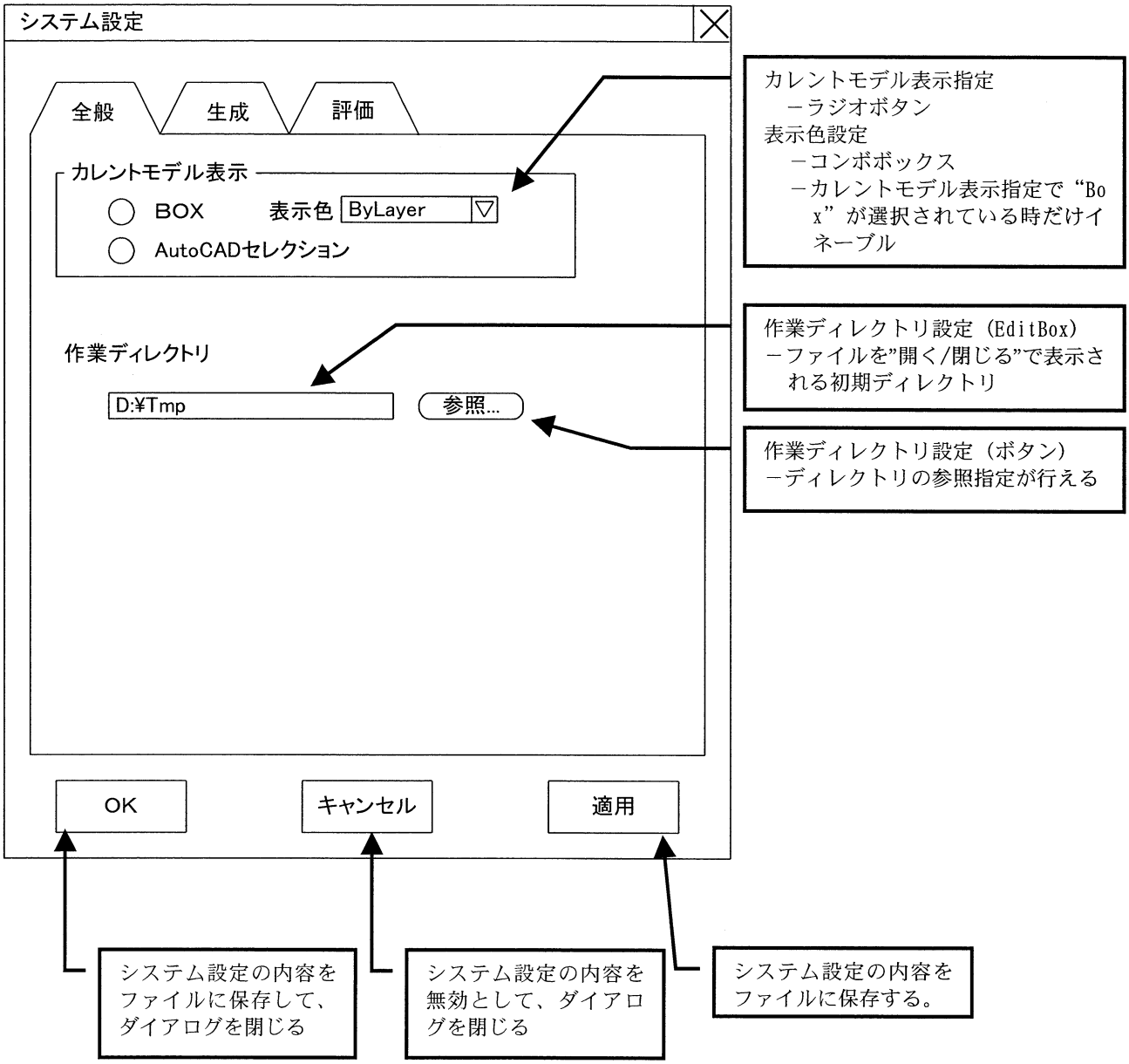
AutoCAD 上に表示されるモデルには、“カレントモデル”の概念が存在する。
メニュー等（右クリックメニューは除く）より各機能を実行するダイアログが表示される際に、操作対象モデルとして初期選択されているのはカレントモデルとなる。

カレントモデルの表示イメージは、“情報表示用ツールバー”上の確認ボタンを押すことにより、カレントモデル全体を囲む直方体が表示される。（“カレントモデル選択コンボボックス”に表示されているモデルがカレントモデル）



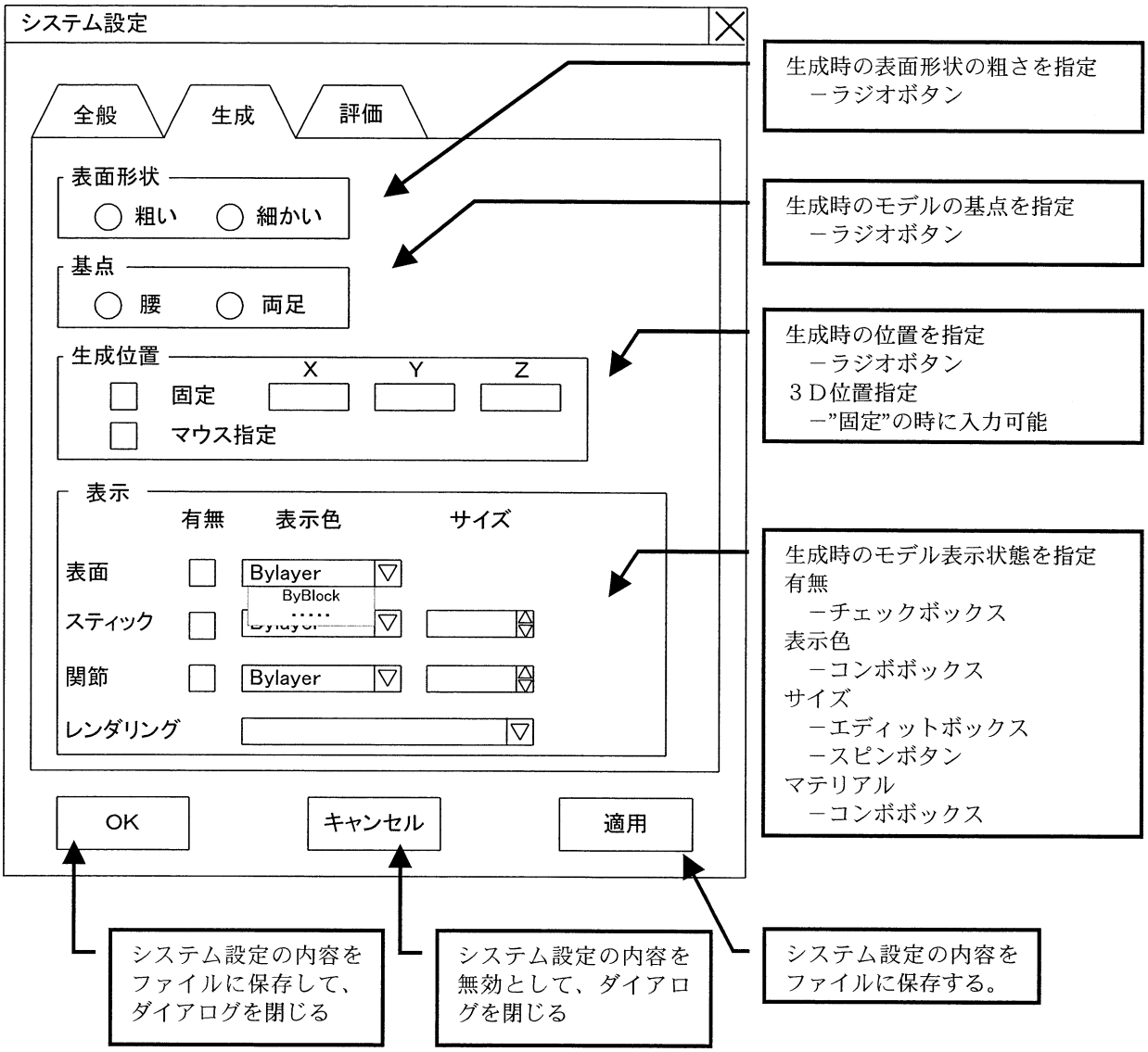
9．システム設定

全般タブ



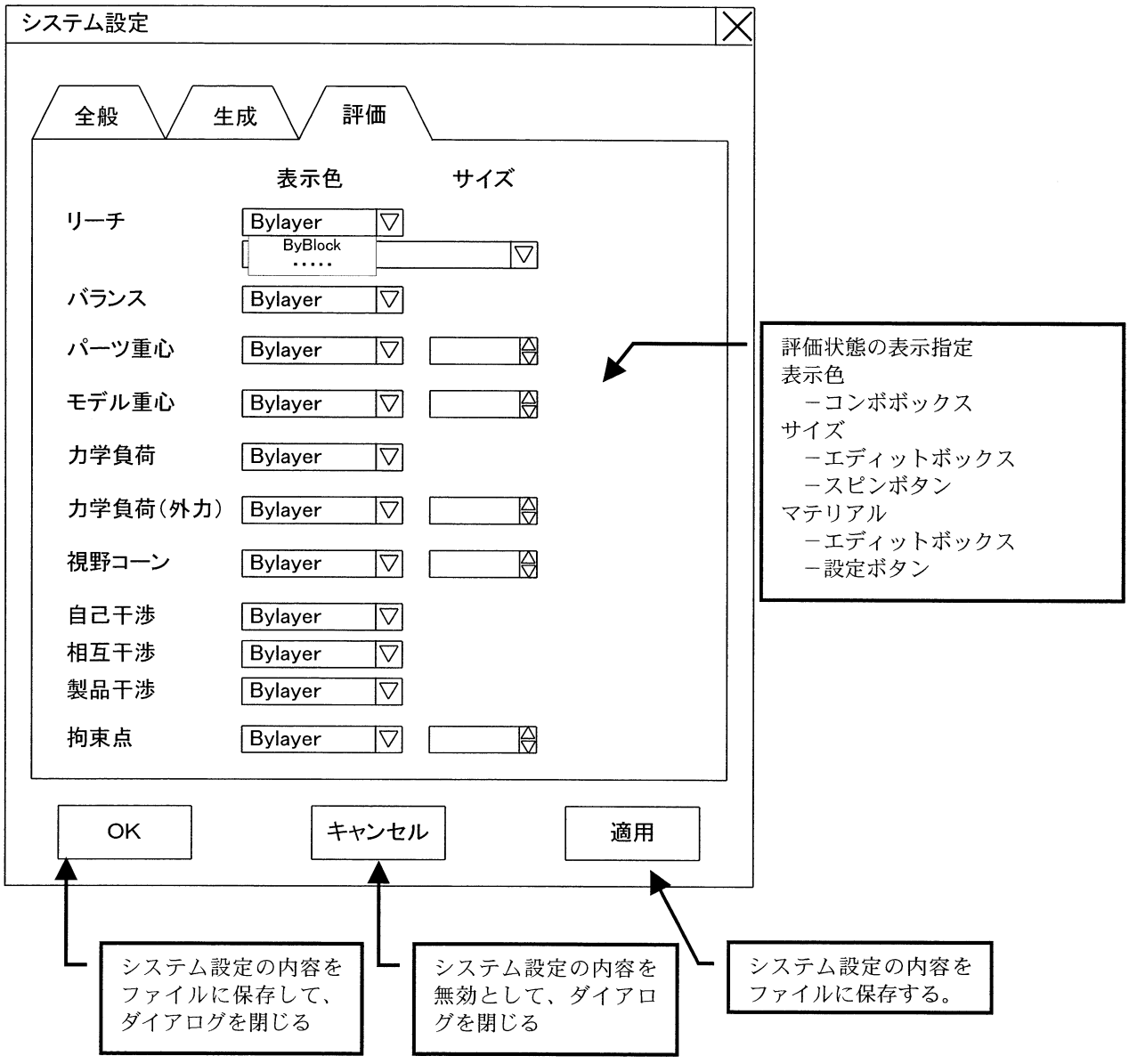
※　ダイアログ表示時の各項目初期表示は、設定ファイルより読み込まれた値とする。

生成タブ



※　ダイアログ表示時の各項目初期表示は、設定ファイルより読み込まれた値とする。

評価タブ

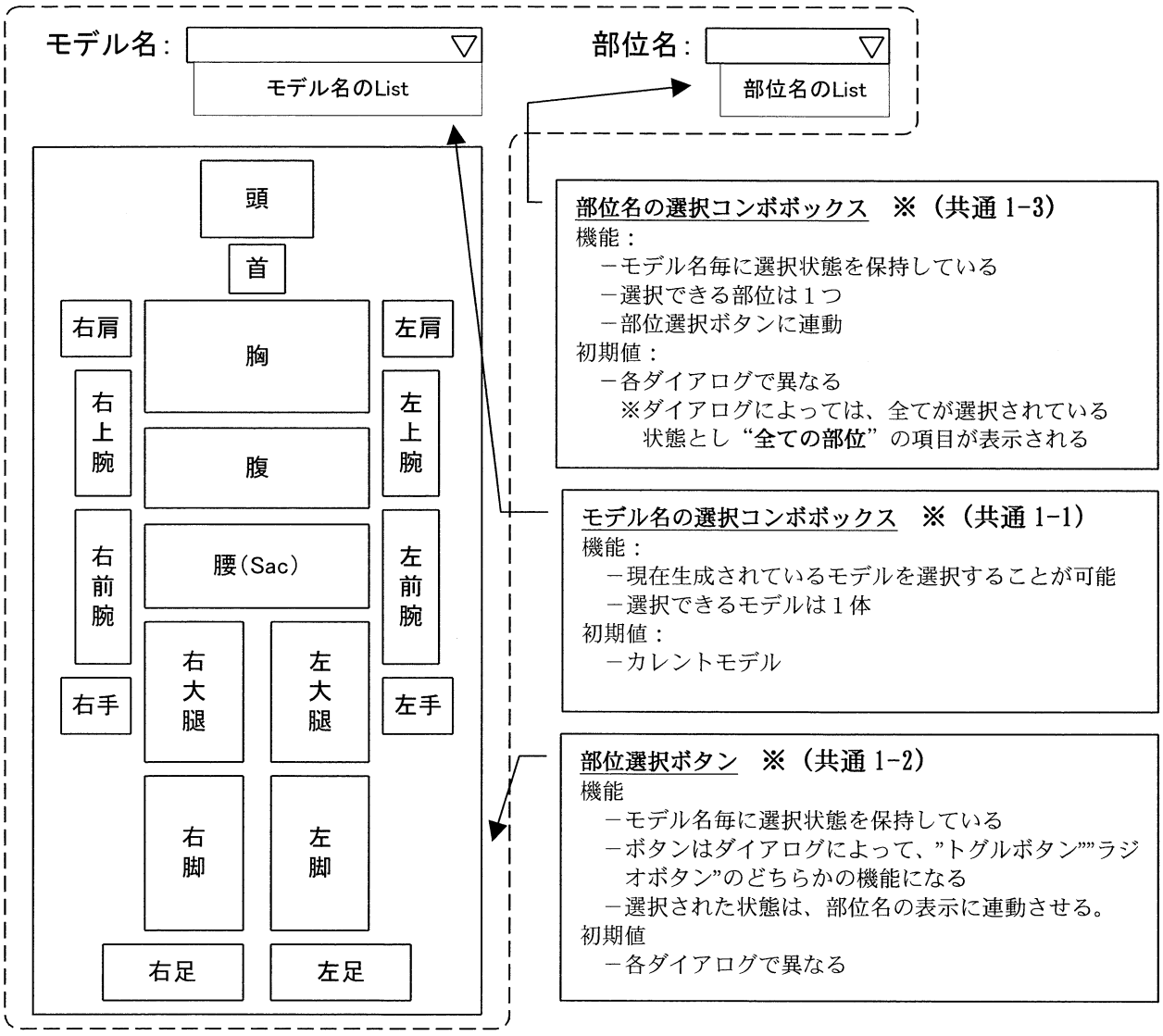


※　ダイアログ表示時の各項目初期表示は、設定ファイルより読み込まれた値とする。

１０．機能別ダイアログ

１０．１　共通で利用する部品

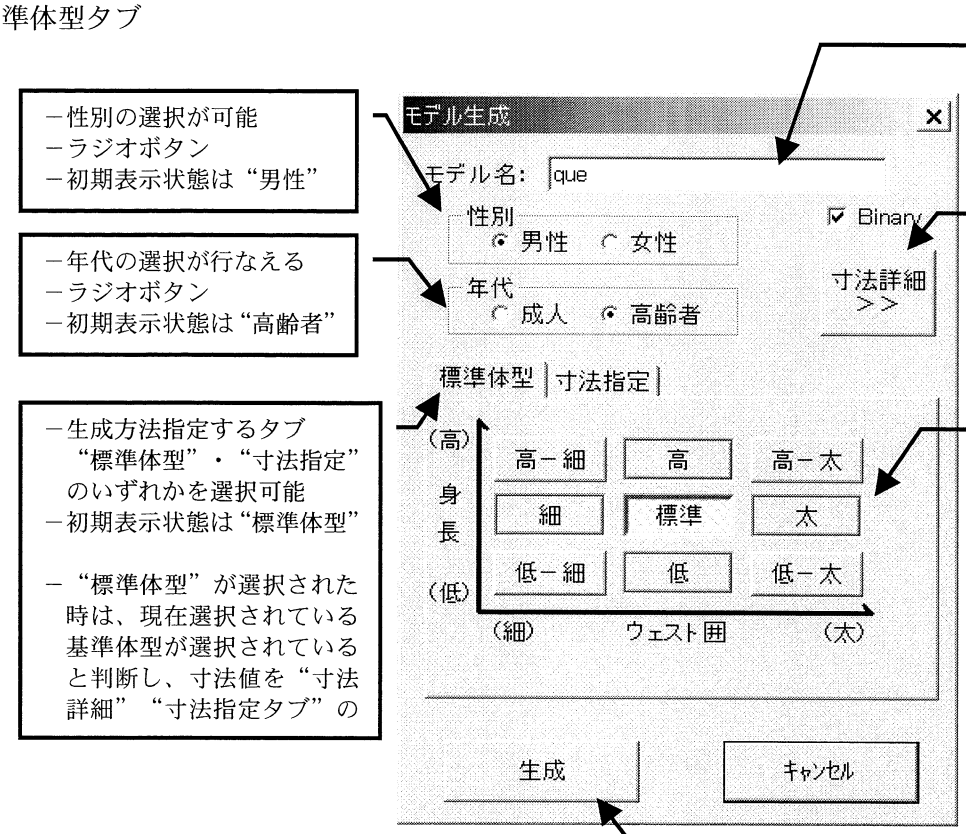
各ダイアログで、“モデル名”および“パーツ名”を選択する操作を行なう場合に、ＧＵＩの一貫性を考慮し、図のような部品を作成して共通で利用する。（以下の部品を共通１とする）



図

１０．２　モデル生成

標準体型タブ



－性別の選択が可能
－ラジオボタン
－初期表示状態は“男性”

－年代の選択が行なえる
－ラジオボタン
－初期表示状態は“高齢者”

－生成方法指定するタブ
“標準体型”・“寸法指定”のいずれかを選択可能
－初期表示状態は“標準体型”

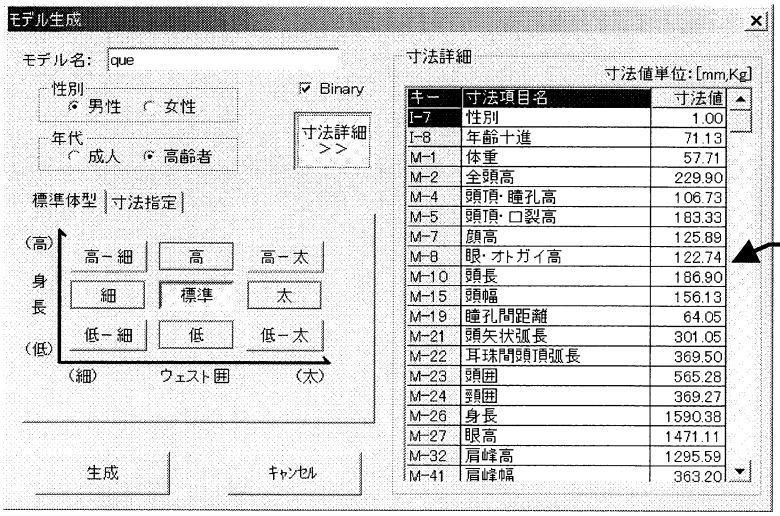
－“標準体型”が選択された時は、現在選択されている基準体型が選択されていると判断し、寸法値を“寸法詳細”“寸法指定タブ”の

モデル名（英数）の入力が行なえる

－ダイアログが横に伸縮
－トグルボタン
－チェック状態で伸びた状態

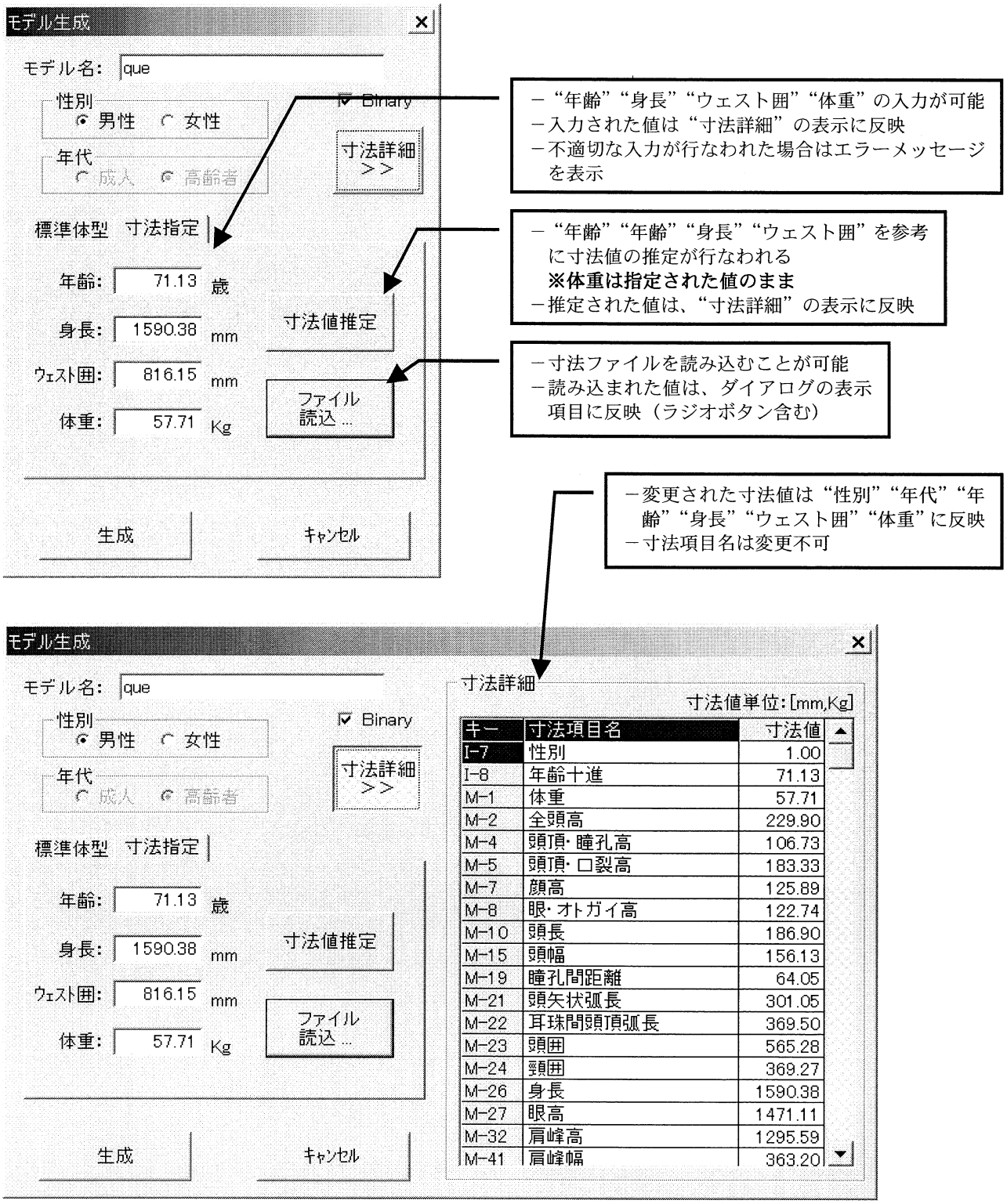
－９タイプの基準体型を選択可能
－初期表示状態は“標準”
－どれかのタイプが選択されると、“寸法詳細”・“寸法指定タブ”の各寸法値に表示に値が反映される

－指定された寸法でモデルが生成される
－同じ名前のモデルがすでに存在する場合は、エラーメッセージを表示



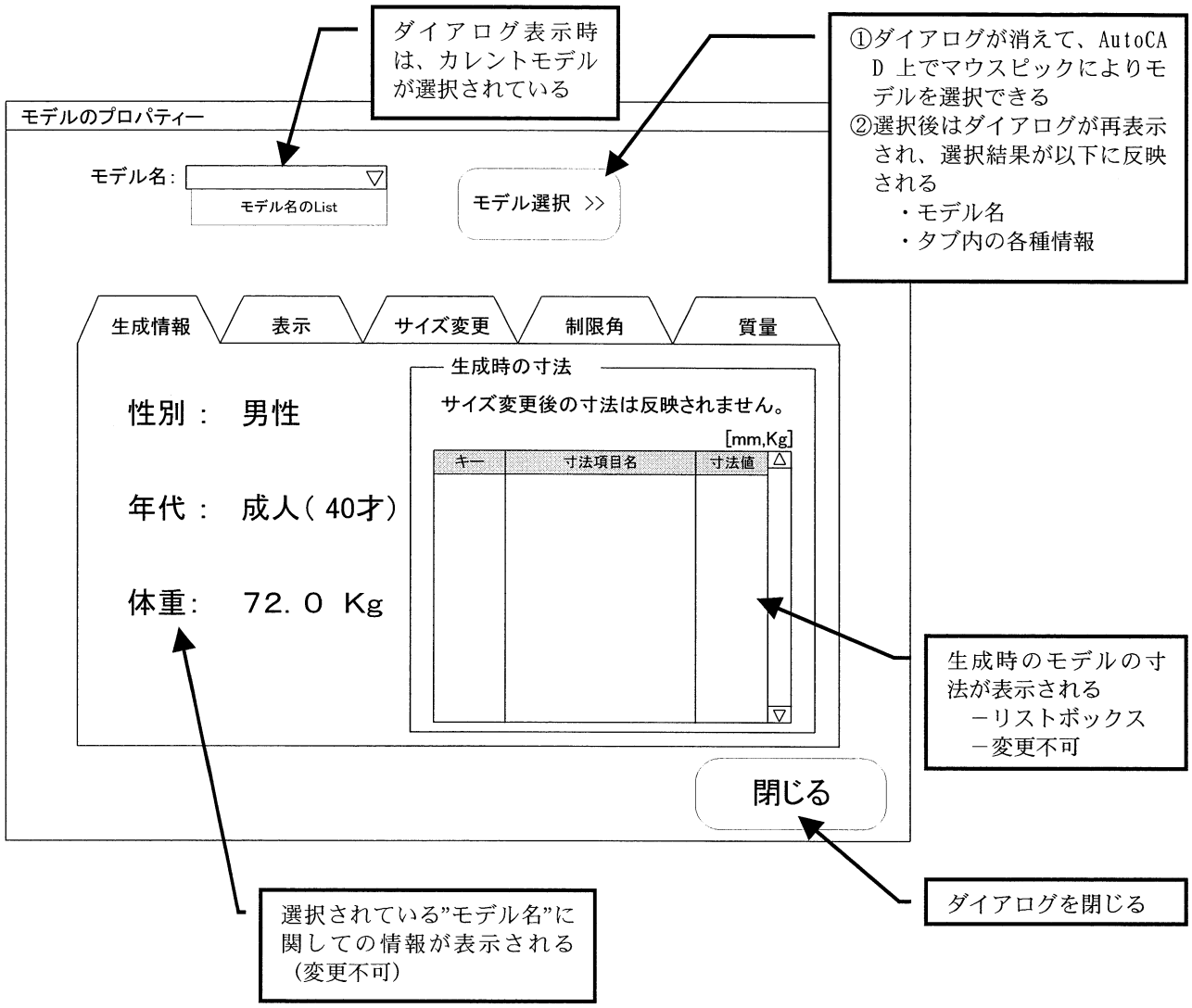
－寸法詳細が表示される
－寸法値は編集可能
寸法値が編集された場合は、“性別”“年代”“寸法指定タブ”の表示を変更された寸法値に反映

寸法指定タブ

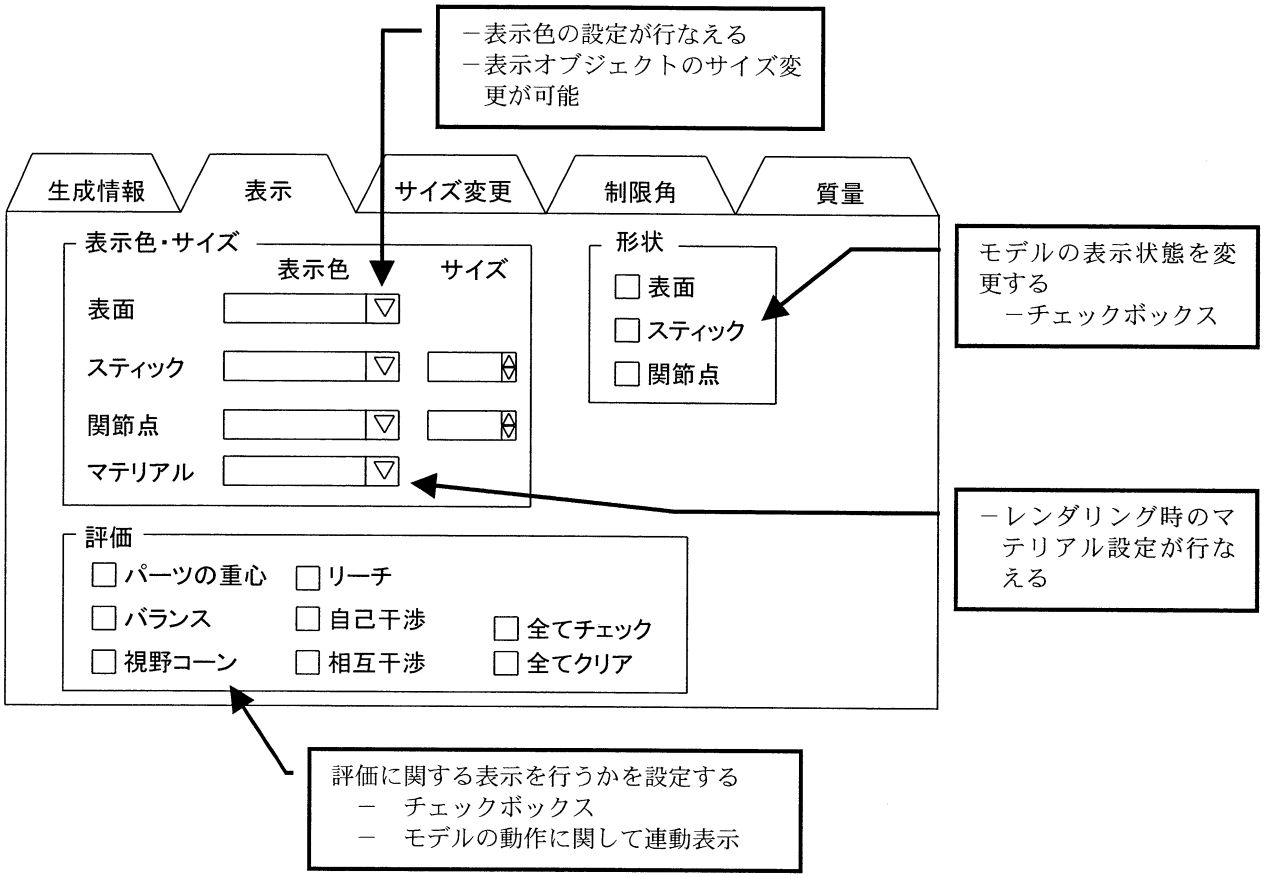

モデル生成
モデル名: que
性別
男性
女性
Binary
寸法詳細 >>
年代
成人
高齢者
標準体型
寸法指定
年齢: 71.13 歳
身長: 1590.38 mm
ウェスト囲: 816.15 mm
体重: 57.71 Kg
寸法値推定
ファイル読込 ...
生成
キャンセル
－“年齢”“身長”“ウェスト囲”“体重”の入力が可能
－入力された値は“寸法詳細”の表示に反映
－不適切な入力が行なわれた場合はエラーメッセージを表示
－“年齢”“年齢”“身長”“ウェスト囲”を参考に寸法値の推定が行なわれる
※体重は指定された値のまま
－推定された値は、“寸法詳細”の表示に反映
－寸法ファイルを読み込むことが可能
－読み込まれた値は、ダイアログの表示項目に反映（ラジオボタン含む）
－変更された寸法値は“性別”“年代”“年齢”“身長”“ウェスト囲”“体重”に反映
－寸法項目名は変更不可
寸法詳細
寸法値単位:[mm,Kg]
キー
寸法項目名
寸法値
I-7 性別 1.00
I-8 年齢十進 71.13
M-1 体重 57.71
M-2 全頭高 229.90
M-4 頭頂・瞳孔高 106.73
M-5 頭頂・口裂高 183.33
M-7 顔高 125.89
M-8 眼・オトガイ高 122.74
M-10 頭長 186.90
M-15 頭幅 156.13
M-19 瞳孔間距離 64.05
M-21 頭矢状弧長 301.05
M-22 耳珠間頭頂弧長 369.50
M-23 頭囲 565.28
M-24 頸囲 369.27
M-26 身長 1590.38
M-27 眼高 1471.11
M-32 肩峰高 1295.59
M-41 肩峰幅 363.20

１０．３　モデルのプロパティー

生成情報タブ

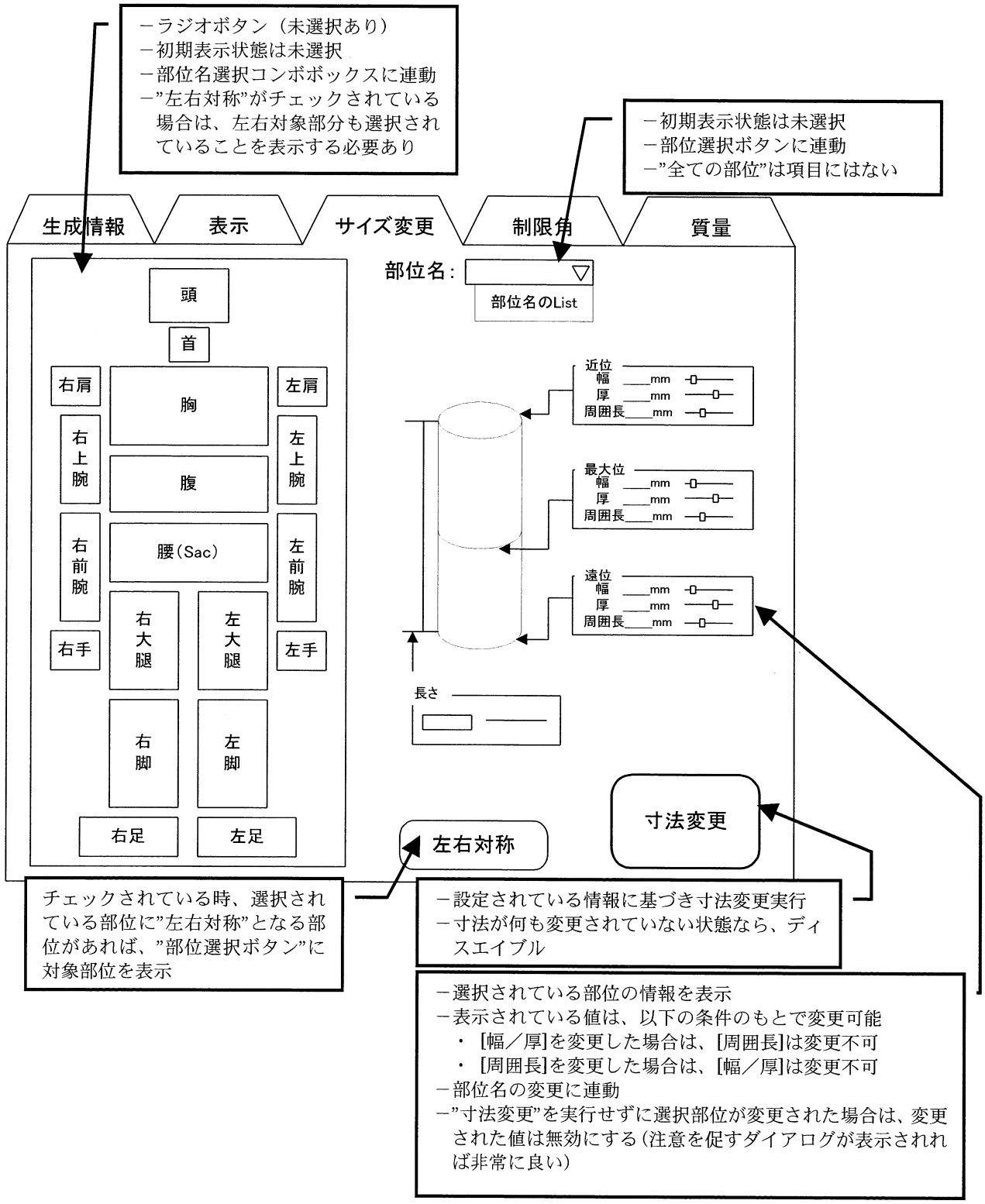


表示タブ

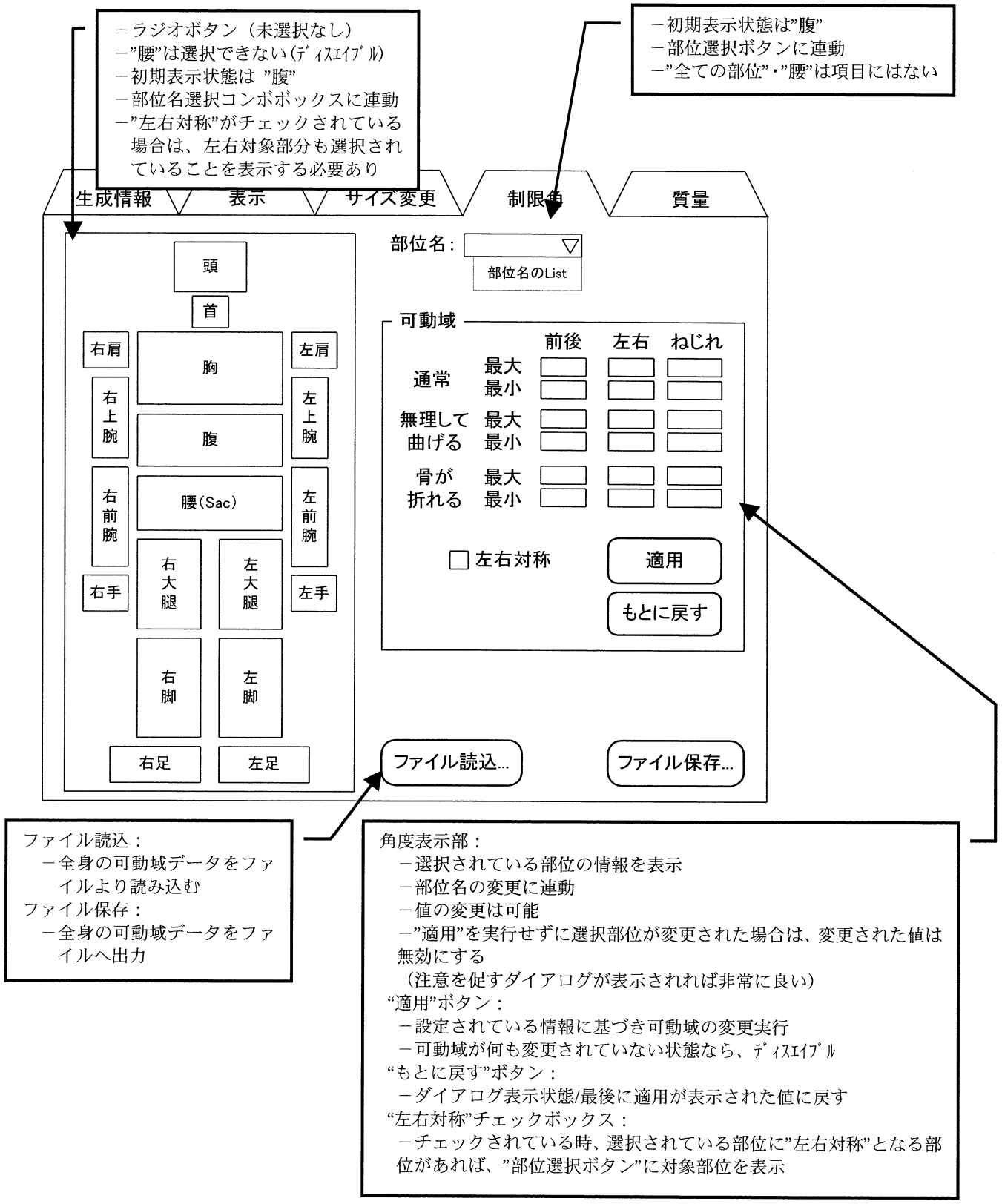


※ 注意 ※
- 色等の変更は即時反映させる。

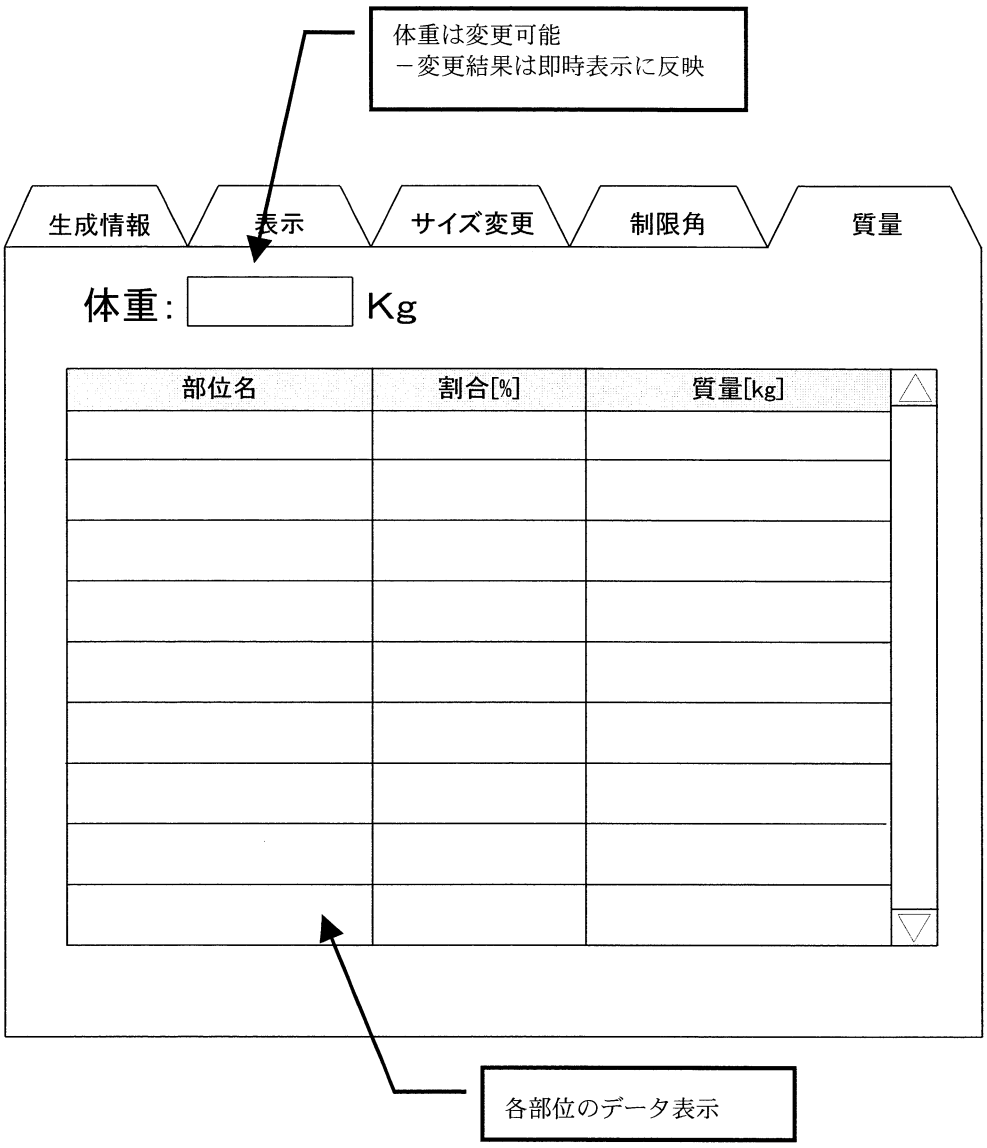
サイズ変更タブ


－ラジオボタン（未選択あり）
－初期表示状態は未選択
－部位名選択コンボボックスに連動
－”左右対称”がチェックされている場合は、左右対象部分も選択されていることを表示する必要あり
－初期表示状態は未選択
－部位選択ボタンに連動
－”全ての部位”は項目にはない
生成情報
表示
サイズ変更
制限角
質量
部位名:
部位名のList
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
腹
左上腕
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
近位
幅 ___mm
厚 ___mm
周囲長___mm
最大位
幅 ___mm
厚 ___mm
周囲長___mm
遠位
幅 ___mm
厚 ___mm
周囲長___mm
長さ
寸法変更
左右対称
チェックされている時、選択されている部位に”左右対称”となる部位があれば、”部位選択ボタン”に対象部位を表示
－設定されている情報に基づき寸法変更実行
－寸法が何も変更されていない状態なら、ディスエイブル
－選択されている部位の情報を表示
－表示されている値は、以下の条件のもとで変更可能
・ [幅／厚]を変更した場合は、[周囲長]は変更不可
・ [周囲長]を変更した場合は、[幅／厚]は変更不可
－部位名の変更に連動
－”寸法変更”を実行せずに選択部位が変更された場合は、変更された値は無効にする（注意を促すダイアログが表示されれば非常に良い）

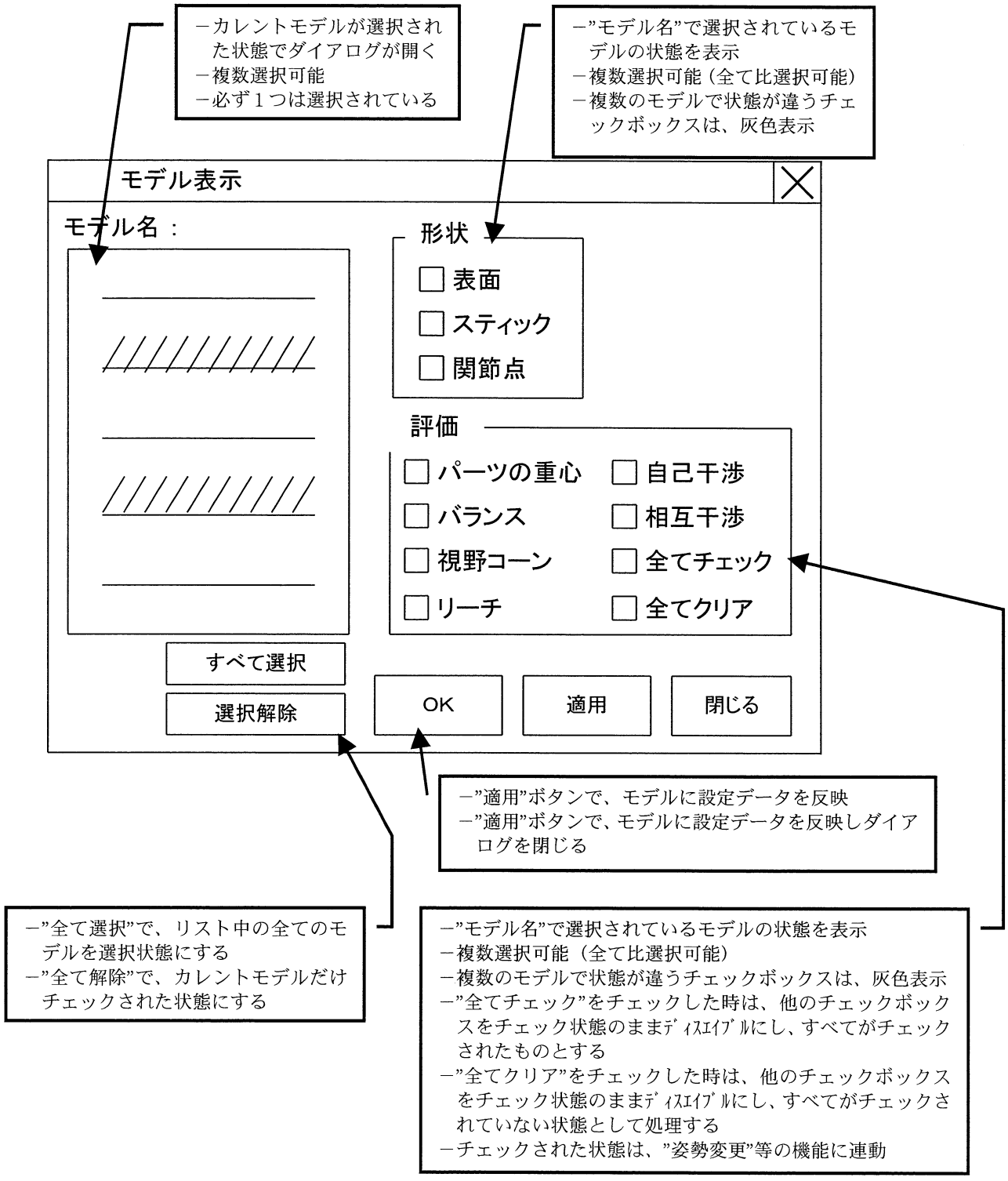
可動域タブ


－ラジオボタン（未選択なし）
－”腰”は選択できない(ﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ)
－初期表示状態は ”腹”
－部位名選択コンボボックスに連動
－”左右対称”がチェックされている場合は、左右対象部分も選択されていることを表示する必要あり
－初期表示状態は”腹”
－部位選択ボタンに連動
－”全ての部位”・”腰”は項目にはない
生成情報
表示
サイズ変更
制限角
質量
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
左上腕
腹
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
部位名:
部位名のList
可動域
前後
左右
ねじれ
通常
最大
最小
無理して曲げる
最大
最小
骨が折れる
最大
最小
左右対称
適用
もとに戻す
ファイル読込...
ファイル保存...
ファイル読込：
－全身の可動域データをファイルより読み込む
ファイル保存：
－全身の可動域データをファイルへ出力
角度表示部：
－選択されている部位の情報を表示
－部位名の変更に連動
－値の変更は可能
－”適用”を実行せずに選択部位が変更された場合は、変更された値は無効にする
（注意を促すダイアログが表示されれば非常に良い）
“適用”ボタン：
－設定されている情報に基づき可動域の変更実行
－可動域が何も変更されていない状態なら、ﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ
“もとに戻す”ボタン：
－ダイアログ表示状態/最後に適用が表示された値に戻す
“左右対称”チェックボックス：
－チェックされている時、選択されている部位に”左右対称”となる部位があれば、”部位選択ボタン”に対象部位を表示

質量タブ

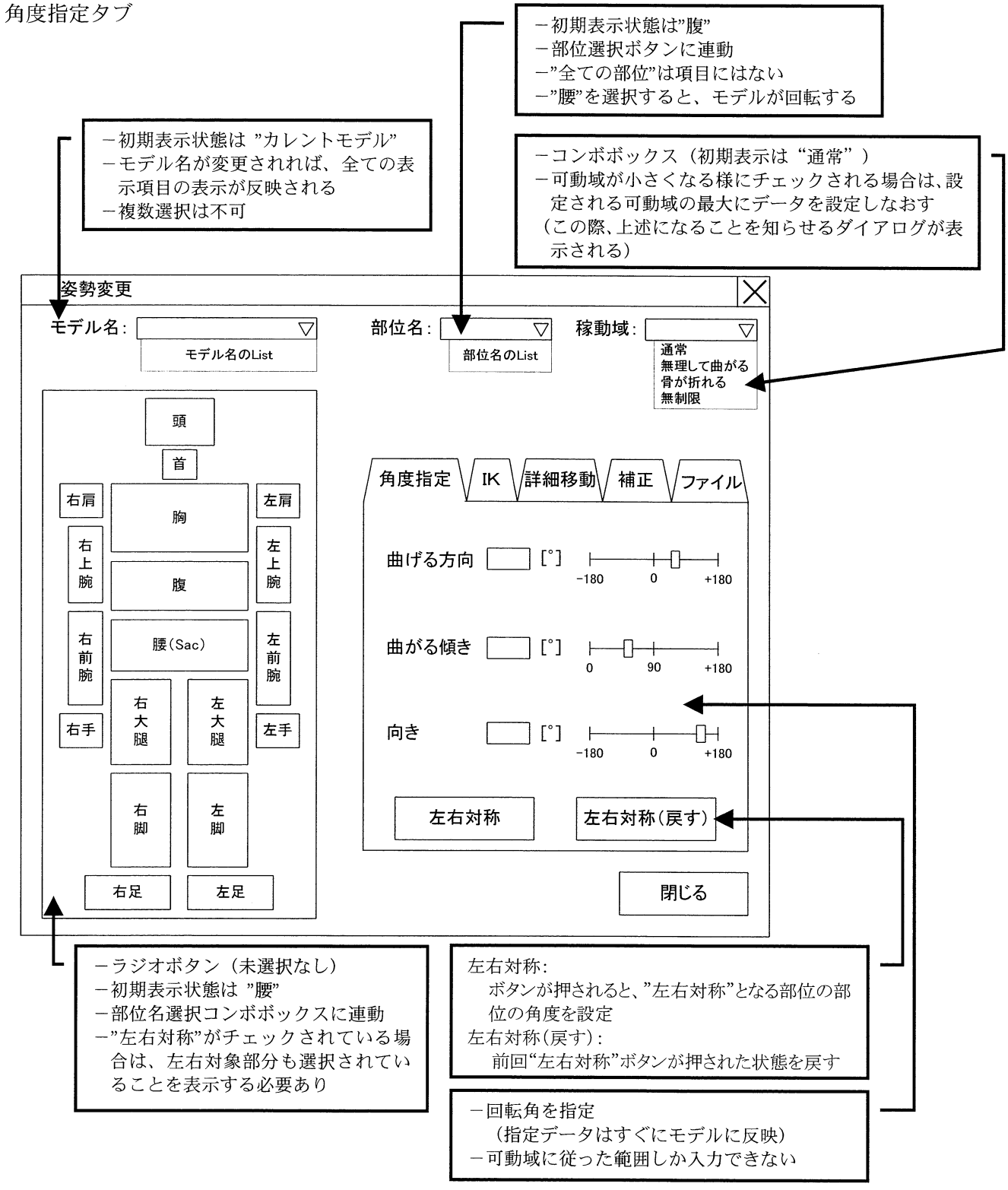

体重は変更可能
－変更結果は即時表示に反映
生成情報
表示
サイズ変更
制限角
質量
体重:
Kg
部位名
割合[%]
質量[kg]
各部位のデータ表示

１０．４　モデル表示

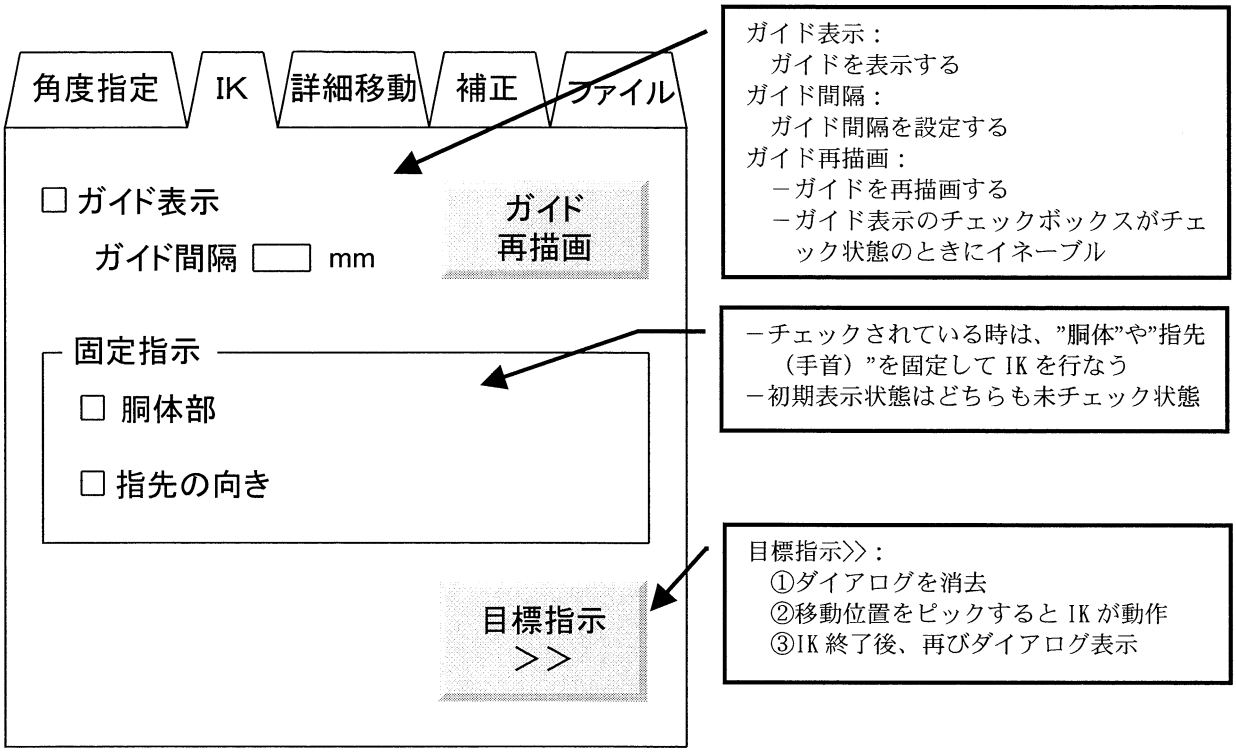

－カレントモデルが選択された状態でダイアログが開く
－複数選択可能
－必ず１つは選択されている
－”モデル名”で選択されているモデルの状態を表示
－複数選択可能（全て比選択可能）
－複数のモデルで状態が違うチェックボックスは、灰色表示
モデル表示
モデル名：
形状
表面
スティック
関節点
評価
パーツの重心
自己干渉
バランス
相互干渉
視野コーン
全てチェック
リーチ
全てクリア
すべて選択
選択解除
OK
適用
閉じる
－”適用”ボタンで、モデルに設定データを反映
－”適用”ボタンで、モデルに設定データを反映しダイアログを閉じる
－”全て選択”で、リスト中の全てのモデルを選択状態にする
－”全て解除”で、カレントモデルだけチェックされた状態にする
－”モデル名”で選択されているモデルの状態を表示
－複数選択可能（全て比選択可能）
－複数のモデルで状態が違うチェックボックスは、灰色表示
－”全てチェック”をチェックした時は、他のチェックボックスをチェック状態のままﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙにし、すべてがチェックされたものとする
－”全てクリア”をチェックした時は、他のチェックボックスをチェック状態のままﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙにし、すべてがチェックされていない状態として処理する
－チェックされた状態は、”姿勢変更”等の機能に連動

１０．５　姿勢変更

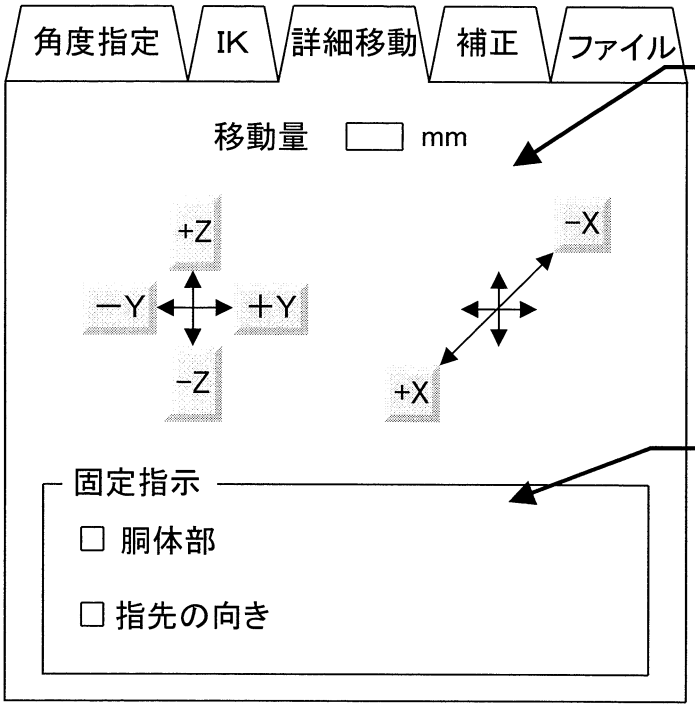
角度指定タブ



ＩＫタブ


角度指定
IK
詳細移動
補正
ファイル
☐ ガイド表示
ガイド間隔 ☐ mm
ガイド
再描画
固定指示
☐ 胴体部
☐ 指先の向き
目標指示
>>
ガイド表示：
ガイドを表示する
ガイド間隔：
ガイド間隔を設定する
ガイド再描画：
－ガイドを再描画する
－ガイド表示のチェックボックスがチェック状態のときにイネーブル
－チェックされている時は、”胴体”や”指先（手首）”を固定してIKを行なう
－初期表示状態はどちらも未チェック状態
目標指示>>：
①ダイアログを消去
②移動位置をピックするとIKが動作
③IK終了後、再びダイアログ表示

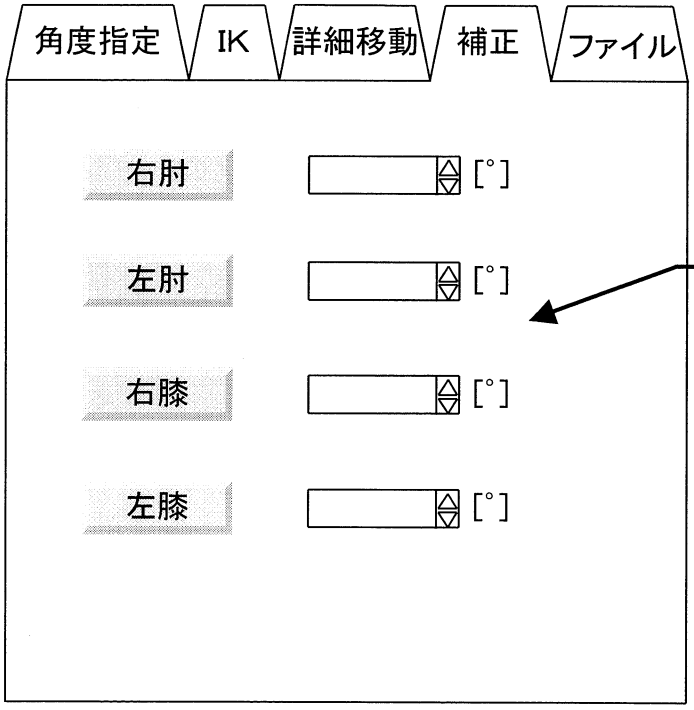
詳細移動



移動量：
　移動ボタンを押した時の移動量を設定
移動ボタン：
　押された方向にマネキンの姿勢を変更

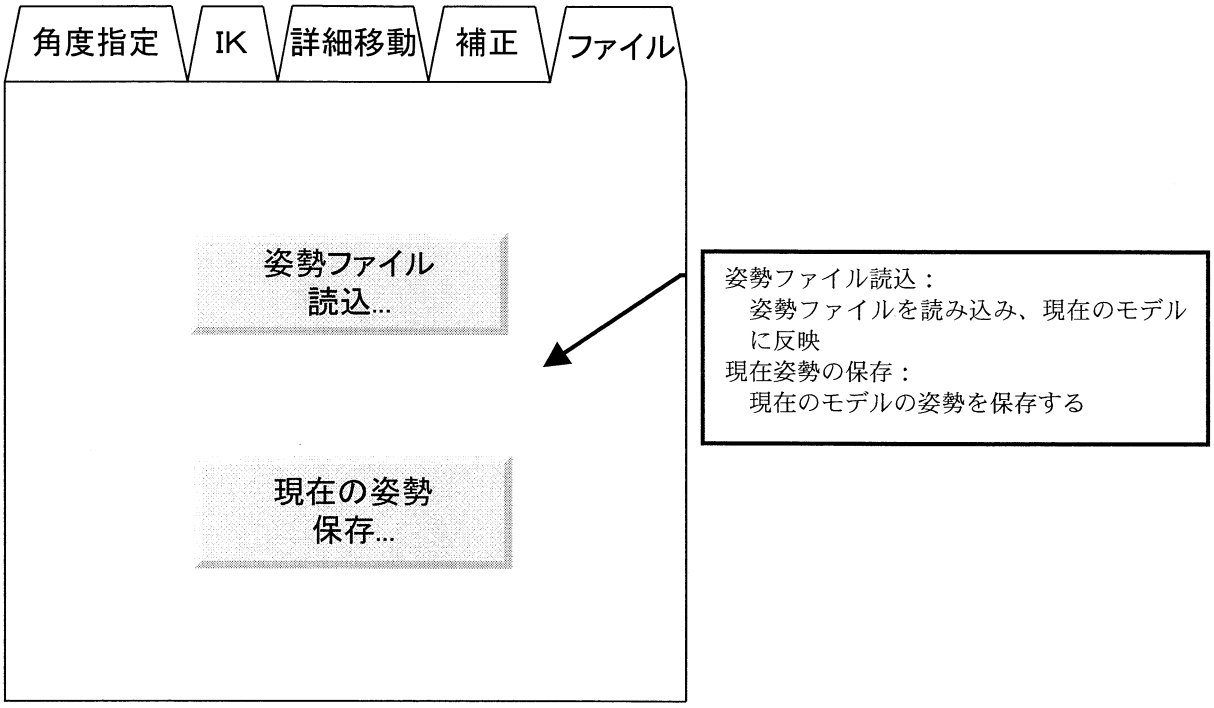
－チェックされている時は、”胴体”や”指先（手首）”を固定して IK を行なう
－初期表示状態はどちらも未チェック状態

補正タブ



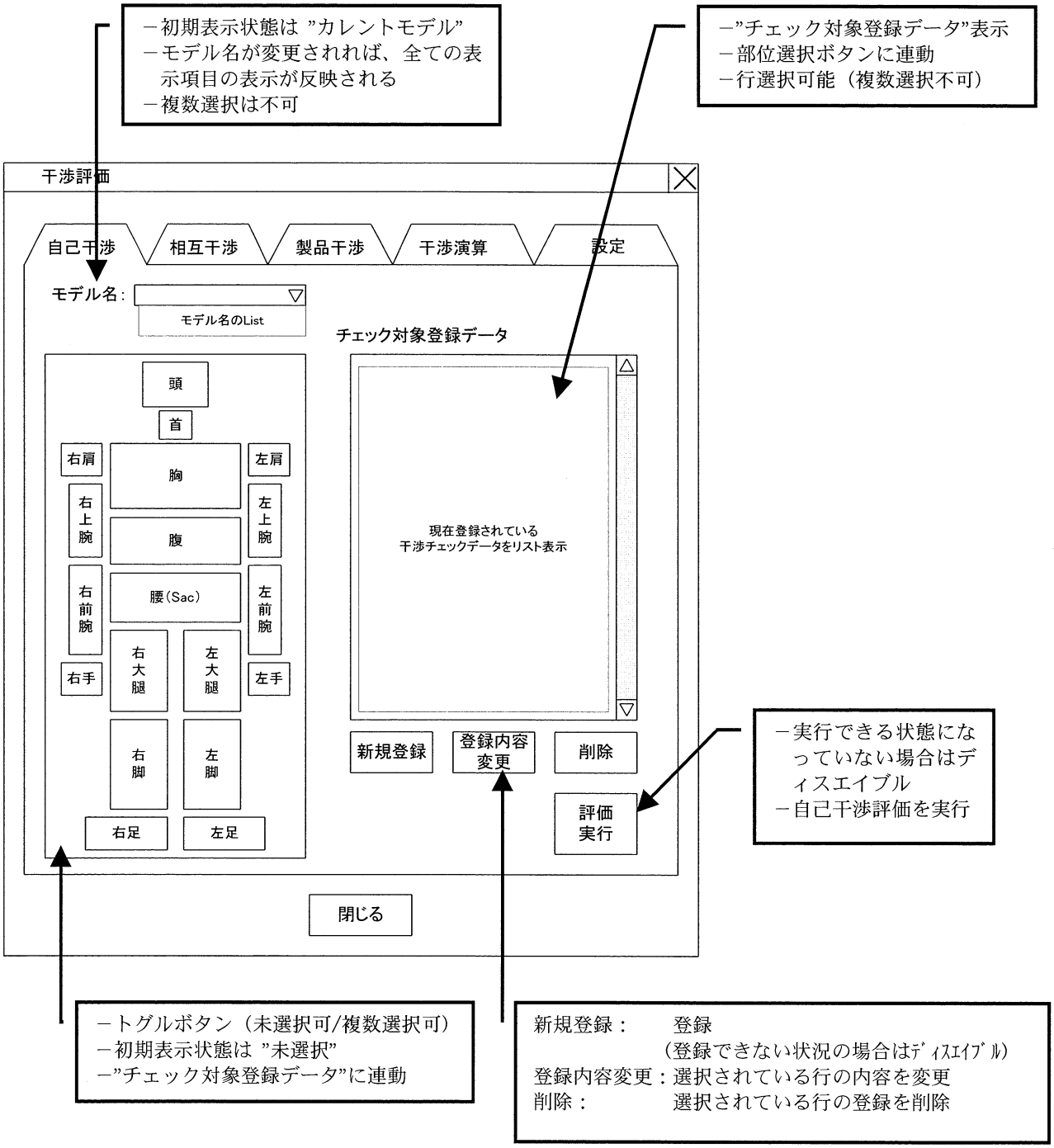
ボタン（右左肘、左右膝）：
　押された部分の角度を変更
移動量指定：
　ボタンを押した時の移動角度を設定

ファイルタブ

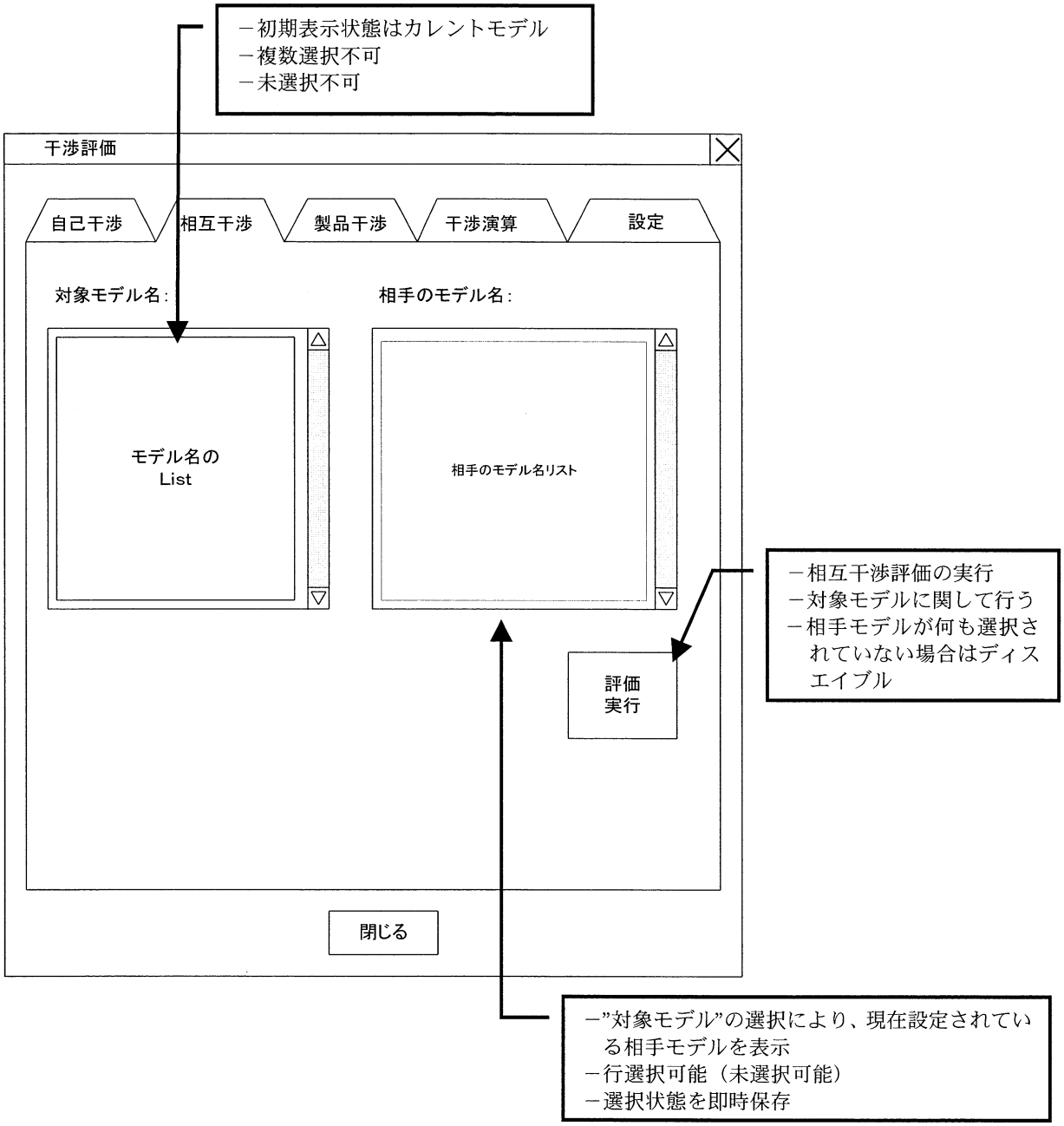

角度指定
IK
詳細移動
補正
ファイル
姿勢ファイル
読込...
現在の姿勢
保存...
姿勢ファイル読込：
姿勢ファイルを読み込み、現在のモデルに反映
現在姿勢の保存：
現在のモデルの姿勢を保存する

１０．６　干渉演算

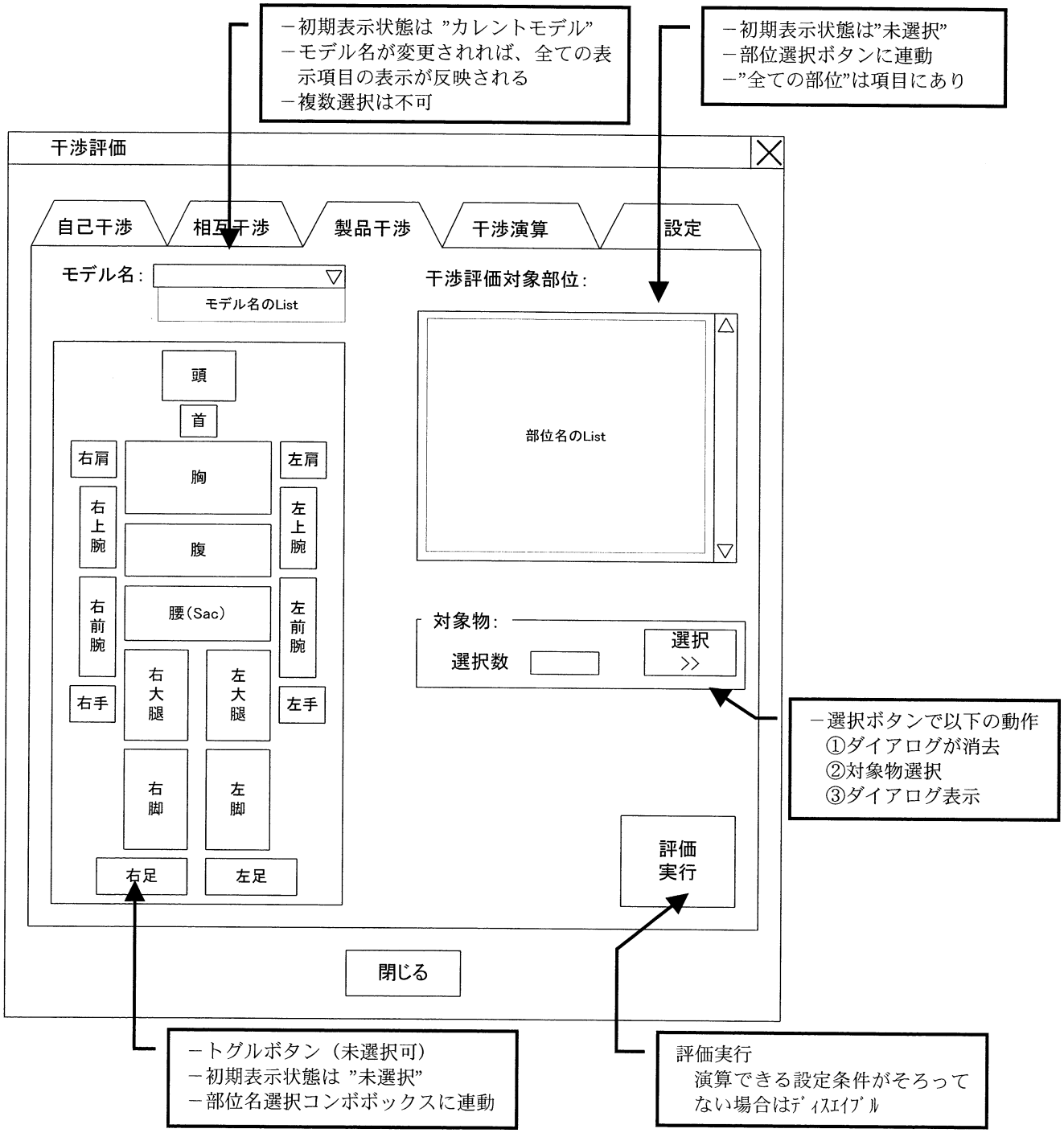
自己干渉タブ



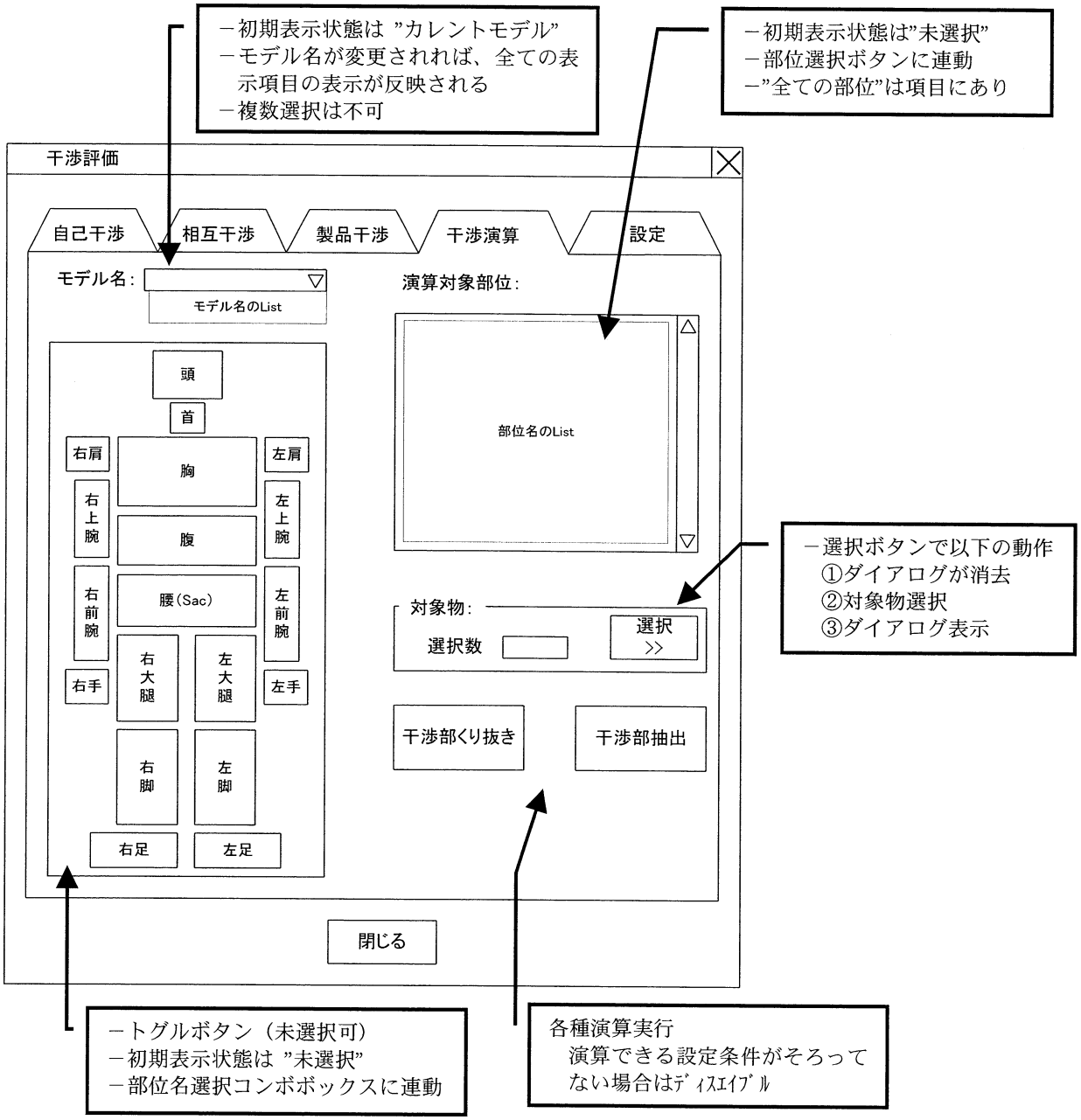
相互干渉タブ


－初期表示状態はカレントモデル
－複数選択不可
－未選択不可
干渉評価
自己干渉
相互干渉
製品干渉
干渉演算
設定
対象モデル名：
相手のモデル名：
モデル名の
List
相手のモデル名リスト
評価
実行
閉じる
－相互干渉評価の実行
－対象モデルに関して行う
－相手モデルが何も選択されていない場合はディスエイブル
－”対象モデル”の選択により、現在設定されている相手モデルを表示
－行選択可能（未選択可能）
－選択状態を即時保存

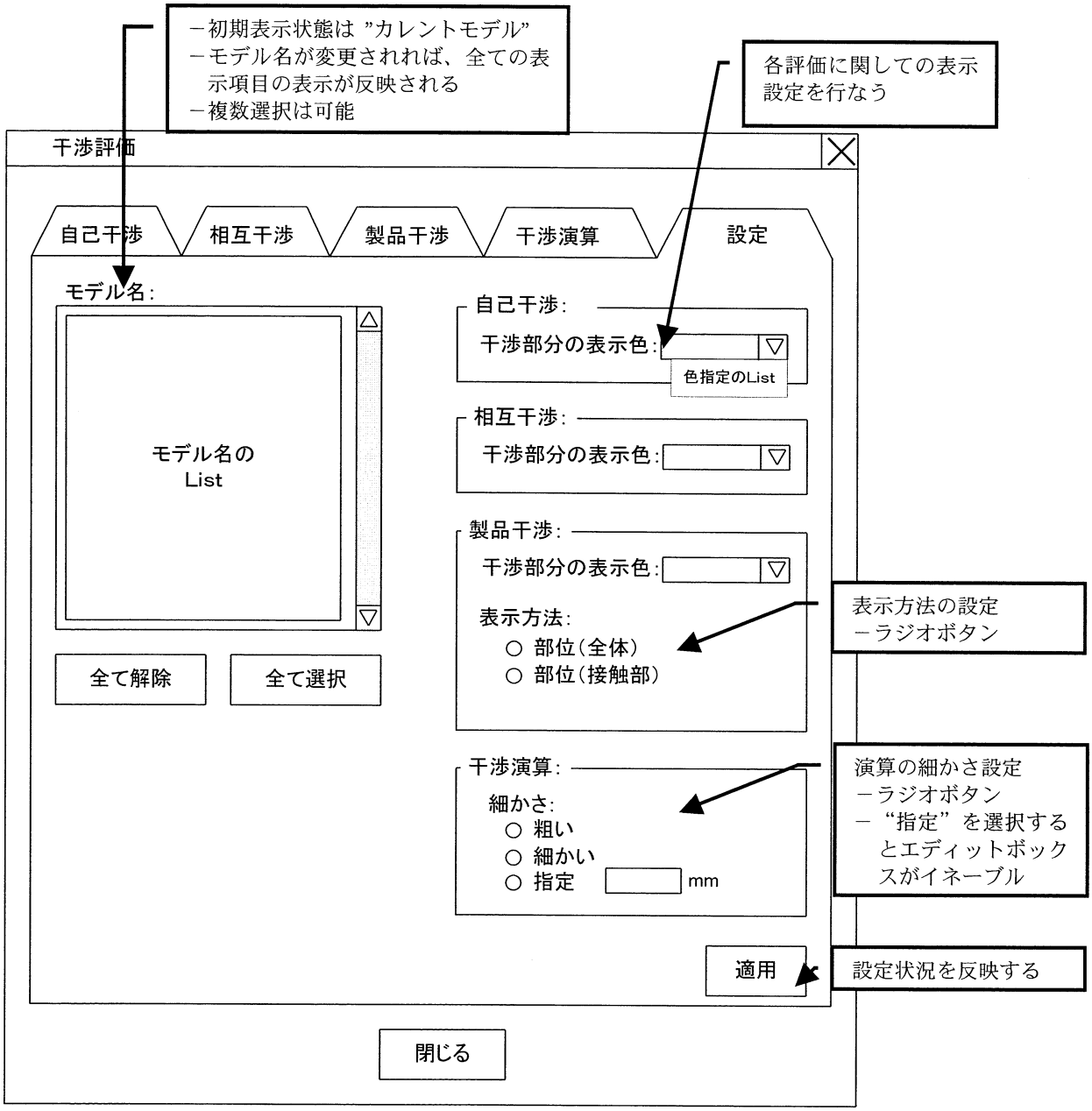
製品干渉


－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
－初期表示状態は”未選択”
－部位選択ボタンに連動
－”全ての部位”は項目にあり
干渉評価
自己干渉
相互干渉
製品干渉
干渉演算
設定
モデル名：
モデル名のList
干渉評価対象部位：
部位名のList
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
左上腕
腹
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
対象物：
選択数
選択
>>
－選択ボタンで以下の動作
①ダイアログが消去
②対象物選択
③ダイアログ表示
評価
実行
閉じる
－トグルボタン（未選択可）
－初期表示状態は ”未選択”
－部位名選択コンボボックスに連動
評価実行
演算できる設定条件がそろってない場合はﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ

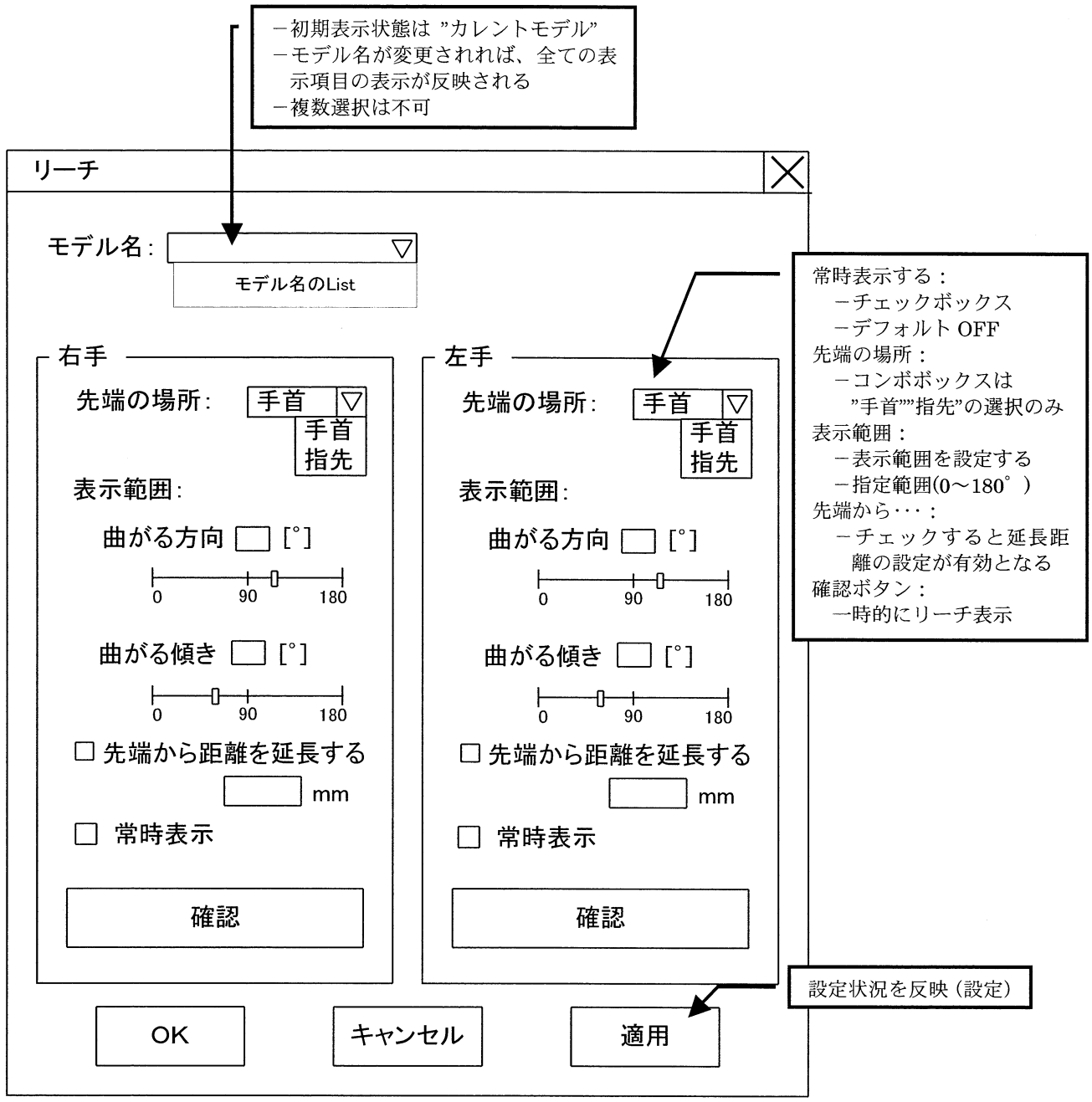
干渉演算タブ


－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
－初期表示状態は”未選択”
－部位選択ボタンに連動
－”全ての部位”は項目にあり
干渉評価
自己干渉
相互干渉
製品干渉
干渉演算
設定
モデル名:
モデル名のList
演算対象部位:
部位名のList
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
左上腕
腹
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
対象物:
選択数
選択 >>
干渉部くり抜き
干渉部抽出
閉じる
－選択ボタンで以下の動作
①ダイアログが消去
②対象物選択
③ダイアログ表示
－トグルボタン（未選択可）
－初期表示状態は ”未選択”
－部位名選択コンボボックスに連動
各種演算実行
演算できる設定条件がそろってない場合はﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ

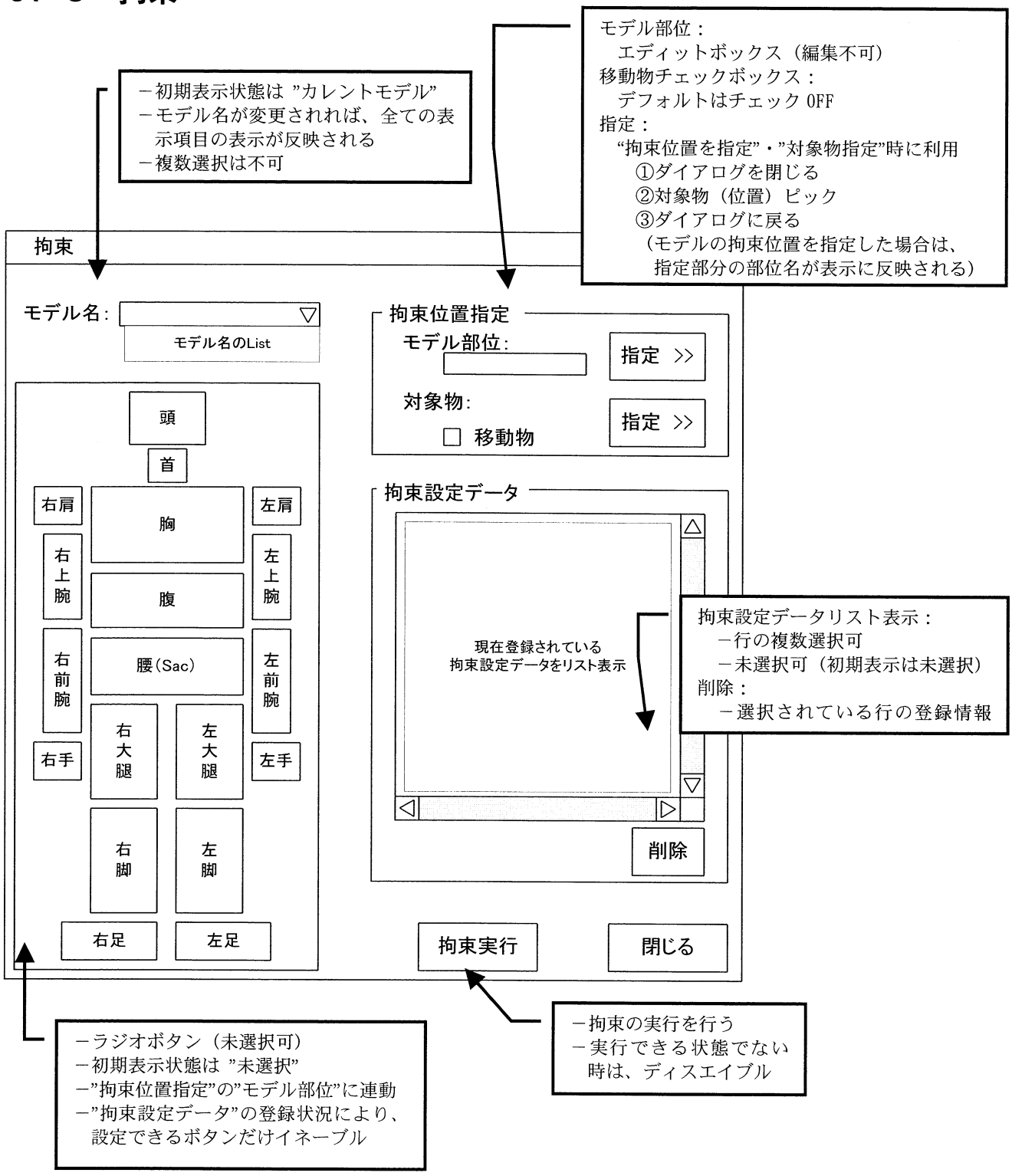
設定タブ


－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は可能
各評価に関しての表示設定を行なう
干渉評価
自己干渉
相互干渉
製品干渉
干渉演算
設定
モデル名:
モデル名の List
全て解除
全て選択
自己干渉:
干渉部分の表示色:
色指定のList
相互干渉:
干渉部分の表示色:
製品干渉:
干渉部分の表示色:
表示方法:
○ 部位(全体)
○ 部位(接触部)
表示方法の設定
－ラジオボタン
干渉演算:
細かさ:
○ 粗い
○ 細かい
○ 指定
mm
演算の細かさ設定
－ラジオボタン
－“指定”を選択するとエディットボックスがイネーブル
適用
設定状況を反映する
閉じる

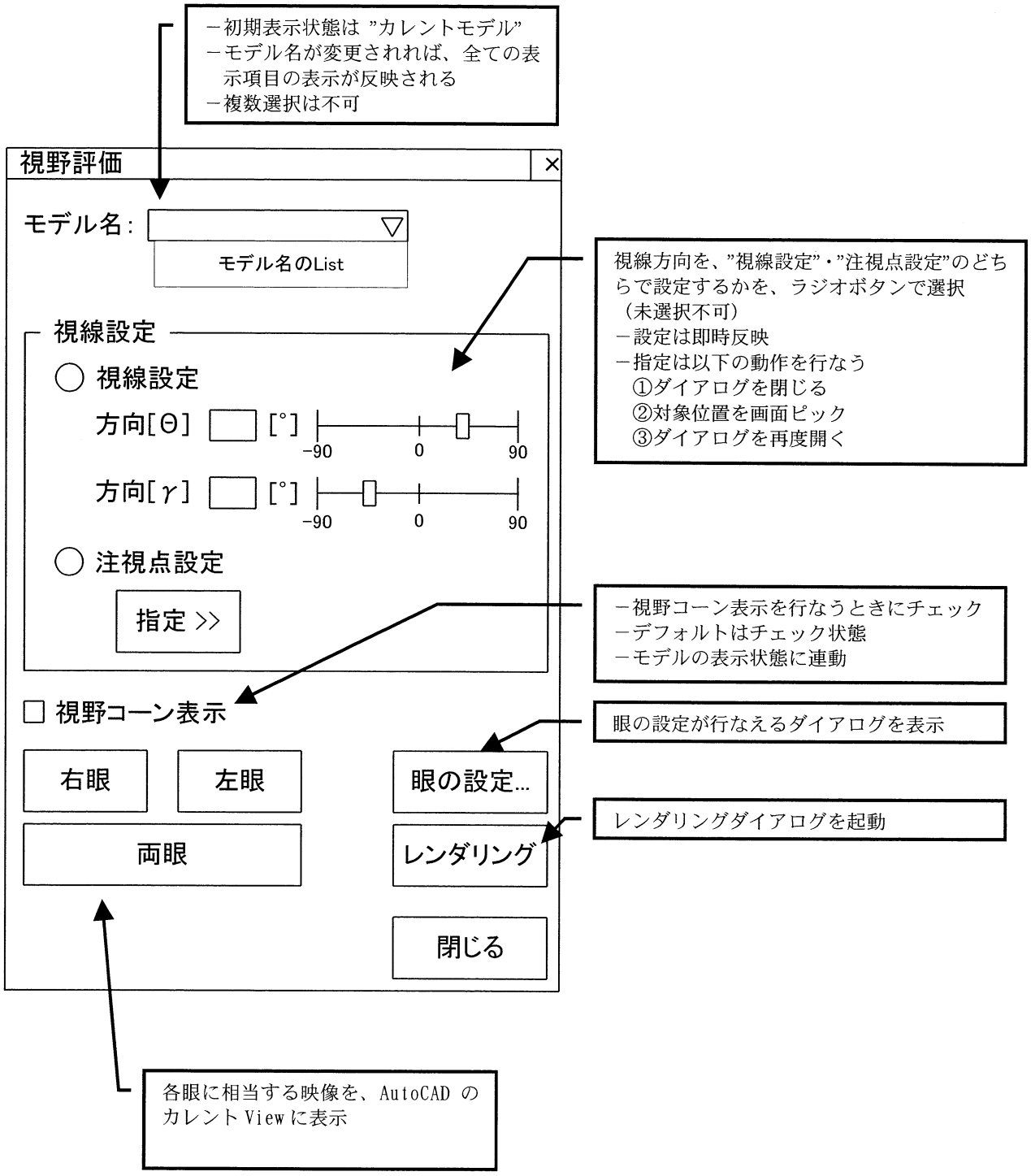
１０．７　リーチ

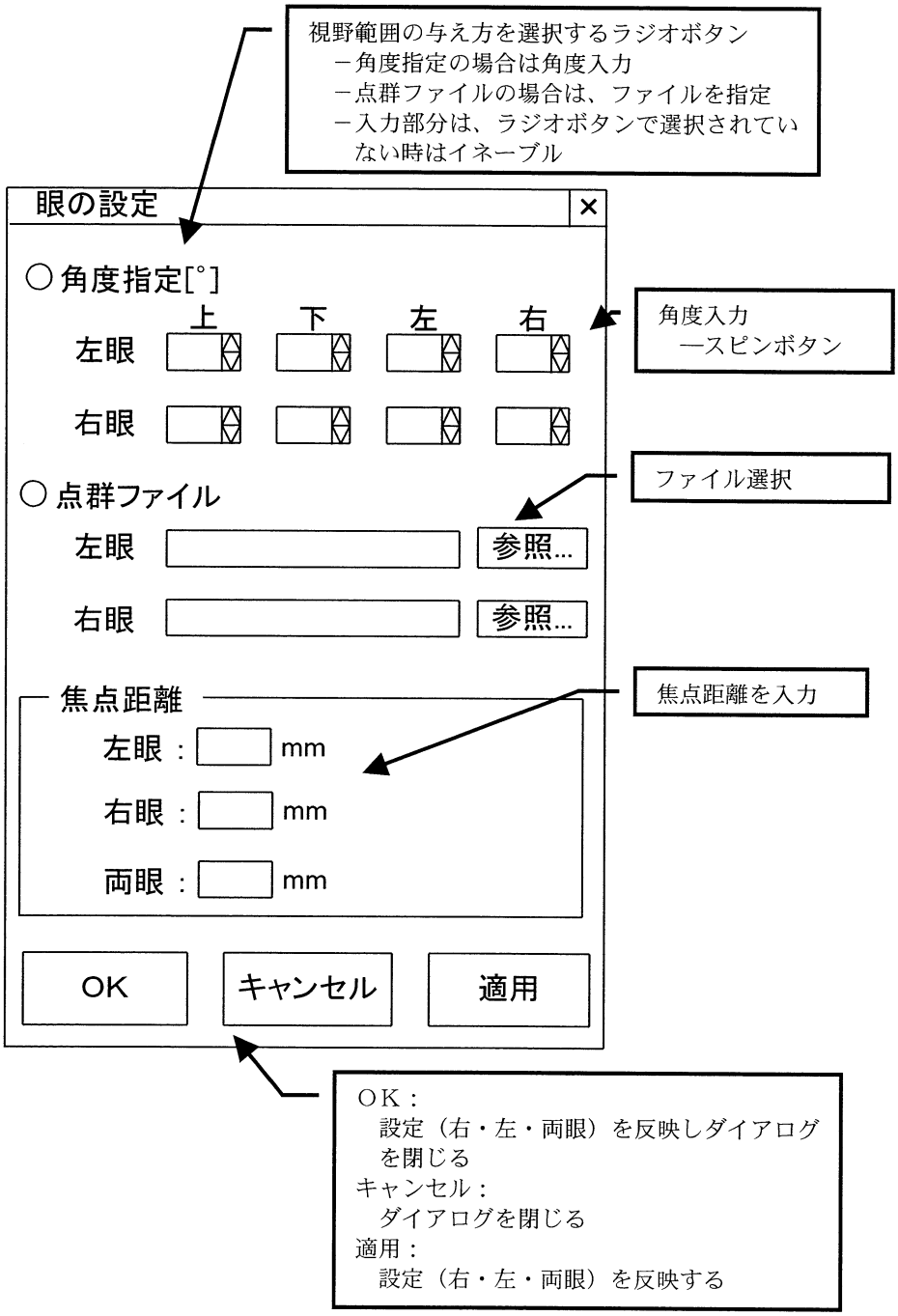

－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
リーチ
モデル名：
モデル名のList
右手
先端の場所：
手首
手首
指先
表示範囲：
曲がる方向 [°]
0
90
180
曲がる傾き [°]
0
90
180
先端から距離を延長する
mm
常時表示
確認
左手
先端の場所：
手首
手首
指先
表示範囲：
曲がる方向 [°]
0
90
180
曲がる傾き [°]
0
90
180
先端から距離を延長する
mm
常時表示
確認
常時表示する：
－チェックボックス
－デフォルト OFF
先端の場所：
－コンボボックスは
”手首””指先”の選択のみ
表示範囲：
－表示範囲を設定する
－指定範囲(0～180°)
先端から･･･：
－チェックすると延長距離の設定が有効となる
確認ボタン：
一時的にリーチ表示
設定状況を反映（設定）
OK
キャンセル
適用

１０．８　拘束

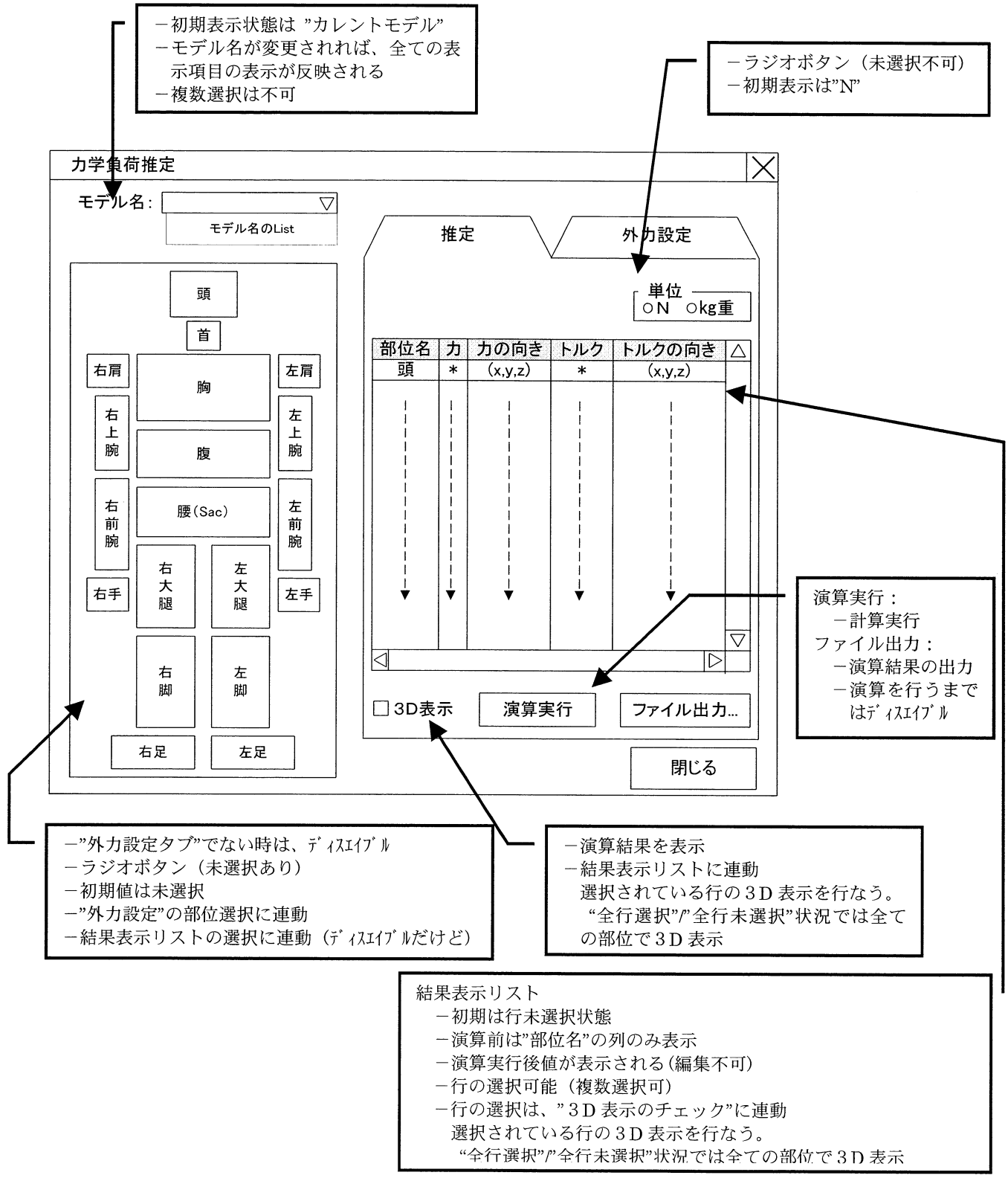

モデル部位：
エディットボックス（編集不可）
移動物チェックボックス：
デフォルトはチェック OFF
指定：
“拘束位置を指定”・”対象物指定”時に利用
①ダイアログを閉じる
②対象物（位置）ピック
③ダイアログに戻る
（モデルの拘束位置を指定した場合は、
指定部分の部位名が表示に反映される）
－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表
示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
拘束
モデル名:
モデル名のList
拘束位置指定
モデル部位:
指定 >>
対象物:
移動物
指定 >>
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
腹
左上腕
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
拘束設定データ
現在登録されている
拘束設定データをリスト表示
削除
拘束設定データリスト表示：
－行の複数選択可
－未選択可（初期表示は未選択）
削除：
－選択されている行の登録情報
拘束実行
閉じる
－ラジオボタン（未選択可）
－初期表示状態は ”未選択”
－”拘束位置指定”の”モデル部位”に連動
－”拘束設定データ”の登録状況により、
設定できるボタンだけイネーブル
－拘束の実行を行う
－実行できる状態でない
時は、ディスエイブル

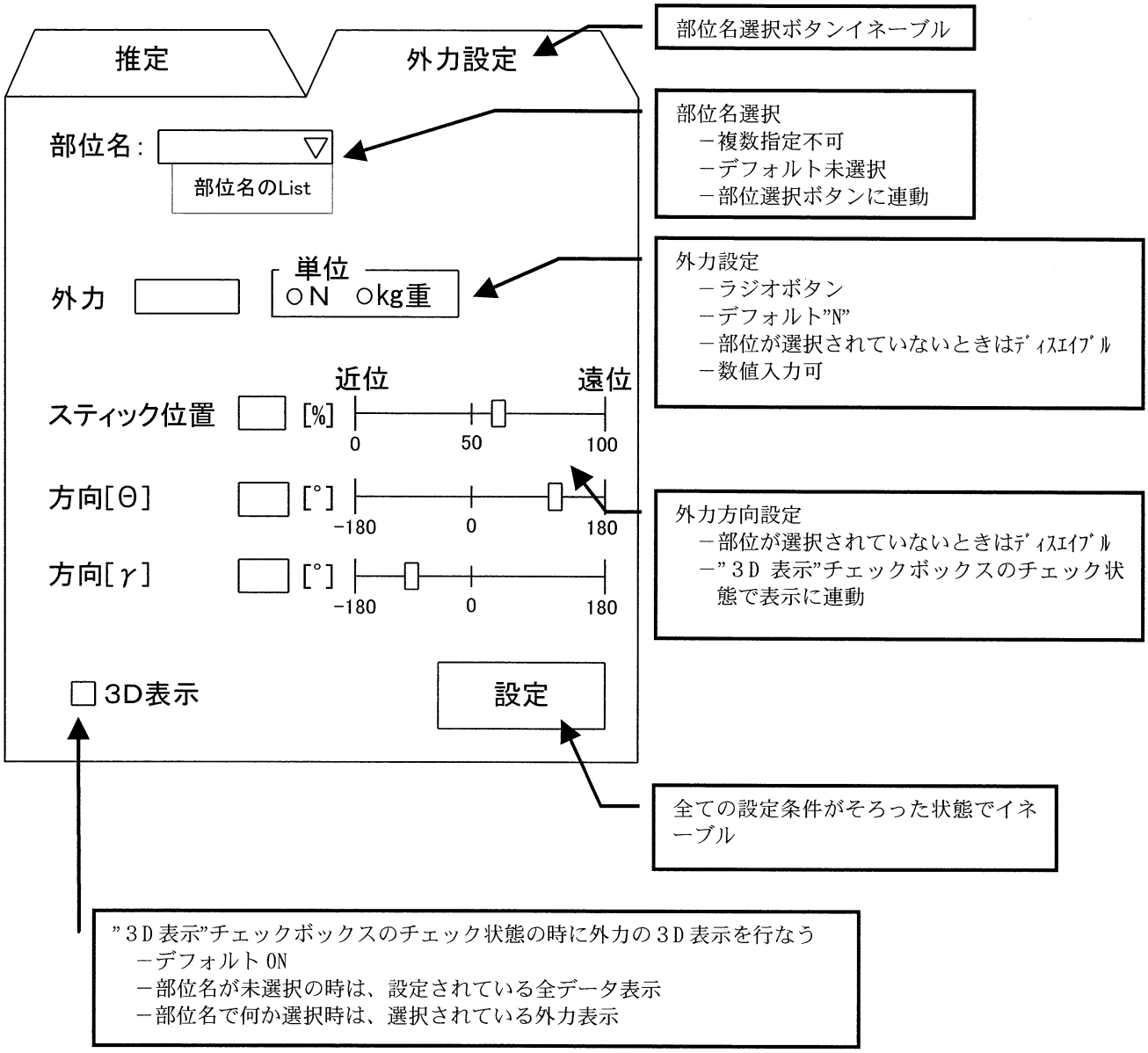
１０．９　視野


－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
視野評価
モデル名：
モデル名のList
視線設定
視線設定
方向[Θ]
[°]
-90
0
90
方向[γ]
[°]
-90
0
90
注視点設定
指定 >>
視線方向を、”視線設定”・”注視点設定”のどちらで設定するかを、ラジオボタンで選択（未選択不可）
－設定は即時反映
－指定は以下の動作を行なう
①ダイアログを閉じる
②対象位置を画面ピック
③ダイアログを再度開く
－視野コーン表示を行なうときにチェック
－デフォルトはチェック状態
－モデルの表示状態に連動
視野コーン表示
眼の設定が行なえるダイアログを表示
右眼
左眼
眼の設定...
両眼
レンダリング
レンダリングダイアログを起動
閉じる
各眼に相当する映像を、AutoCAD のカレント View に表示

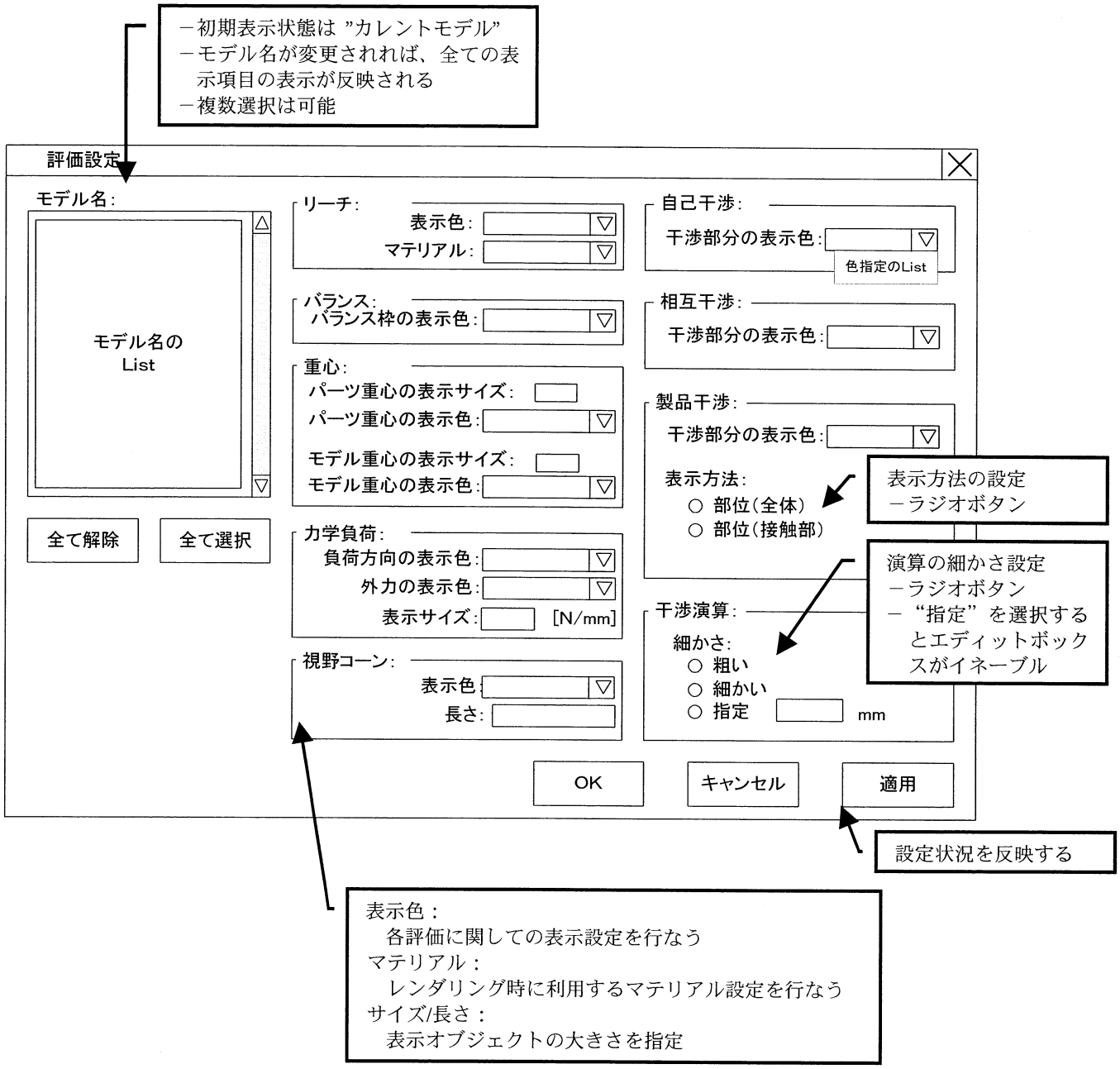

視野範囲の与え方を選択するラジオボタン
－角度指定の場合は角度入力
－点群ファイルの場合は、ファイルを指定
－入力部分は、ラジオボタンで選択されていない時はイネーブル
眼の設定
○角度指定[°]
上
下
左
右
左眼
右眼
角度入力
—スピンボタン
○点群ファイル
左眼
参照...
右眼
参照...
ファイル選択
焦点距離
左眼 :
mm
右眼 :
mm
両眼 :
mm
焦点距離を入力
OK
キャンセル
適用
OK：
設定（右・左・両眼）を反映しダイアログを閉じる
キャンセル：
ダイアログを閉じる
適用：
設定（右・左・両眼）を反映する

１０．１０　力学負荷推定


－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
－ラジオボタン（未選択不可）
－初期表示は”N”
力学負荷推定
モデル名：
モデル名のList
推定
外力設定
単位
○N　○kg重
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
左上腕
腹
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
部位名
力
力の向き
トルク
トルクの向き
頭
＊
(x,y,z)
＊
(x,y,z)
□3D表示
演算実行
ファイル出力...
閉じる
演算実行：
－計算実行
ファイル出力：
－演算結果の出力
－演算を行うまではﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ
－”外力設定タブ”でない時は、ﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ
－ラジオボタン（未選択あり）
－初期値は未選択
－”外力設定”の部位選択に連動
－結果表示リストの選択に連動（ﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙだけど）
－演算結果を表示
－結果表示リストに連動
選択されている行の３Ｄ表示を行なう。
“全行選択”/”全行未選択”状況では全ての部位で３Ｄ表示
結果表示リスト
－初期は行未選択状態
－演算前は”部位名”の列のみ表示
－演算実行後値が表示される(編集不可)
－行の選択可能（複数選択可）
－行の選択は、”３Ｄ表示のチェック”に連動
選択されている行の３Ｄ表示を行なう。
“全行選択”/”全行未選択”状況では全ての部位で３Ｄ表示

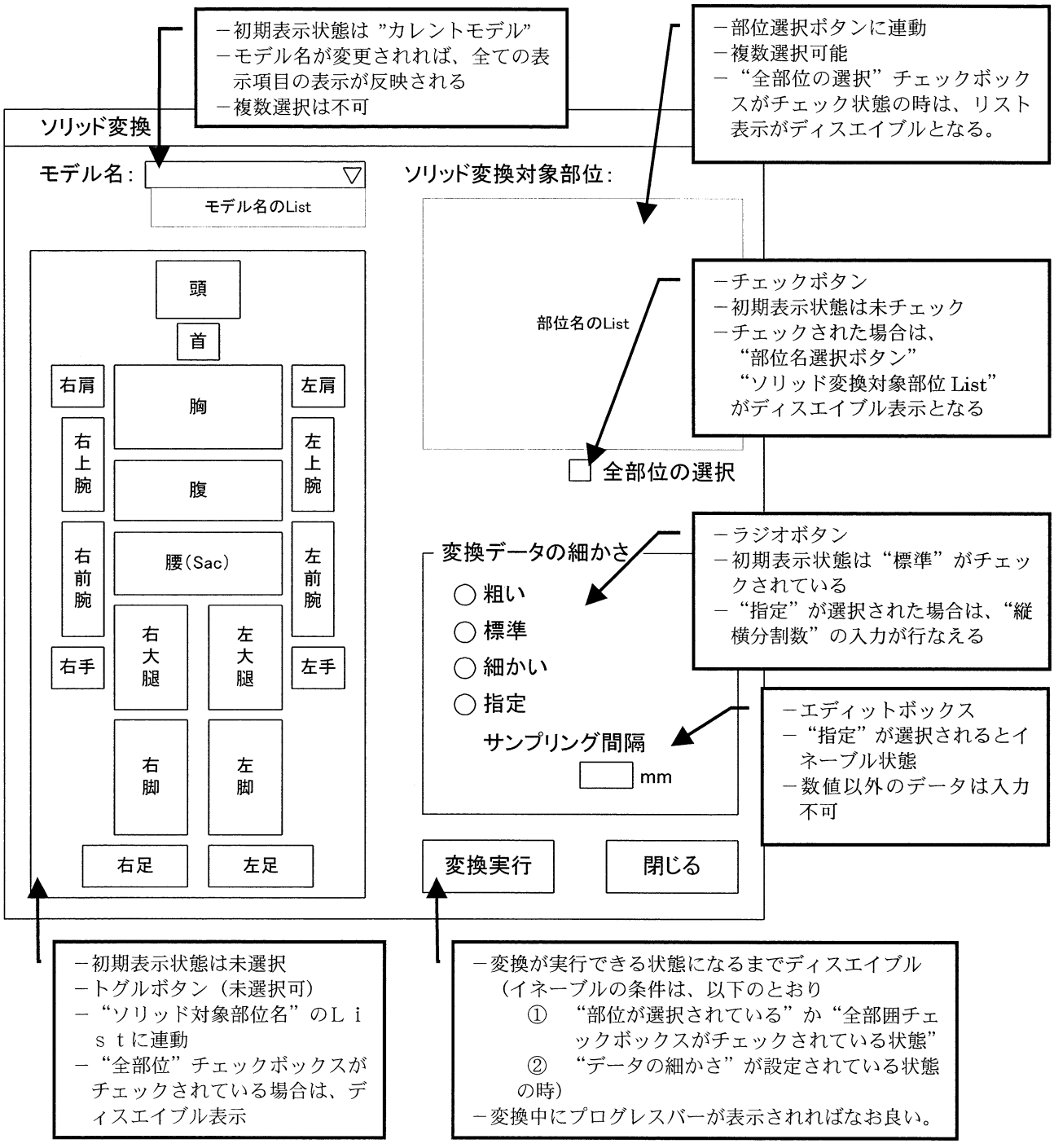

推定
外力設定
部位名選択ボタンイネーブル
部位名:
部位名のList
部位名選択
－複数指定不可
－デフォルト未選択
－部位選択ボタンに連動
外力
単位
○N ○kg重
外力設定
－ラジオボタン
－デフォルト"N"
－部位が選択されていないときはﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ
－数値入力可
近位
遠位
スティック位置
[%]
0
50
100
方向[Θ]
[°]
-180
0
180
外力方向設定
－部位が選択されていないときはﾃﾞｨｽｴｲﾌﾞﾙ
－"3D 表示"チェックボックスのチェック状態で表示に連動
方向[γ]
[°]
-180
0
180
□3D表示
設定
全ての設定条件がそろった状態でイネーブル
"3D表示"チェックボックスのチェック状態の時に外力の3D表示を行なう
－デフォルトON
－部位名が未選択の時は、設定されている全データ表示
－部位名で何か選択時は、選択されている外力表示

１０．１１　評価設定

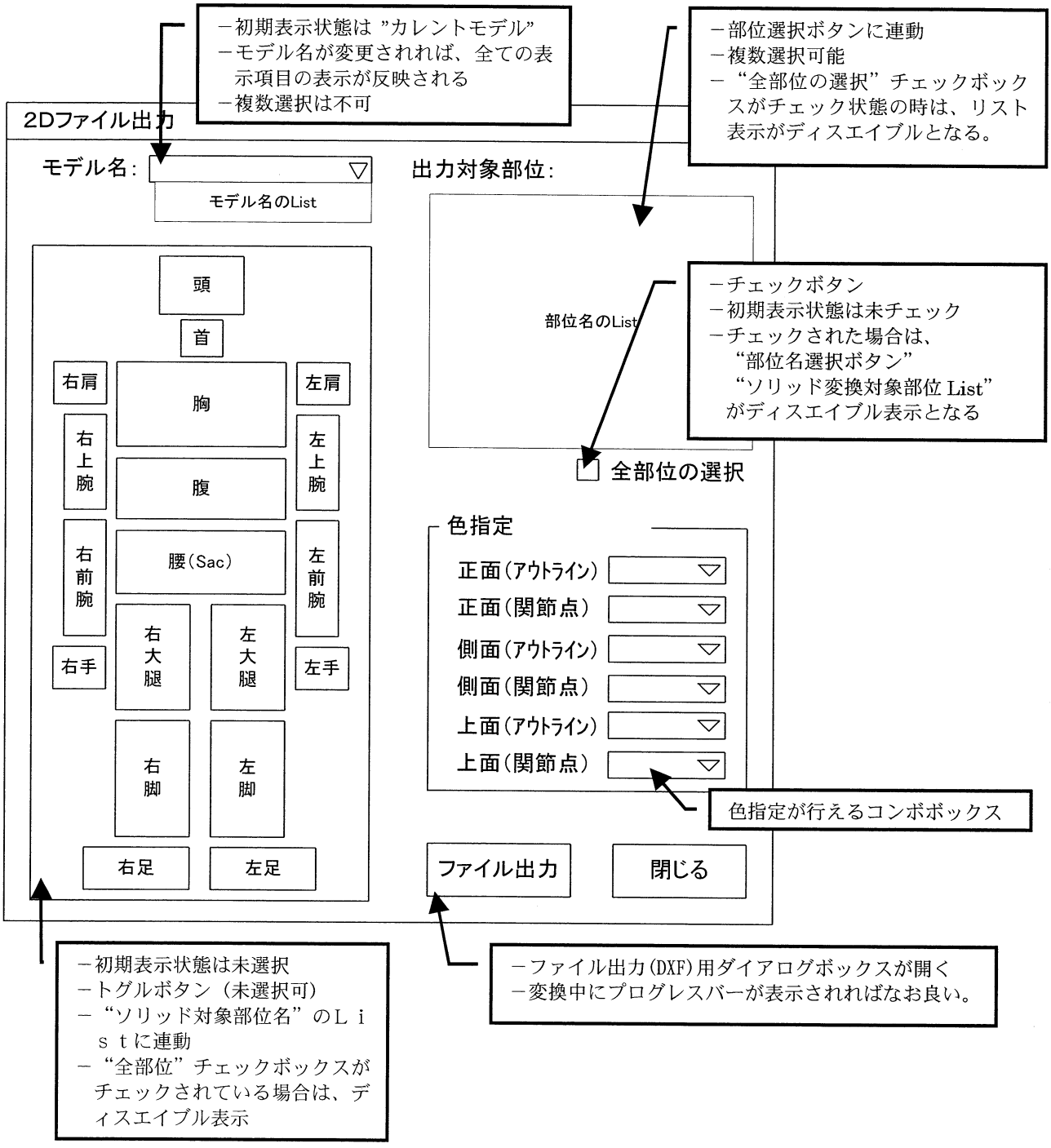

－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は可能
評価設定
モデル名:
モデル名の List
全て解除
全て選択
リーチ:
表示色:
マテリアル:
バランス:
バランス枠の表示色:
重心:
パーツ重心の表示サイズ:
パーツ重心の表示色:
モデル重心の表示サイズ:
モデル重心の表示色:
力学負荷:
負荷方向の表示色:
外力の表示色:
表示サイズ: [N/mm]
視野コーン:
表示色:
長さ:
自己干渉:
干渉部分の表示色:
色指定のList
相互干渉:
干渉部分の表示色:
製品干渉:
干渉部分の表示色:
表示方法:
○ 部位(全体)
○ 部位(接触部)
干渉演算:
細かさ:
○ 粗い
○ 細かい
○ 指定 mm
OK
キャンセル
適用
表示方法の設定
－ラジオボタン
演算の細かさ設定
－ラジオボタン
－“指定”を選択するとエディットボックスがイネーブル
設定状況を反映する
表示色：
各評価に関しての表示設定を行なう
マテリアル：
レンダリング時に利用するマテリアル設定を行なう
サイズ/長さ：
表示オブジェクトの大きさを指定

１０．１２　出力

ソリッド変換



２Ｄファイル出力


－初期表示状態は ”カレントモデル”
－モデル名が変更されれば、全ての表示項目の表示が反映される
－複数選択は不可
－部位選択ボタンに連動
－複数選択可能
－“全部位の選択”チェックボックスがチェック状態の時は、リスト表示がディスエイブルとなる。
2Dファイル出力
モデル名:
モデル名のList
出力対象部位:
部位名のList
－チェックボタン
－初期表示状態は未チェック
－チェックされた場合は、
“部位名選択ボタン”
“ソリッド変換対象部位 List”
がディスエイブル表示となる
全部位の選択
色指定
正面(ｱｳﾄﾗｲﾝ)
正面(関節点)
側面(ｱｳﾄﾗｲﾝ)
側面(関節点)
上面(ｱｳﾄﾗｲﾝ)
上面(関節点)
色指定が行えるコンボボックス
頭
首
右肩
胸
左肩
右上腕
腹
左上腕
右前腕
腰(Sac)
左前腕
右手
右大腿
左大腿
左手
右脚
左脚
右足
左足
ファイル出力
閉じる
－初期表示状態は未選択
－トグルボタン（未選択可）
－“ソリッド対象部位名”のＬｉｓｔに連動
－“全部位”チェックボックスがチェックされている場合は、ディスエイブル表示
－ファイル出力(DXF)用ダイアログボックスが開く
－変換中にプログレスバーが表示されればなお良い。

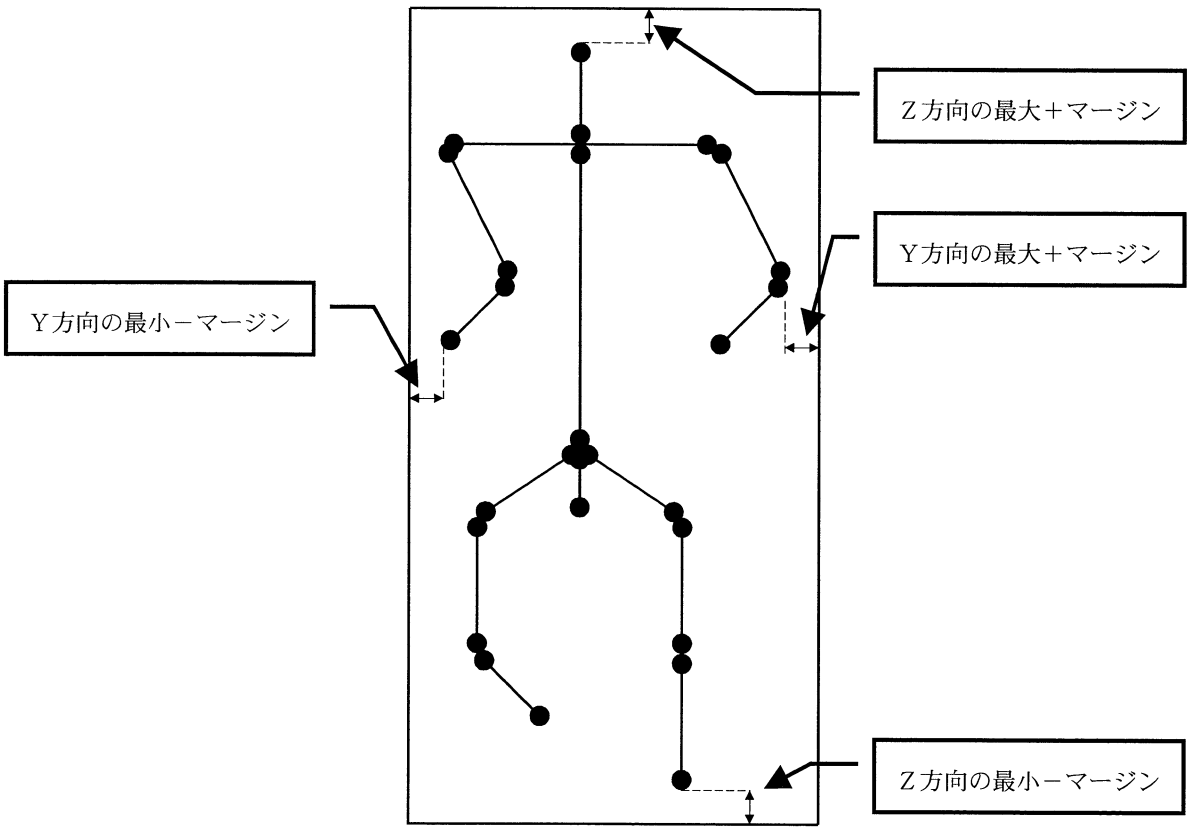
１１．その他

１１．１　カレントモデル表示ＢＯＸに関して

本システムでは、カレントモデルを AutoCAD 画面表示上で認識しやすくするために、現在カレントモデルとなっているモデルを、直方体で囲まれているように表現する機能を有する。
この、直方体を本システムでは“カレントモデル表示ＢＯＸ”と呼ぶ。

カレントモデル表示ＢＯＸは、以下のルールで作成される。

① モデルの主要関節点より、ＸＹＺ方向の最大・最小値を求める
② ＸＹＺ方向の各最大値に、適切な値（マージン）を加算する
③ ＸＹＺ方向の各最小値に、適切な値（マージン）を減算する
④ ②および③で求まった値より、カレントモデル表示ＢＯＸを生成表示する



※　X方向についても同様

１１．２　寸法推定方法

任意の身長・ウエスト囲体型の６６項目を推定する手法を下記に示す。

推定ステップ１：

入力項目

入力項目：任意の身長値、ウエスト囲値

引用数値：９体型の６６項目の寸法値（統計値）

（単位：mm）

表１Type とパーセンタイル値の関係

type	[高—太]	[高—標]	[高—細]	[標—太]	[標準]	[標—細]	[低—太]	[低—標]	[低—細]
身長%ile	91-99	91-99	91-99	40-60	40-60	40-60	1-9	1-9	1-9
ウエスト囲%ile	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9	91-99	40-60	1-9

推定ステップ２：

６６項目を身長（高さ方向）に起因する部位とウエスト囲（幅方向）に起因する部位とに分ける。

・身長に起因する部位

全頭高,頭頂・瞳孔高,頭頂・口裂高,顔高, 眼・オトガイ高, 頭長,身長,眼高,
肩峰高,座高,座位頸椎高,座位肩峰高,座位眼高,座位肘頭下縁高,
座位大腿中央高,座面高,座位臀・膝距離,座位臀・膝窩距離,上肢挙上指尖高,
橈骨点高,肘頭下縁高,指尖高,上肢長,上腕長,前腕長,肩峰・肘頭下縁距離,
背・指尖距離,肘・指尖距離,手長,手掌長,第２指長,腸骨棘高,股下高,
脛骨上縁高,下腿最小囲高,外果端高,足長

・ウエスト囲に起因する部位

体重,頭幅,瞳孔間距離,頭矢状弧長,耳珠間頭頂弧長,頭囲,頸囲,肩峰幅,肩幅,肘間幅,胸部横径,ウエスト幅,ヒップ幅,胸部矢状径,胸部前後最大距離,
乳頭位胸囲,ウエスト囲,座位大腿厚,座位臀幅,座位腹部厚径（前腕水平）,
背・肩峰距離,前腕最大囲,手幅,手首囲,第２指近位関節幅,第２指遠位関節幅,大腿囲,
下腿最大囲,足幅（足軸直交）

推定ステップ３：

任意の身長・ウエスト囲の体型が、次図で定義した図より体型区分を決定する。

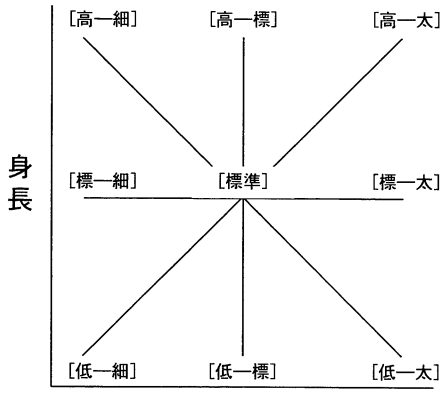


図　任意体型の基準図

推定ステップ４：

下記図より高さ方向と幅方向に起因する部位の９体型値にかける比率を算出する。

例：ウエスト幅にかける幅方向の比率計算

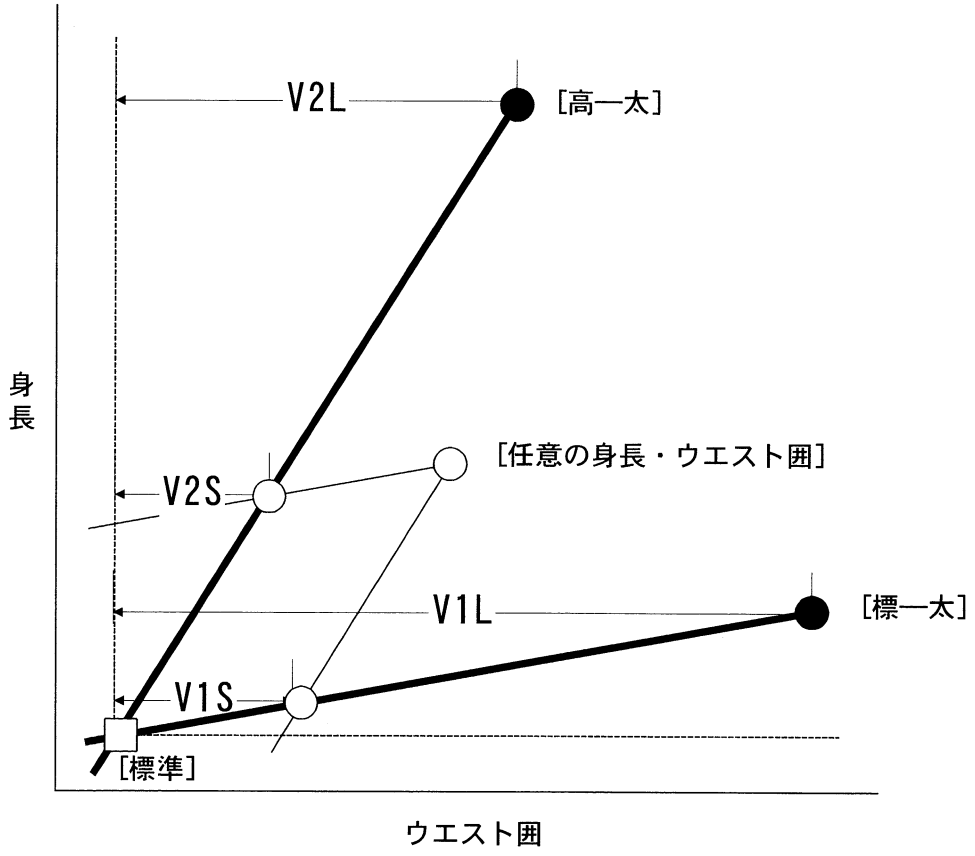


図　　比率値算出概念図

[高一太]のウエスト幅値に対して（V2S／V2L）をかける。――――――①

[標一太]のウエスト幅値に対して（V1S／V1L）をかける。――――――②

①と②をたし合わせて[任意の身長・ウエスト囲]体型のウエスト幅とする。

資料 2

コンピュータ・マネキン　～　動態モデルシステム

操作説明書（概要版）

目　次

1. 起動と終了 277

2. シミュレーション実施のあらすじ 278

3. SilTools 基本機能について 279

4. 人間モデル作成・編集 283

5. 製品・環境モデル作成・編集 291

6. 動作機構オブジェクト読込・設定 295

7. キーフレーム作成・編集 303

8. 評価グラフ表示 312

9. モーションキャプチャデータの再生 315

10. 負荷評価 317

11. 実行型オブジェクトによるシミュレーション実行 321

12. 動作データベースシステム 323

＜付録＞人間モデル関節ローカル座標系図

1. 起動と終了

デスクトップ上のアイコン「human」をダブルクリックすることにより、動態モデルシミュレータが起動し、図 1の画面が表示されます。

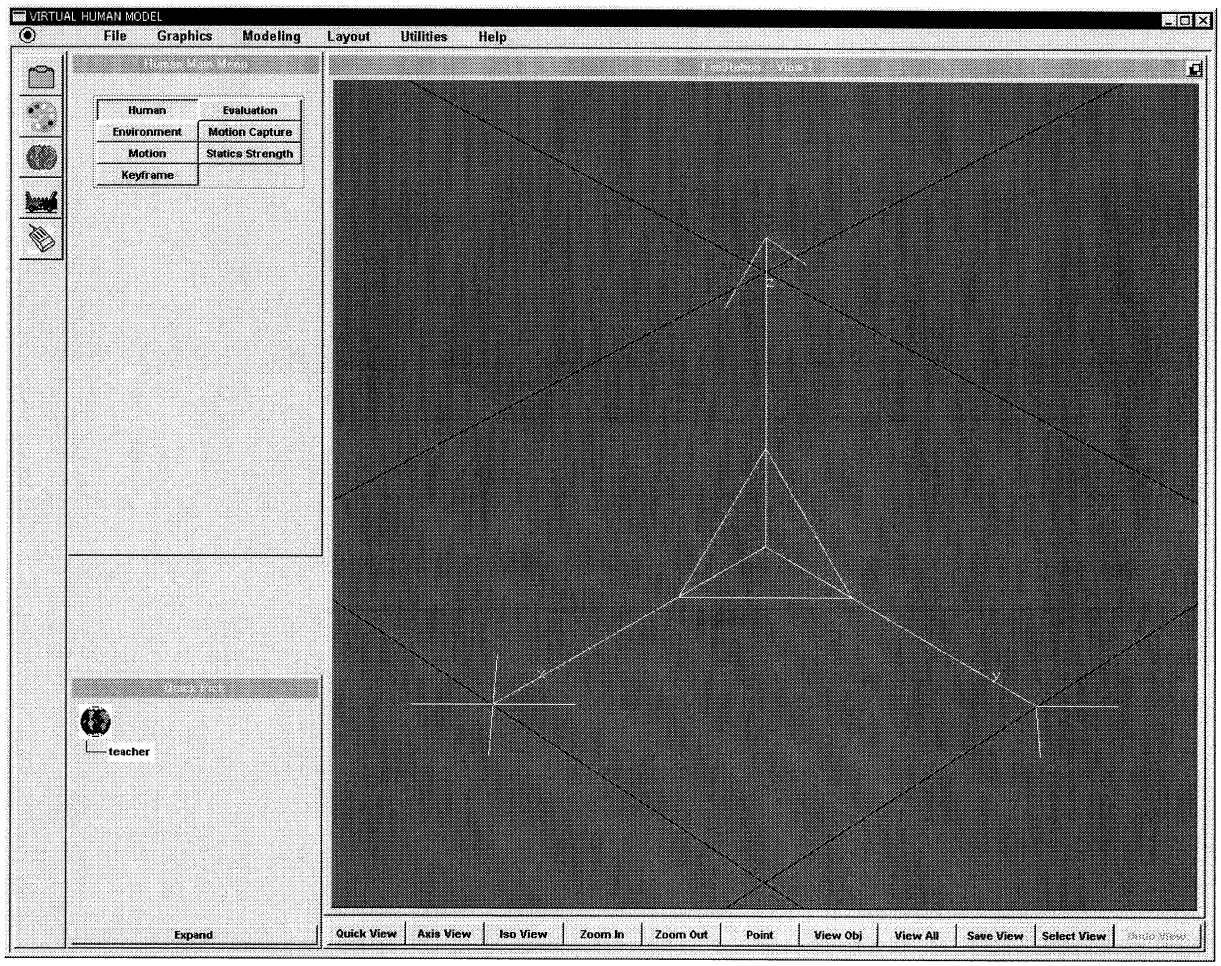


図 1　動態モデルシミュレータ起動画面

操作は主に、左上の「Human Main Menu」メインパネルの操作により行います。メニューバーのメニュー、ウィンドウ左部、下部のアイコンの機能等については、SilTools のユーザマニュアルをご参照下さい。終了はウィンドウ右上の「×」の押下、もしくはメインメニューの「◎/Quit」を選択して「Ok」を押下して下さい。

2. シミュレーション実施のあらすじ

動態モデルシミュレータを用いた人間動作シミュレーションは、主に、①人間モデル作成・編集、②製品・環境モデル作成・編集、③動作機構オブジェクト読込み・編集、④キーフレーム作成・編集、⑤動作シナリオ作成、⑥基礎評価、⑦モーションキャプチャデータの再生、⑧負荷評価の８つの大機能からなります。

それぞれの機能の実施手順と関係を図 2に示しました。

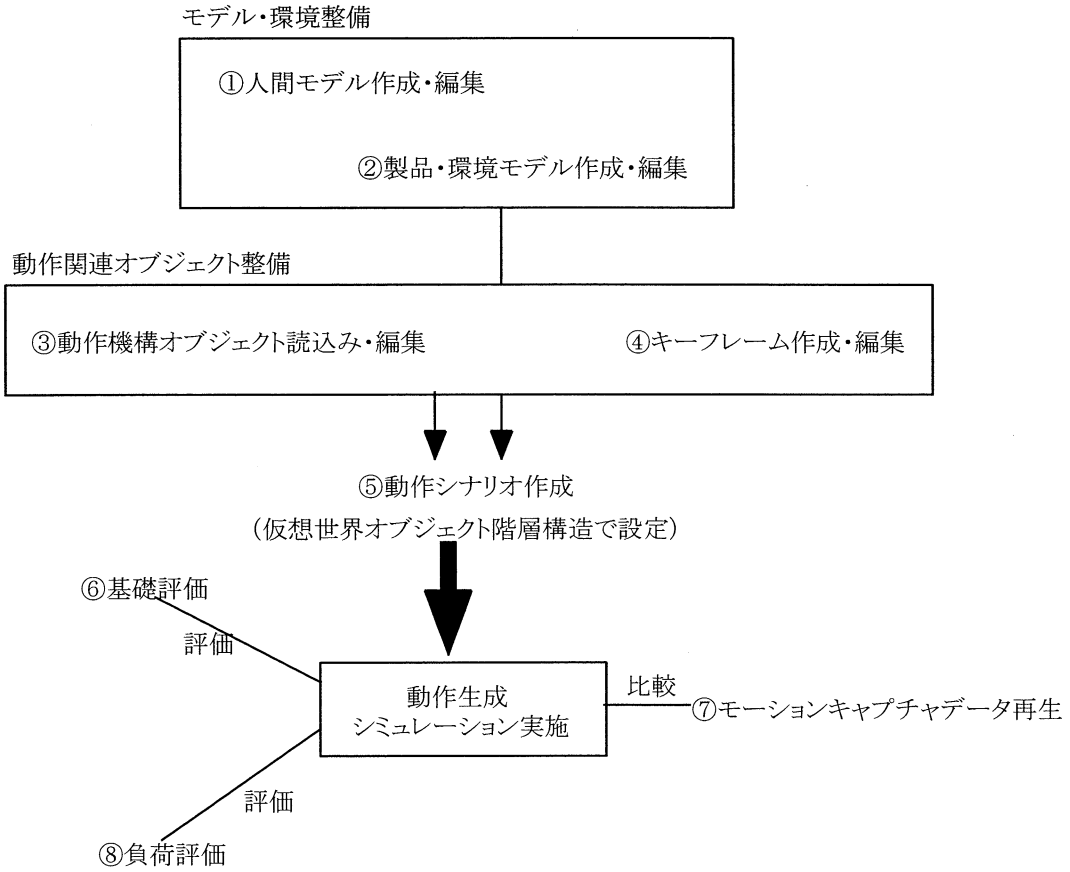


図 2　動態モデルシミュレータを用いたシミュレーション概要

3. SilTools 基本機能について

SilTools の基本機能で、とくに動態モデルシミュレータにおいて重要、かつ有効なメニューについて概説します。詳しくは SilTools ユーザーズマニュアルを参照して下さい。

3.1. ワークスペース、モデルの保存・読込み

SilTools では現在の作業環境全体を「ワークセル」、特定のオブジェクトを「モデル」として、任意のディレクトリに保存・読込みを行うことが出来ます。この機能は作業の中断・再開などのために必要となります。

メニューバーから「file/install」を選択することにより、図 3のようなパネルを表示することが出来ます。ここで SilTools のワークセル、モデルの読込みが可能となります。

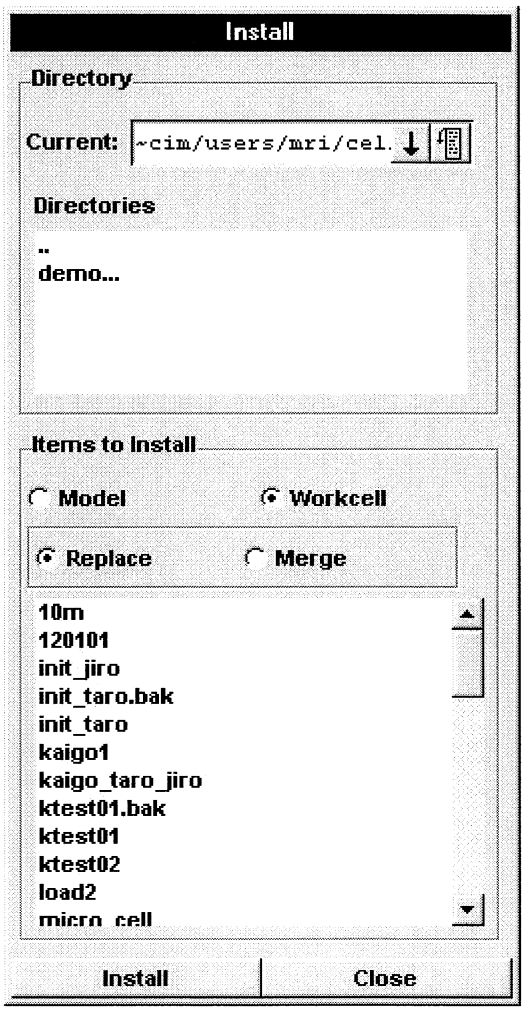


図 3　ワークセル、モデルのインストールパネル

ただし、読み込めるのは SilTools のワークセル、モデル形式のみで、他の CAD モデルなどについては、メニューバーの「Modeling/Import･Export Model」を選択することにより、読込みが行えます。

保存については、メニューバーから「file/Save」を選択すると、図 3とほぼ同様のパネルが表示され、ワークセル・モデルを任意のディレクトリに保存することが出来ます。

3.2.時間管理について

SilTools では時間を一元管理します。SilTools 内部の時計をメインメニューの「Utilities/World Status」を選択することにより表示することが出来ます（図 4）。[Update Rate]フィールドにシミュレーションを実行する時間刻み（**必ず設定して下さい**）が表示されます。左のストップウォッチにより、動作の中断・再開（左上ボタン）、リセット（右上ボタン）などを行うことが出来ます。

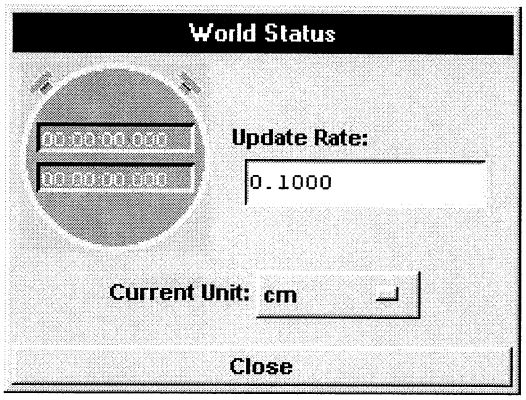


図 4　SilTools 時計

3.3.仮想世界階層構造について

動態モデルシミュレータでは、仮想世界の階層構造ですべてのオブジェクトの関係をあらわします。図 1の左下にある「Quick Pick」ウィンドウにオブジェクトの階層構造が表示されます。典型的な例をに示します。[human]分枝以下に人間モデルに関連するオブジェクト、[move_unit]分枝以下に動作機構に関連するオブジェクト、[product]分枝以下に製品・環境モデルに関連するオブジェクト[scenario]分枝以下にシナリオ設定用の実行型オブジェクトが配置されています。

各モデルの名前は、GUI においても、この階層構造つき（例えば人間モデル名「human/taro」など）で表示されます。

モデルの階層構造は、メインメニューの「Layout/Edit World」選択によるパネル（図 6）において、「Adopt」機能を選択することにより変更することができます。

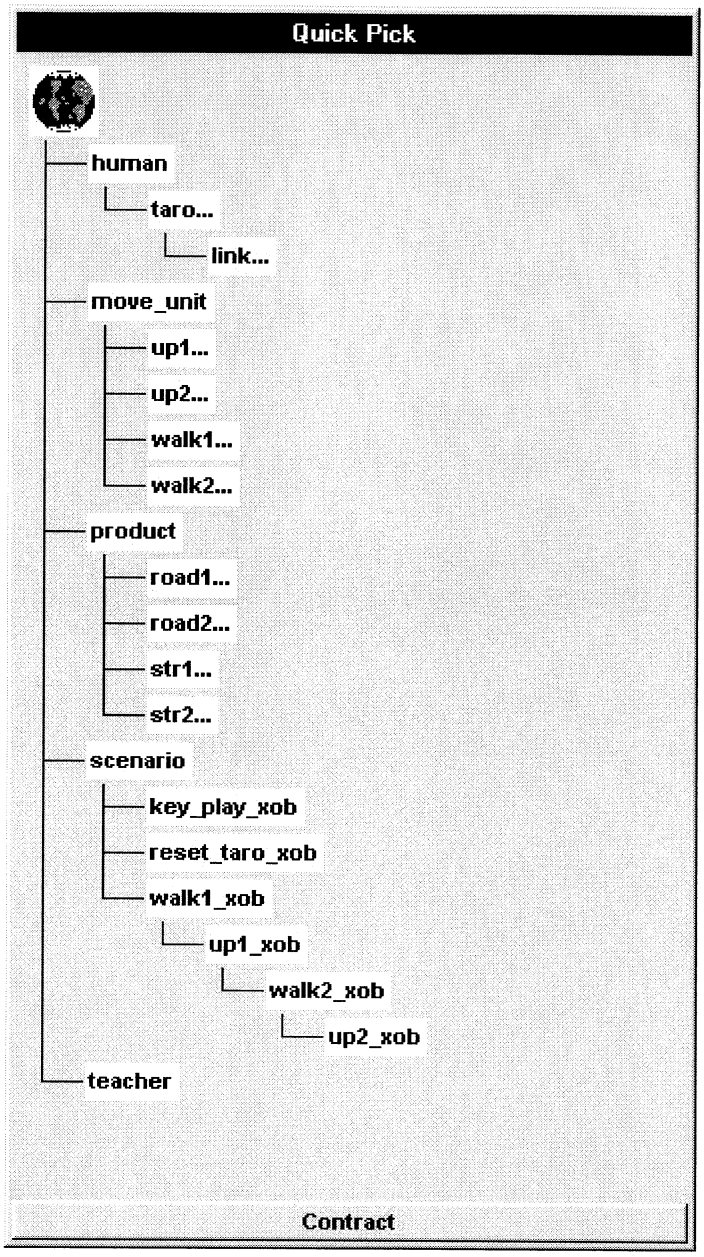


図 5　仮想世界階層構造例

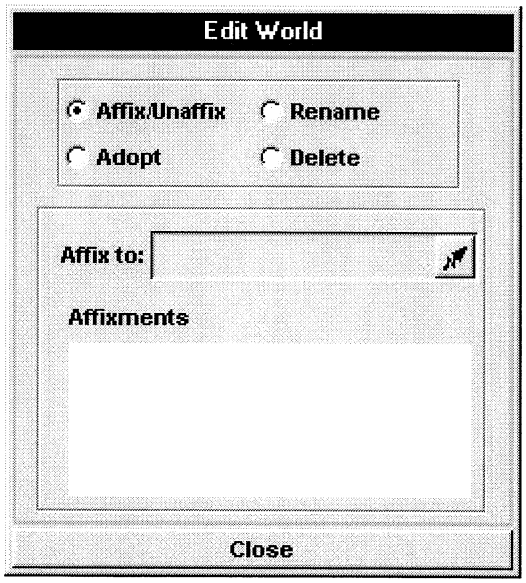


図 6　「Edit World」パネル

図 6パネルにおいて、[Affix/Unaffix]、[Rename]、[Adopt]、[Delete]は「モデルの接着」、「モデルの名前の設定」、「モデルの階層構造の設定」、「モデルの削除」機能となる。それぞれのトグルを選択して、「Quick Pick」でモデルをクリックすることにより機能を実現できます。

階層構造設定は、親を中ボタンクリックで選択し、子を左ボタンクリックで選択することになります。

3.4. ビューの設定について

仮想世界のビューについてのコントロールは主に、図 1における下部に並んでいるのボタン群で行う。拡大図を図 7に示した。特に便利なのが、右から 4 つめの[View All]で、このボタン押下により仮想世界の全てのオブジェクトをビューすることができます。また、「Alt」キーを押下したままマウスの操作をすることにより、ビューを自由に変更することも可能です。

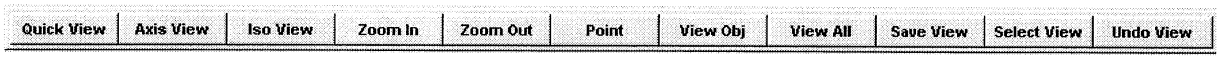


図 7　ビュー設定ボタン群

※ その他の機能およびより詳細な説明は SilTools のユーザーズマニュアルをご覧ください。

4. 人間モデル作成・編集

メインパネルの[Human]ボタンを押下することにより、図 8のようなボタンがパネルに表示されます。[Create Human]ボタンを押下することにより人間モデル作成パネル、[Edit Human]ボタンを押下することにより人間モデル編集パネルを立ち上げることが出来ます。

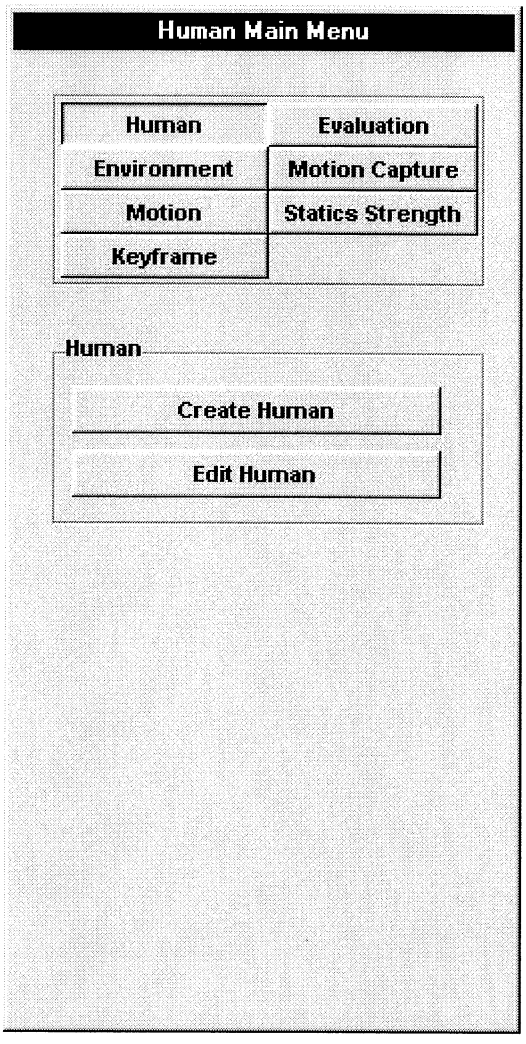


図 8　人間モデルパネル

4.1. 人間モデル作成

人間モデル作成パネルは図 9のような構成となっていて、モデル名、年齢、性別を入力し、[Ok]ボタンを押下することにより、HQL 寸法 DB に従った標準体型モデルが作成されます（計算機性能にもよりますが、数分程度かかります）。人間モデルを作成し[View All]ボタンを押下したときの表示状態をに示します。

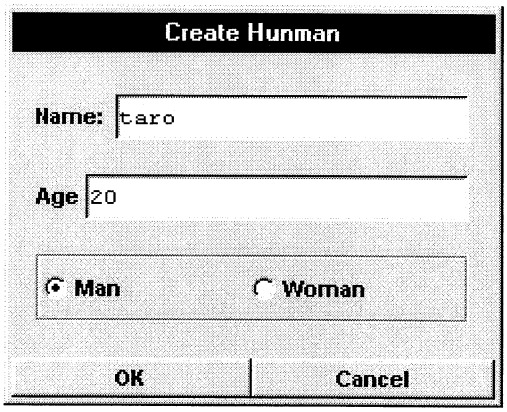


図 9　人間モデル作成パネル

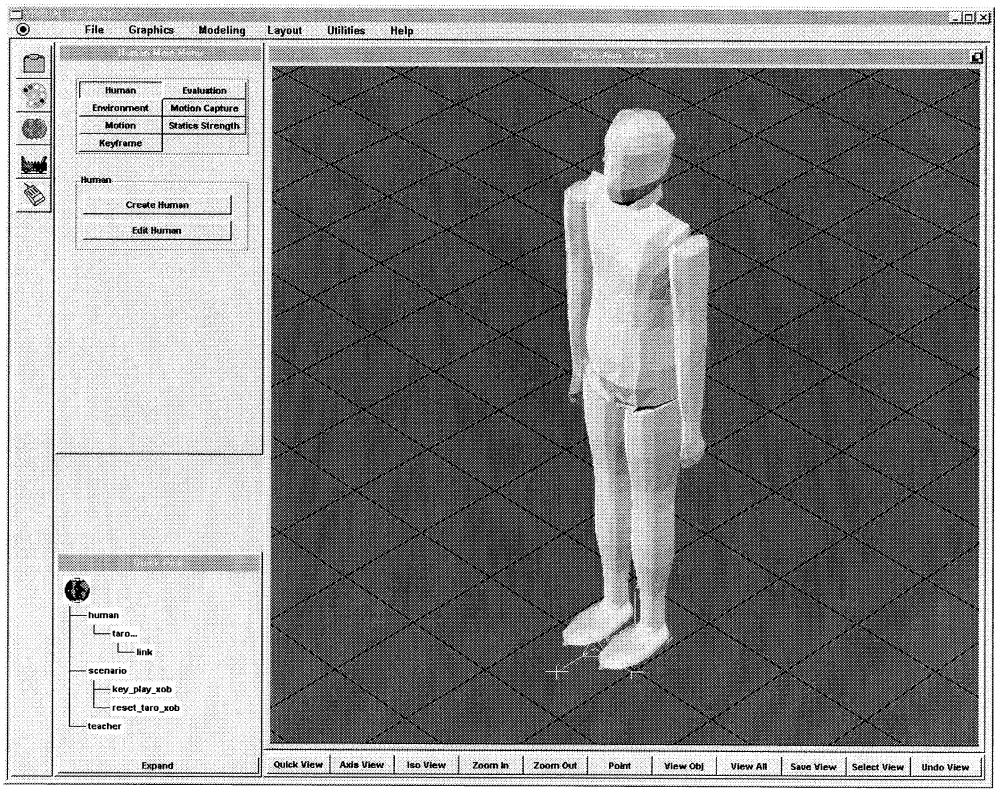


図 10　人間モデル作成状態

4.2. 人間モデル編集

人間モデル編集パネルは図 11のよな構成となります。[Change Size]ボタン押下により、人間モデル寸法変更パネル、[Rescaling]ボタン押下により、スケーリングパネル、[Change Joint limit]ボタン押下により、関節可動域編集パネル、[Change segment property]ボタン押下により、リンクパラメータ編集パネルが、それぞれ表示されます。

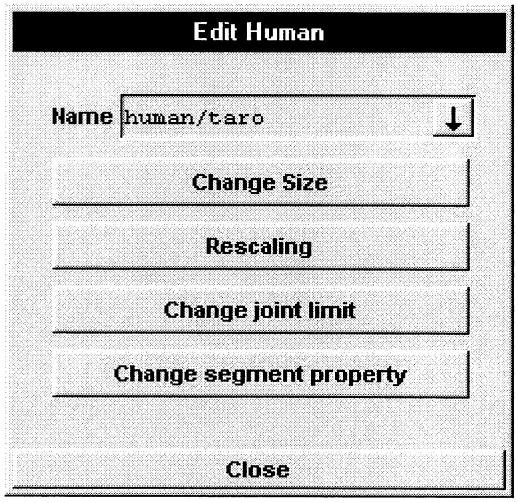


図 11　人間モデル編集パネル

4.2.1. 人間モデル寸法変更

人間モデル寸法変更パネルは図 12のような構成となり、それぞれの身体部位のボタンを押下することにより、各部位の寸法を変更設定するパネルが表示されます。[symmetric/asymmetric]トグルは、寸法設定の左右対称・非対称の別の選択を行います。左右対称の場合は、HQL 寸法項目についての変更、左右非対称の場合は、外形状構成寸法値（3 軸方向；厚、幅、長）を直接入力するインタフェースとなります。入力の具体的パネルのイメージは頭部寸法の場合、図 13(対称)、図 14（非対称）のようになります。[Ok]の押下でモデルの再生成を行います。

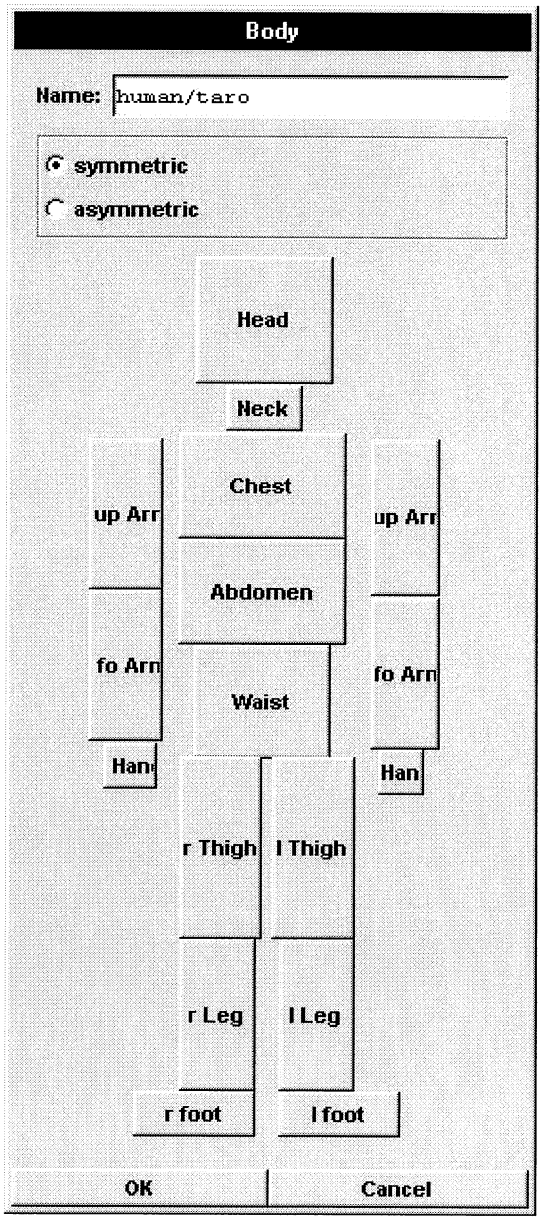


図 12　人間モデル寸法変更パネル

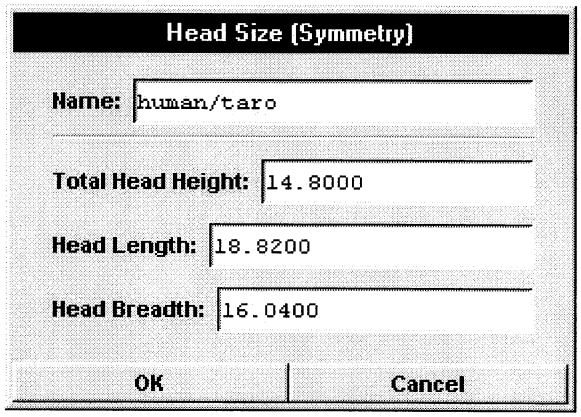


図 13　左右対称頭部寸法設定パネル

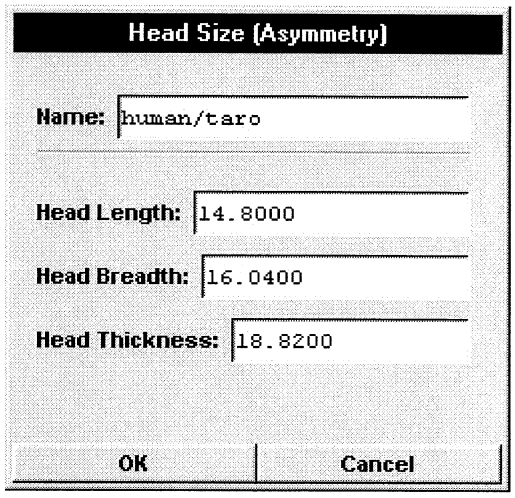


図 14　左右非対称頭部寸法設定パネル

4.2.2. スケーリング

身長による人間モデル全体のスケーリングを行うためのパネルは図 15のような構成となります。[Value/Ratio]トグルにより、身長の絶対値によるスケーリング、現在値からの相対比による設定の別を選択し、それぞれ、入力の出来るフィールドに、新しい身長の絶対値、現在のモデルとの身長比をそれぞれ入力し、[Ok]ボタンを押下することにより、新しい身長のモデルの生成を行います。

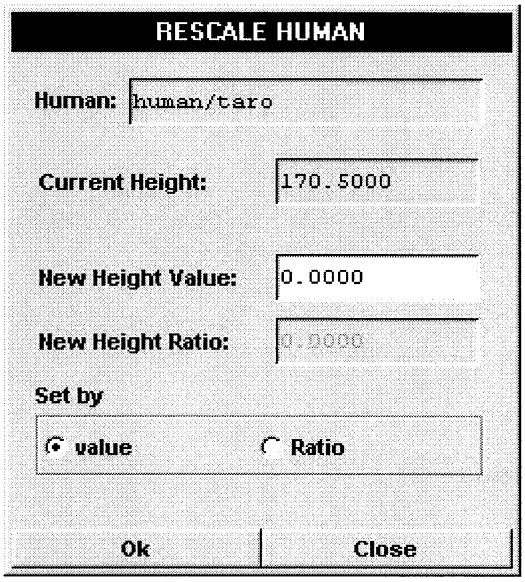


図 15　スケーリングパネル

4.2.3. 関節可動域編集

関節可動域編集パネルは図 16のような構成となります。現在設定されています（デフォルトでは、年齢・性別に応じた文献値）関節可動域値が表示されます。各フィールドの数値を直接編集するし、[Ok]ボタンを押下することにより変更を反映することが出来ます

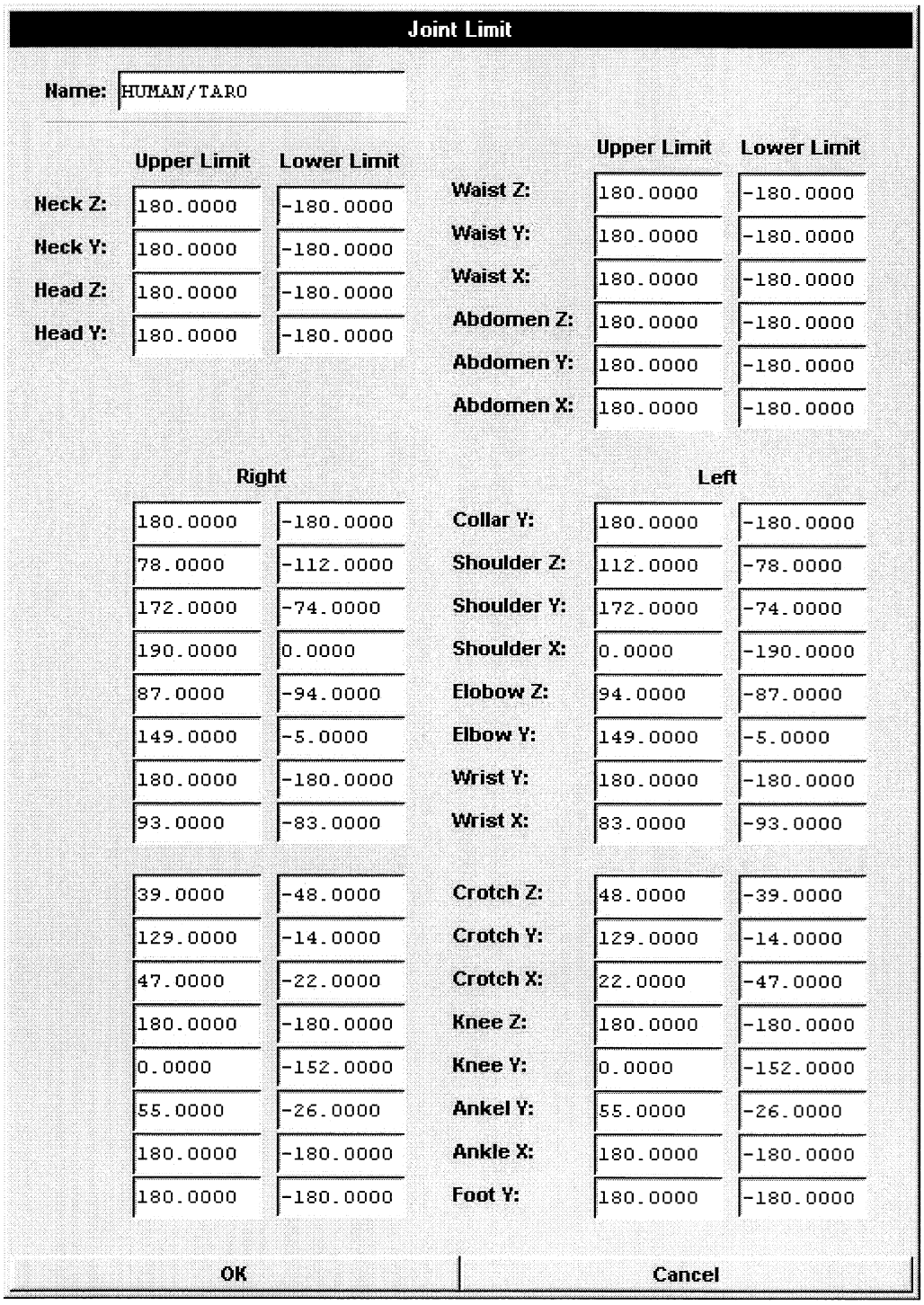


図 16　関節可動域編集パネル

4.2.4. リンクパラメータ編集

重心計算、負荷評価の際に必要となる各部位毎のリングパラメータを編集するためのパネルはのような構成になります。各部位の左から重量比（%）、リンクにおける重心位置比（リンク根元からの長さ%）、回転半径（%）で表示されています。デフォルトでは、年齢・性別に応じた文献値が入っています。直接各フィールドの値を編集し、[Ok]ボタンを押下することにより、変更を反映します。

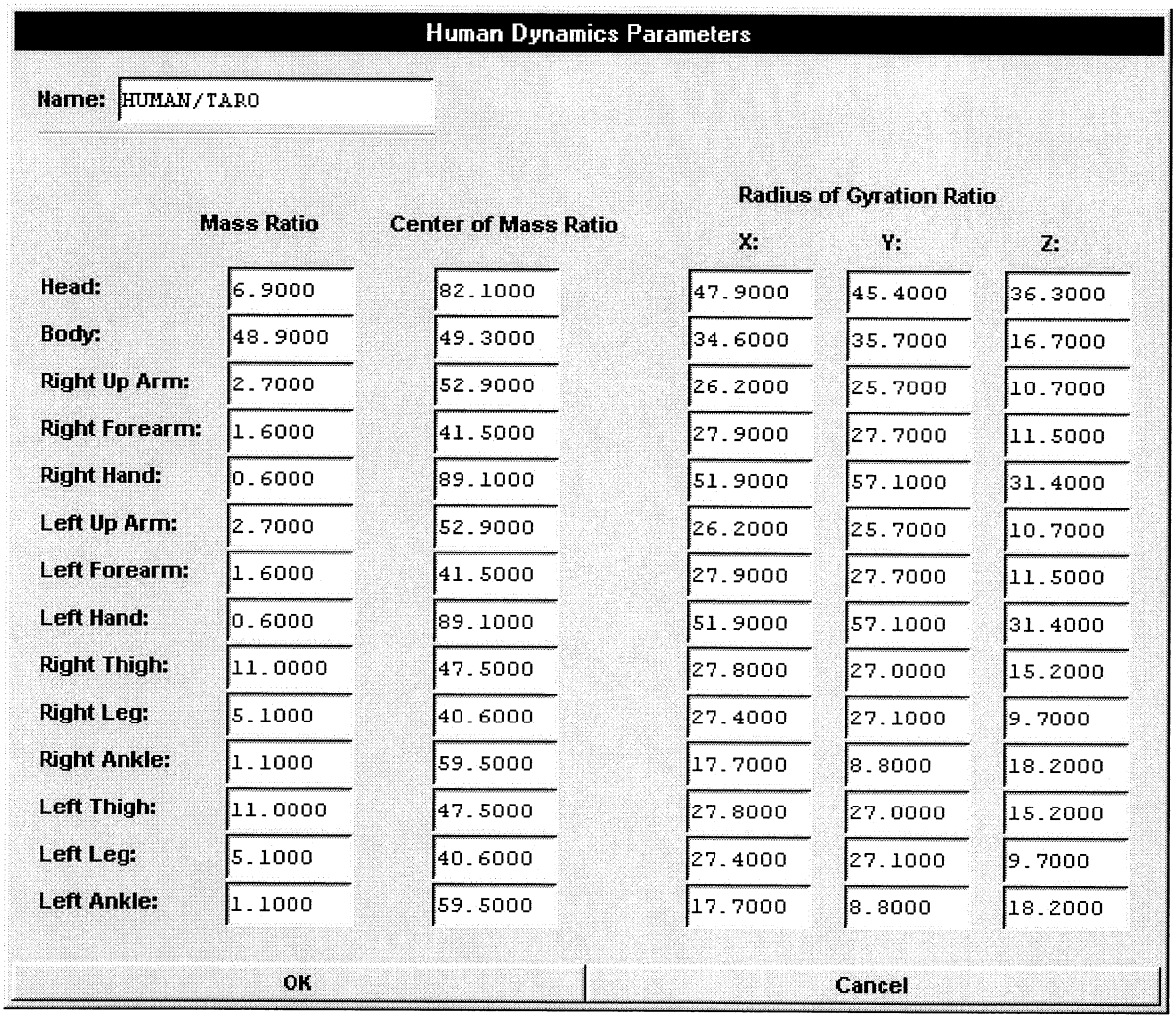


図 17　リンクパラメータ編集パネル

5. 製品・環境モデル作成・編集

メインパネルの[Environment]ボタンを押下することにより、図 18に示すボタンがパネルに表示されます。[Create Environment Model]ボタンの押下により、製品・環境モデル作成パネル、[Edit Environment Model]ボタン押下により、製品・環境モデル編集パネル、[Assign Environment Model]ボタン押下により、製品・環境モデル属性割当パネル、のそれぞれを表示することが出来ます。

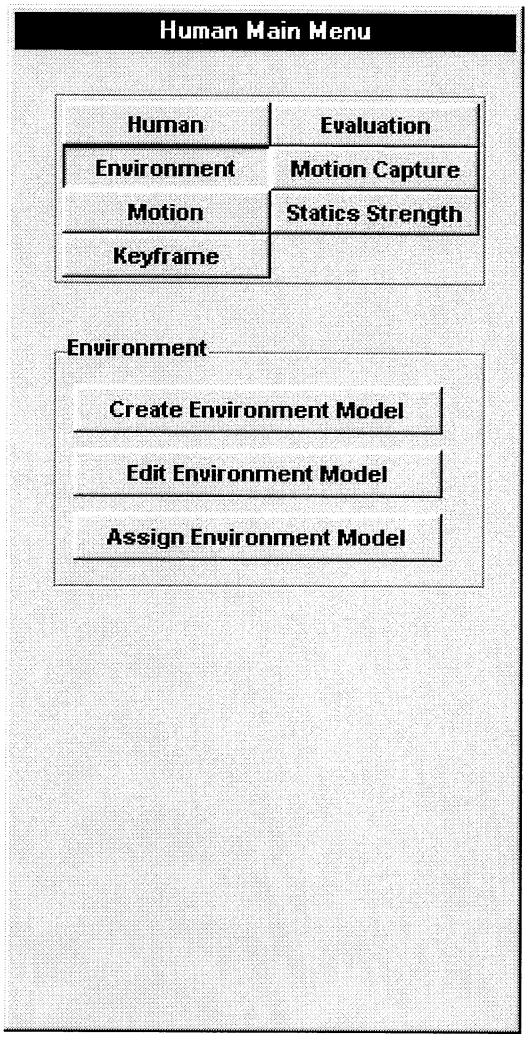


図 18　製品・環境モデルパネル

5.1.製品・環境モデル作成

製品モデル作成パネルはのような構成になっています。モデル名を入力し、モデル種類を選択して[Ok]ボタンを押下することにより、モデル寸法などの属性を詳細に設定するパネルが表示されます。例えば歩行路モデルでは図 20のようなパネルとなります。図 20パネルにおいて[Position][Rotation]はモデルの位置、姿勢を設定し、[Next to]コンボボックスでは、複数の製品・環境モデルを作成した場合に、その並び順を設定するのに用います。その下の各フィールドでそれぞれの寸法値などの属性を設定します。

[Create Primitive Model]ボタンの押下により、寸法を設定した基本部品モデル作成パネル(図 21) を表示します。図 21の[Kind]コンボボックスで製品種類を選択し、それぞれのフィールドで寸法値を入力し、[Ok]ボタンを押下してモデルを作成することができます。

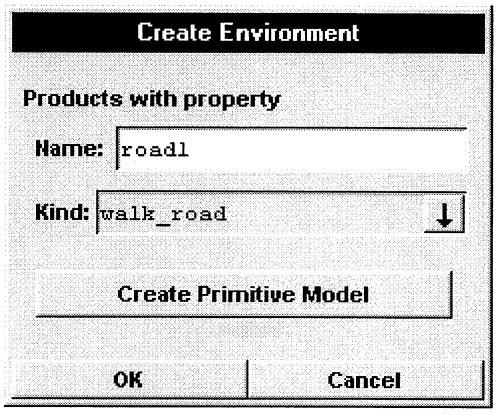


図 19　製品・環境モデル作成パネル

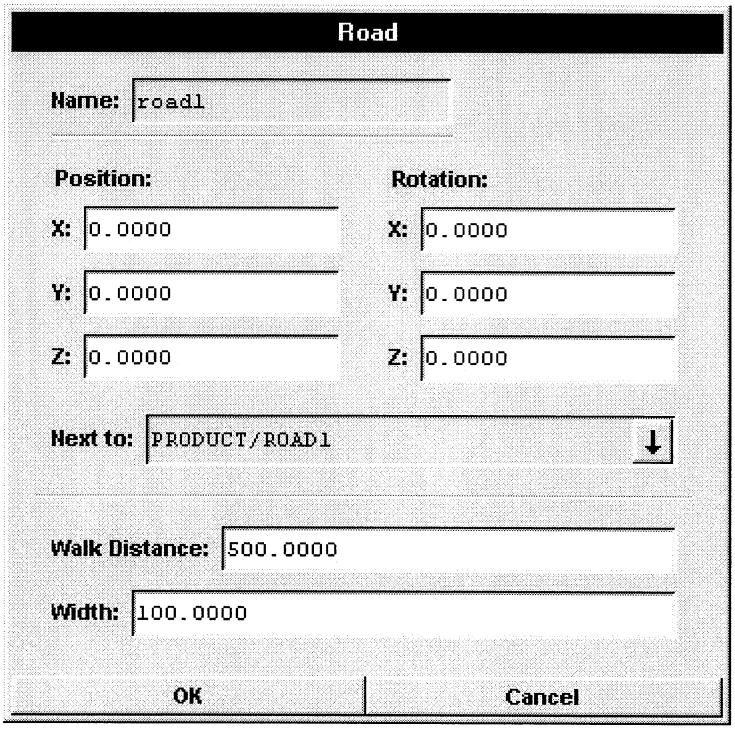


図 20　歩行路モデル属性設定パネル

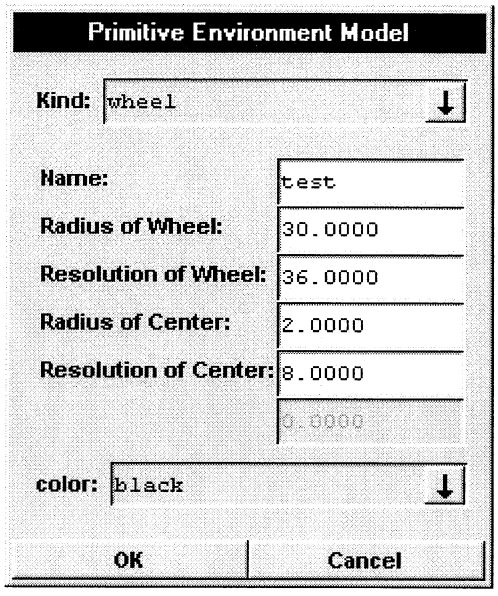


図 21　基本部品モデル作成パネル

5.2.製品・環境モデル編集

製品・環境モデル編集パネルは図 22のような構成となります。[Name]コンボボックスで、属性を編集したいモデルを選択し、[Ok]ボタンを押下することにより、製品種類に応じた属性設定パネルが表示されます（例えば歩行路の場合図 20）。[Name]コンボボックスには、仮想世界階層構造において[product]分枝以下のオブジェクトになります。

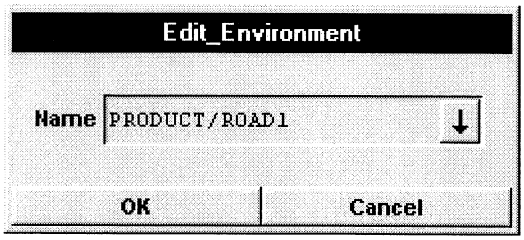


図 22　製品・環境モデル編集パネル

5.3.製品・環境モデル属性割当

外部の CAD モデルなどをインポートした場合にシミュレーションを行うための製品属性を割り当てる機能のためのパネルです（図 23）。モデルとその種類を選択することにより、そのモデルの属性を設定するパネルを表示することが出来ます（例えば歩行路の場合図 20）。

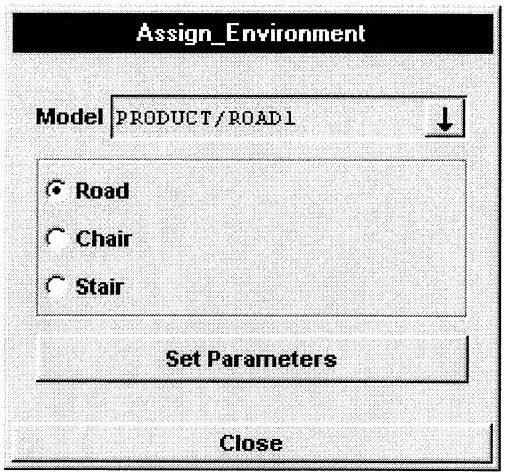


図 23　製品・環境モデル属性割当パネル

6. 動作機構オブジェクト読込・設定

動態シミュレータでは、動作機構をオブジェクトとして読み込み、動作生成に用います。メインパネルにおいて[Motion]ボタンを押下することにより、図 24のようなボタンがパネルに表示されます。[2nd Motion Data Base]ボタンの押下により、2 次動作データベースが起動し、動作機構データを選択してロードするためのデータベースエンジンのコントロールウィンドウを表示することが出来ます。また、[Motion Property]ボタン押下により、動作機構の基準キーフレーム、軌跡生成スプラインパラメータ、動作固有パラメータを設定するパネルを表示します。[Evaluation Option]ボタン押下により、動作の基本評価のオプションの設定パネル、[Motion Condition]ボタンの押下により、動作機構に関連付けられている人間モデル、製品・環境モデルの編集を行うパネルが表示されます。

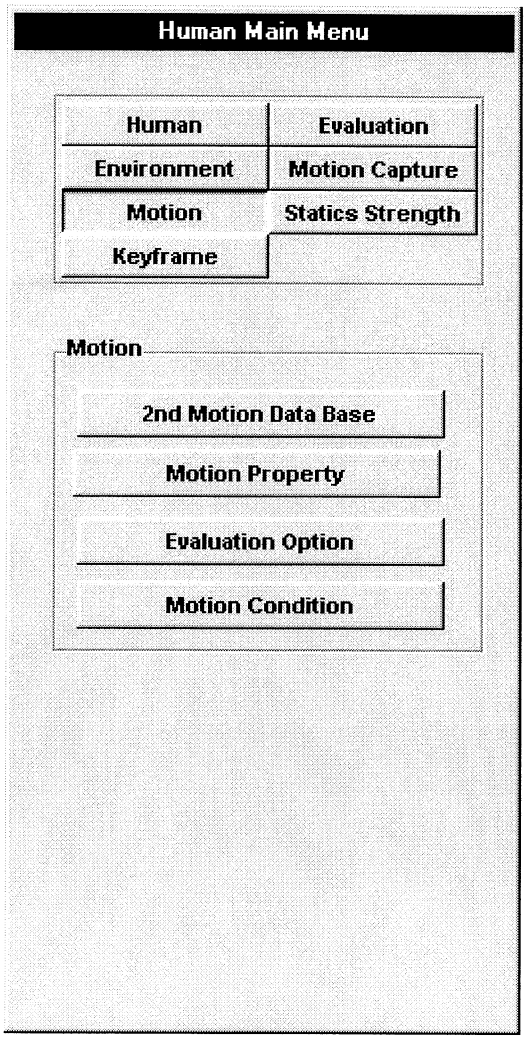


図 24　動作機構モデル読込・設定パネル

6.1.2 次動作データベース（動作機構データ読込）

動作機構データを読込むために、のように 2 次動作データベースウィンドウが起動されます(動

作データベース操作中は SilTools の操作は不能となります）。検索を行うことにより、図 26のような画面が表示され、データ項目を選択して[ファイル出力]ボタンを押下することにより、SilTools にコントロールが戻りのパネルが表示されます。ここで、読み込む動作機構データのオブジェクト名、関連付けする人間モデル、製品・環境モデルを選択します。[Ok]ボタンの押下により選択動作機構データの読込みが実行されます。動作データベースシステムの詳細については12章を参照下さい。

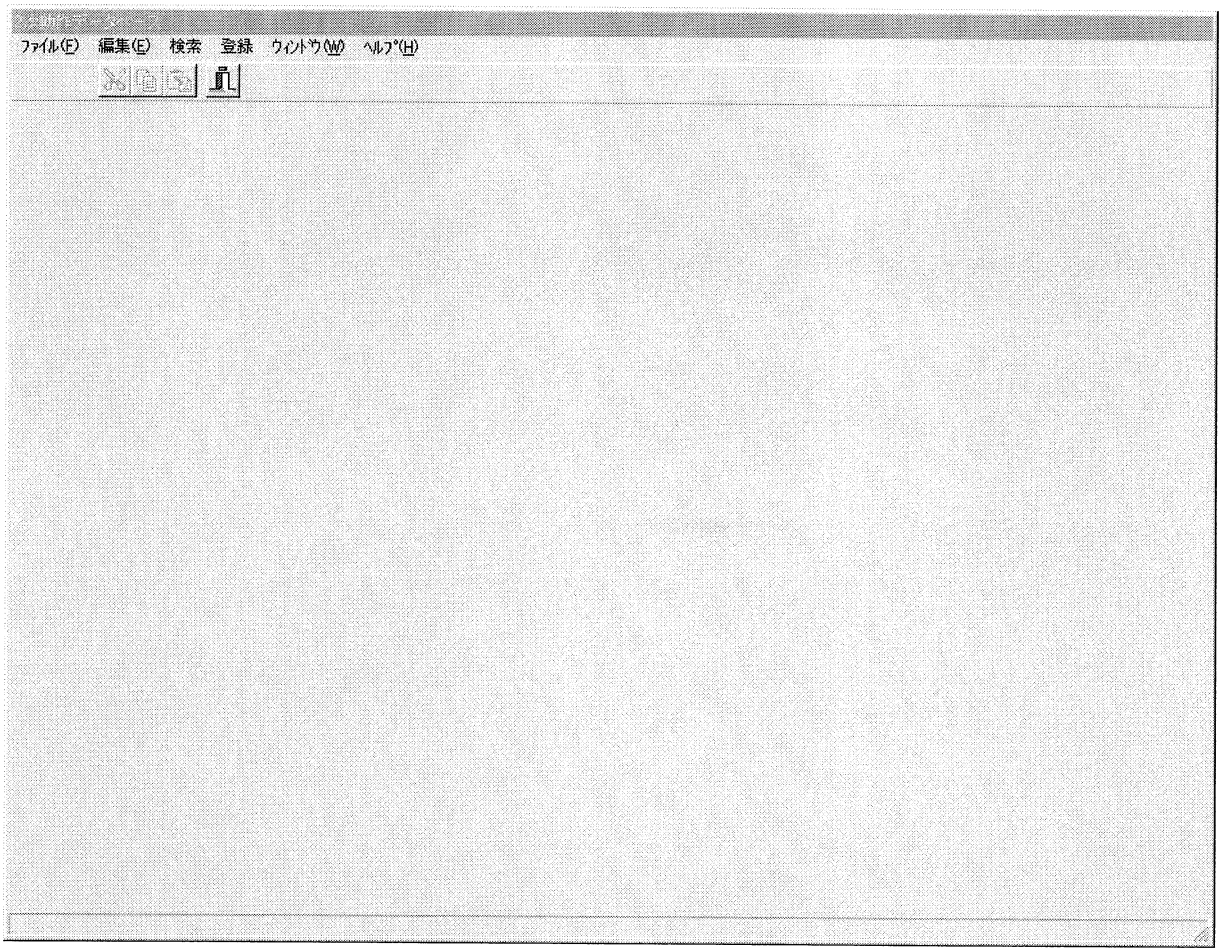


図 25　2 次動作データベース検索・選択ウィンドウ

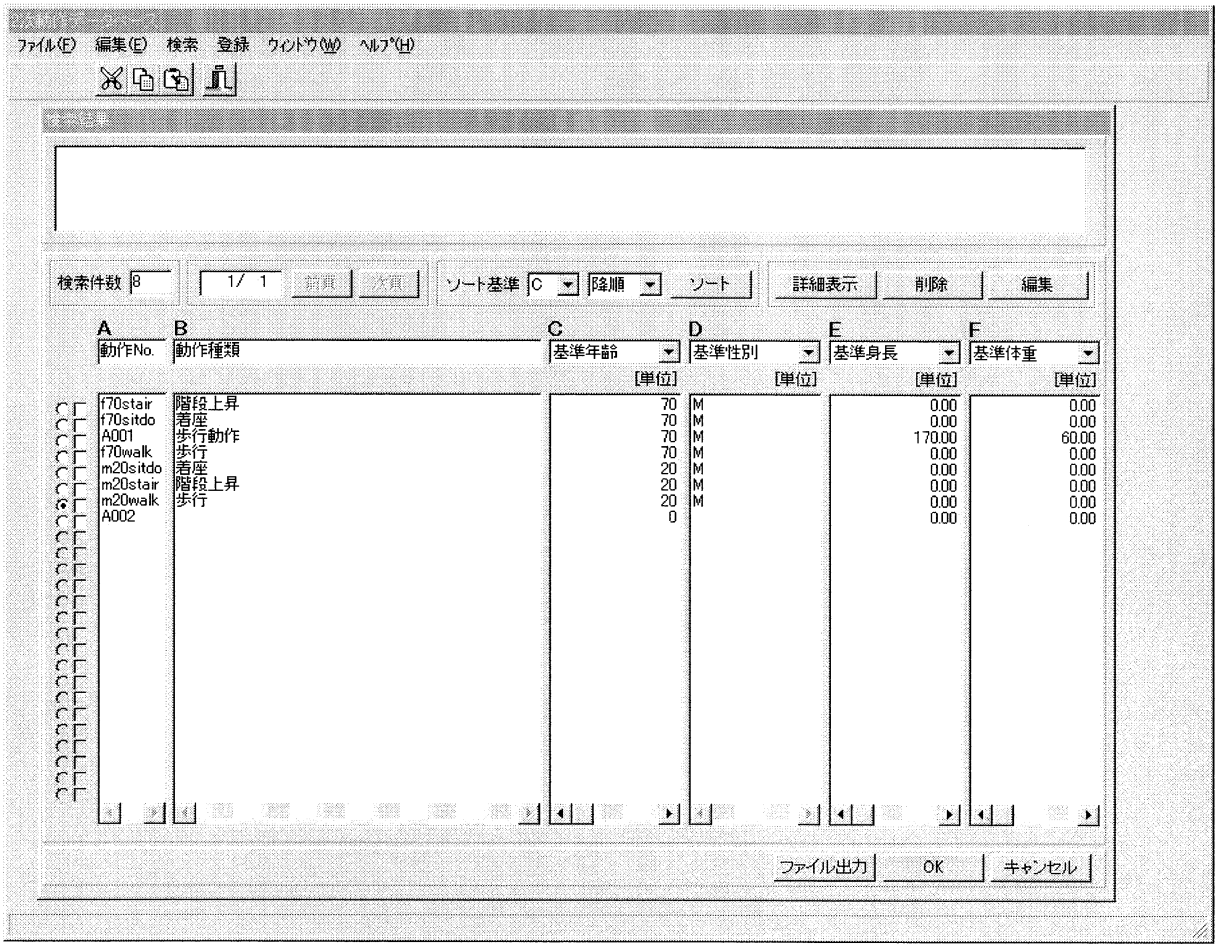


図 26　2 次動作データベース検索結果表示画面

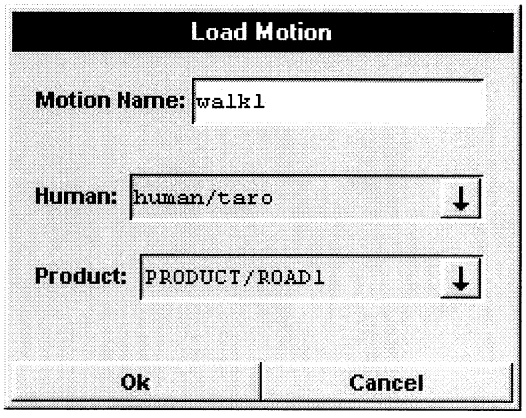


図 27　動作機構設定パネル

6.2. 動作機構特性編集

動作機構特性（基準キーフレームデータ、軌跡生成スプラインパラメータ、動作固有パラメータ）の設定を行うパネルは図 28のような構成となります。[Name]コンボボックスで編集する動作機構データを選択します。選択された動作機構について、[Change Keyframe]ボタンの押下により、キーフレームの設定パネル、[Change Trajectory Parameter]ボタンの押下により、スプラインパラメータの設定パネル、[Change Characteristic Property]ボタンの押下により、動作固有パラメータの設定パネルを、それぞれ表示します。

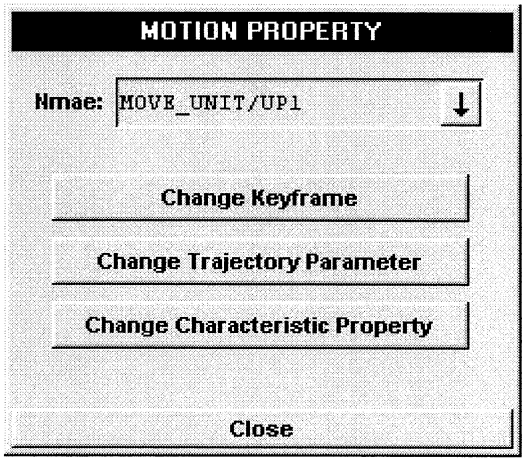


図 28　動作機構特性編集パネル

6.2.1. 基準キーフレーム設定

基準キーフレームの設定については、後述のキーフレーム編集機能と全く同様の機能となります。選択するキーフレームが、ここでは、指定した動作機構データの持つ基準キーフレームのみとなります。

6.2.2. 軌跡スプライン生成パラメータ設定

スプライン生成パラメータを設定するためのパネルは図 29のような構成となっています。スプライン曲線は 3-D スプライン曲線生成に関する始点、終点の接線ベクトルの指定を[StartX-Goal Z]フィールドに入力する形となります。各フィールドには、現在のパラメータの値が表示されています。[Ok]ボタン押下により設定が反映されます。

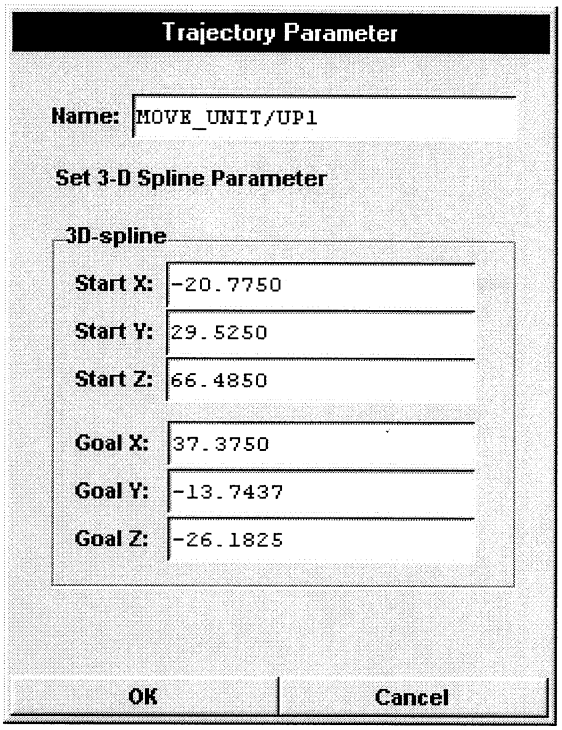


図 29　軌跡生成スプラインパラメータ設定パネル

6.2.3. 動作固有パラメータ設定

動作固有パラメータ設定パネルは図 30のような構成となります。[Name]フィールドに指定した動作機構名が表示され、[Kind]コンボボックスで動作固有パラメータの項目を選択すると、[Value]フィールドに現在のパラメータの値が表示されます。必要であれば、設定を変更して[Change]ボタンを押下することによりパラメータ値が変更されます。[Start Keyframe Number]フィールドは動作機構の基準キーフレームにおける開始キーフレームの番号を設定します。

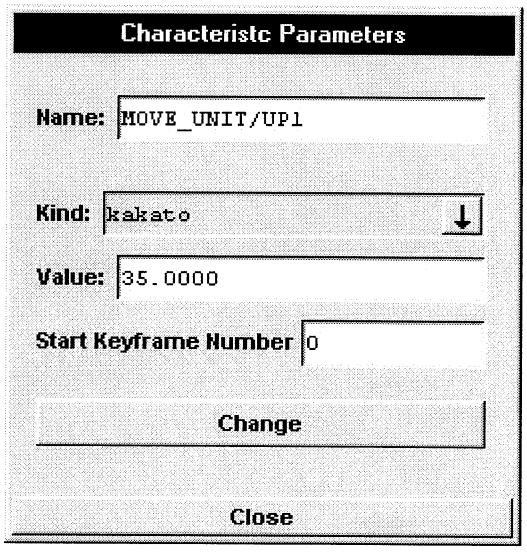


図 30　動作固有パラメータ設定パネル

6.3. 基礎評価オプション

基礎評価オプション設定画面は図 31のような構成となります。ここでは動作をシミュレートする前に必要となるオプション、視野・リーチなどの基礎評価機能の設定を行うことが出来ます。[Name]フィールドで設定を反映する人間モデル名を選択します。[Add View Window]ボタン押下で人間モデルの視点からのビューウィンドウを表示し、[Add Delete View Cone]ボタンの押下で視野コーンの表示のトグルが実行されます。同様に[Add Delete Reach Sphere]ボタン押下で、リーチ球の表示のトグル化を行うことが出来ます。

[Mirror/Slave to]セレクタで鏡面とするオブジェクトを選択してから、[Add Mirror]ボタンを押下すると鏡面のビューウィンドウが表示されます（その後メインメニューの[Utilities/Vision/View through window]トグルのオンを行う必要があります）。

[Joint angle]、[Coodinate]トグルは、関節角変位、関節位置の時系列を動作シミュレーション後にグラフ表示する場合は、[record]にしておく必要があります。

[Balance]トグルが[record]に設定されていると動作中に重心位置の地面への投影表示がオンになるオプションの機能が実装されています。

[Joint limit]トグルは動作中に関節可動域を越えた場合の処理についての選択となります。

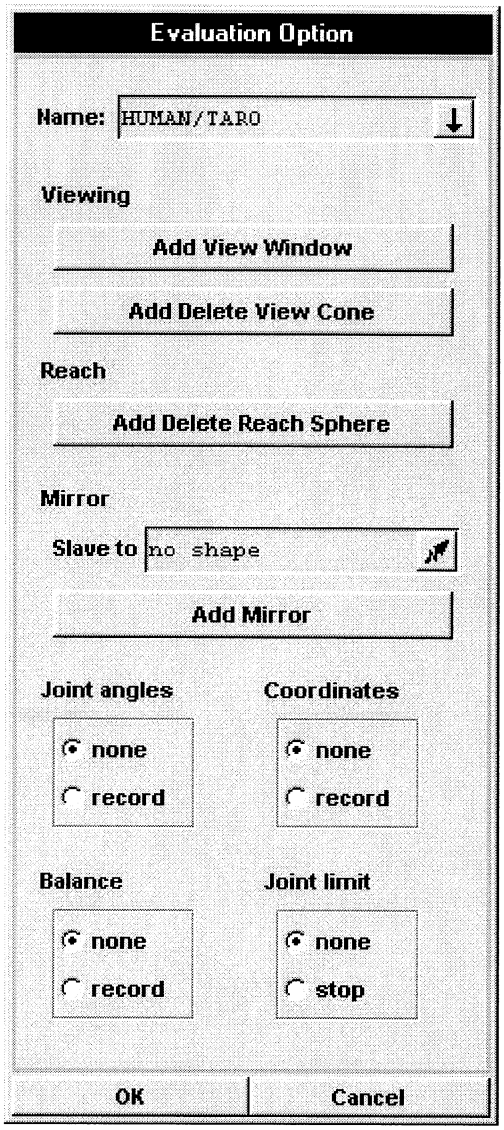


図 31　基礎評価オプション設定パネル

6.4. 動作機構関連付け設定

動作機構に関連付けされた人間モデル、製品・環境モデルの確認、変更を行うためのパネルはのようになります。[XOB]コンボボックスで選択した動作機構において関連付けされている動作機構データ[Move Unit]、人間モデル、製品・環境モデルが各[Human][Product]フィールドに表示されます。変更する場合はコンボボックスから選択して[Ok]ボタンを押下して下さい。

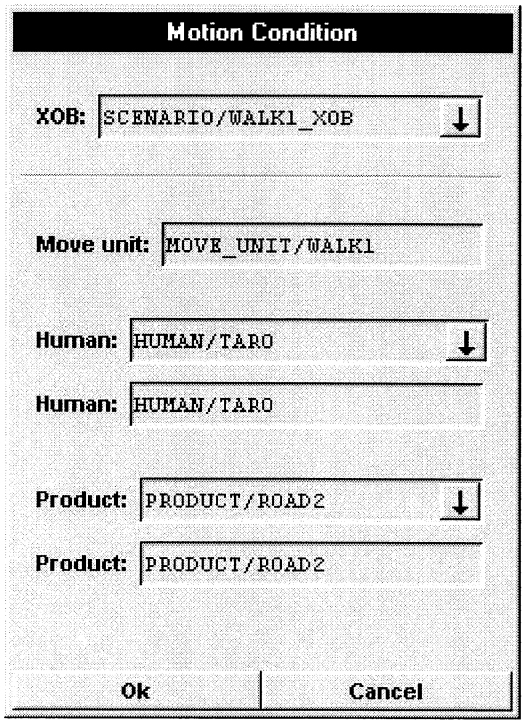


図 32　動作機構関連付け設定パネル

7. キーフレーム作成・編集

メインパネルで[Keyframe]ボタンを押下すると、キーフレームを作成、編集するための[Create Keyframe][Edit Keyframe]の各ボタンがパネルに表示されます（図 33）。[Create Keyframe]ボタンの押下によりキーフレーム作成パネルが、[Edit Keyframe]ボタンの押下によりキーフレーム編集パネルが、それぞれ表示されます。

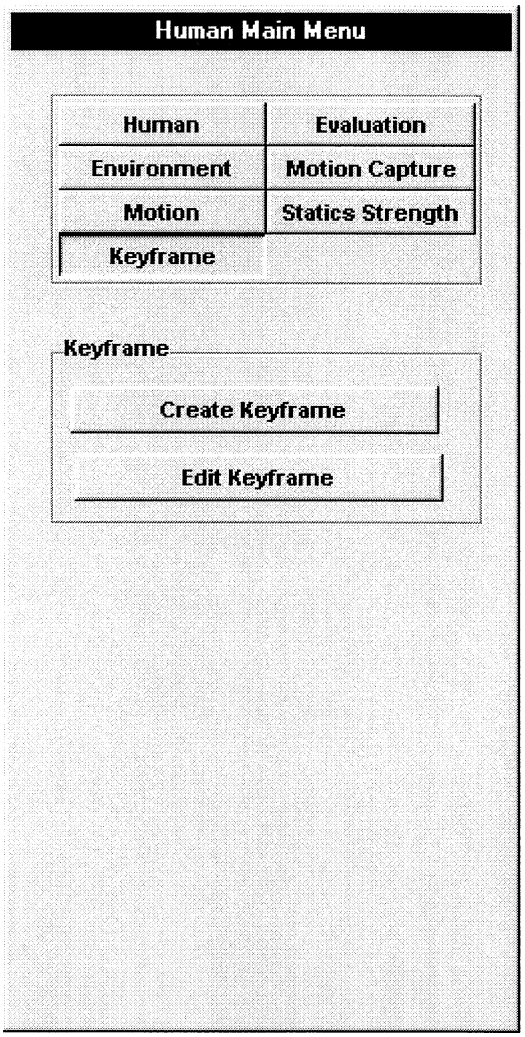


図 33　キーフレーム作成・編集パネル

7.1. キーフレーム作成

キーフレーム作成パネルは図 34のような構成となります。[Name]フィールドに作成するキーフレームの名前を入力し、[Human]コンボボックスで、姿勢を表示する人間モデルを選択します。[Time etc.]ボタン押下により、動作時間設定パネル、[Set Human root]ボタン押下により、接地基準等の設定パネル、[Set by Value]ボタン押下により、各関節変位の値による入力パネル、[Set by Slide]ボタン押下により、各関節変位のスライダーによる入力パネル、[Inverse Kinematics]ボタン押下により、インバースキネマティクス設定パネル、のそれぞれが表示されます。

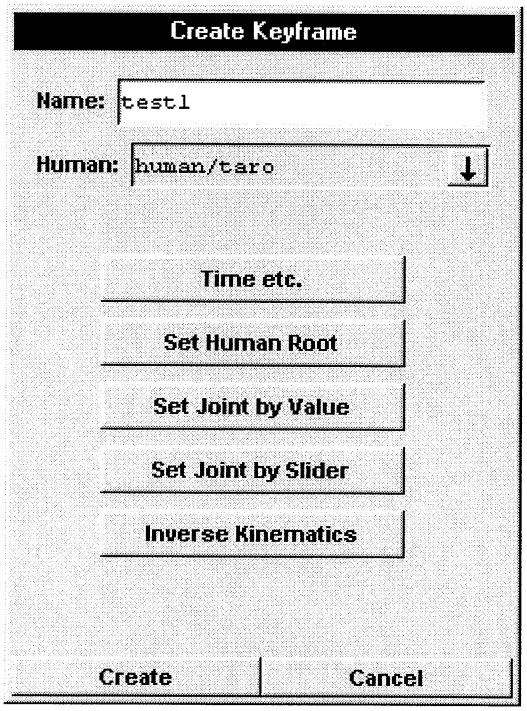


図 34　キーフレーム作成パネル

7.1.1. 動作時間設定

動作時間を設定するパネルは図 35のような構成になります。 [Motion Time]フィールドに、そのキーフレーム姿勢に到達するまでの動作時間を入力して下さい。

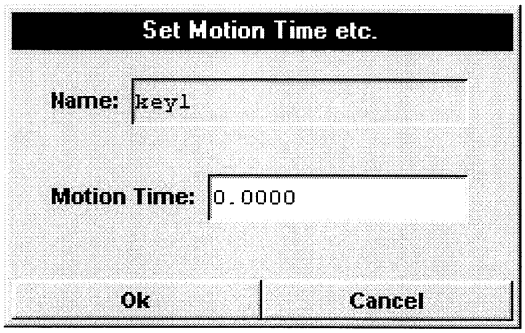


図 35　動作時間設定パネル

7.1.2. 接地基準等設定

キーフレームの姿勢における接地基準、もしくは人間モデル原点位置・姿勢を設定するためのパネルは図 36のような構成となります。[Free/Right Foot on Ground/Left Foot on Ground]トグルにより、キーフレーム姿勢における「接地なし、右足接地、左足接地」のいずれかを選択することが出来ます。接地なしを選択した場合は、[Pose of]セレクタによるオブジェクト位置・姿勢の選択もしくは[X-roll]フィールドへの位置・姿勢値の直接入力により人間モデル原点の位置・姿勢を指定することが出来ます。

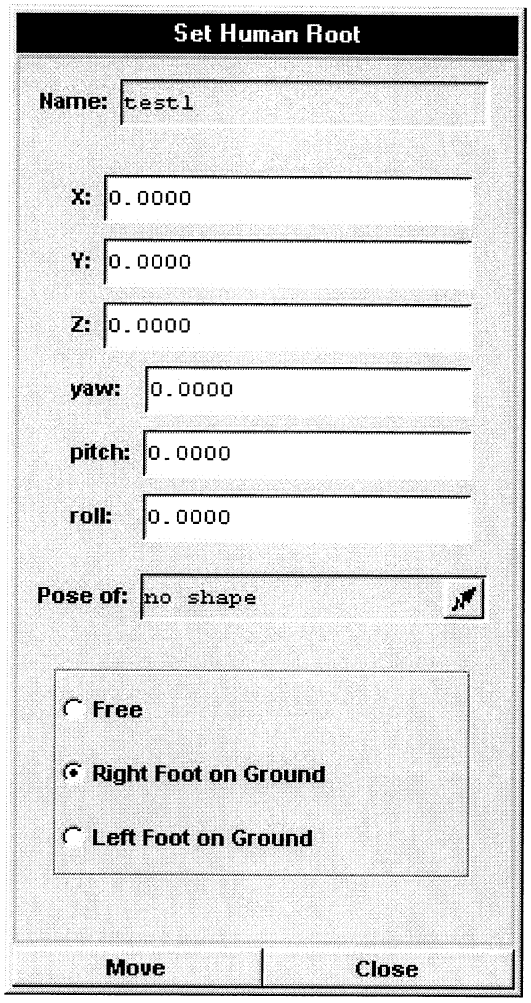


図 36　接地基準等設定パネル

7.1.3. 値による関節角変位入力

値を直接入力することにより、キーフレーム姿勢の関節角変位を設定するためのパネルは図 37のような構成となっています。[Name]フィールドに現在作成中のキーフレーム名が表示されます。[Joint]コンボボックスで、角度を調整する関節を選択すると、その関節のローカル座標軸まわり（ローカル座標系は図 73参照）の関節可動域が表示され、現在の関節角変位も各フィールドに表示されます。直接値を入力して[Move]ボタンを押下することにより姿勢の変更が行われます。

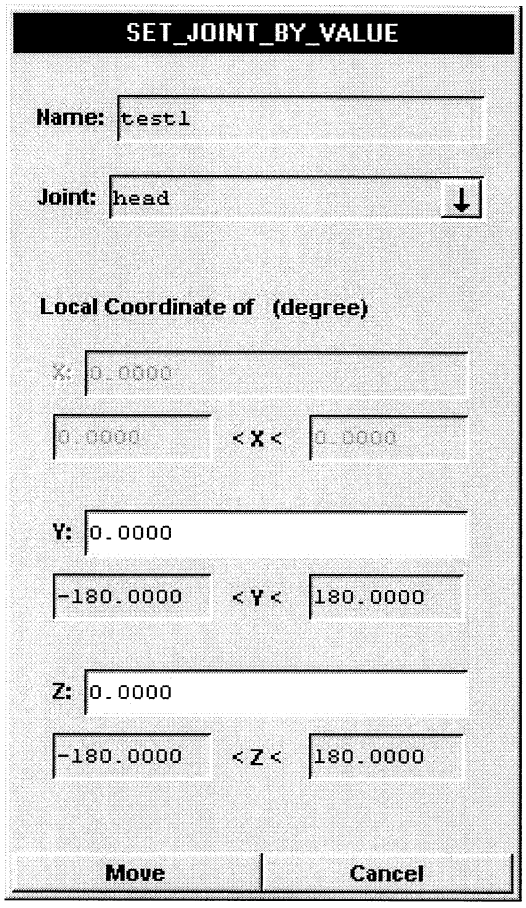


図 37　値による関節角変位入力パネル

7.1.4. スライダーによる関節角変位入力

スライダーによる関節角変位の設定パネルの構成は図 38のようになっています。値入力による場合とほぼ同様の機能で、関節角変位をスライダーによりリアルタイムに変位させる機能を実現しています。

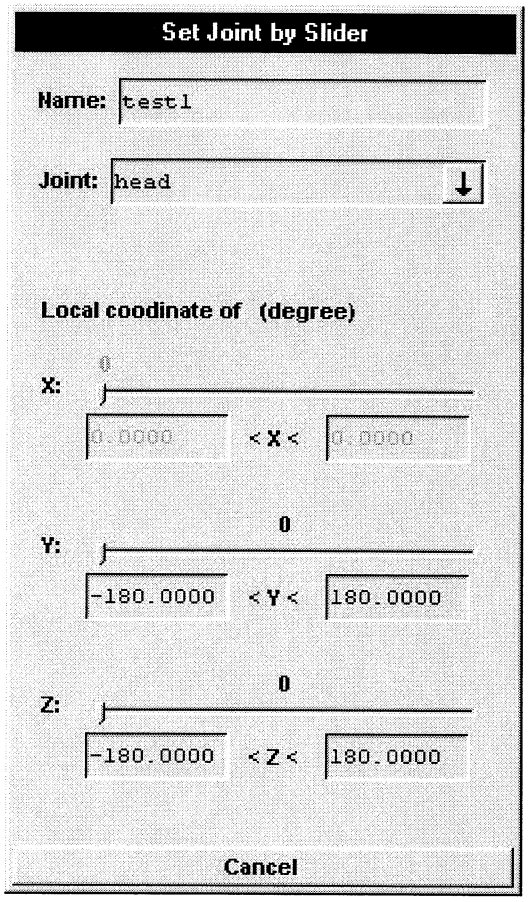


図 38　スライダーによる関節角変位入力パネル

7.1.5. インバースキネマティクス

インバースキネマティクスによる姿勢作成のためのパネルは図 39のような構成となっています。[Name]フィールドは他と同様に現在作成中のキーフレーム名を表示します。[Part]コンボボックスでは、インバースキネマティクスにより教示点を与える身体部位を「右手、左手、両手、右足、左足」から選択します。

[Target]セレクタにより教示点位置・姿勢オブジェクトを指定するか、[Target Frame:X-roll]フィールドに直接座標値を入力することにより教示点情報を設定します。

上肢のインバースキネマティクスには複合インバースキネマティクス機能があります。複合の種類を[Arm Only/Arm + Body Bend/Arm + Body Forward Lean/Arm + Body Bend + Forward Lean/Arm + Body Forward Lean + Twist]トグルの選択により、「腕のみ、腕＋胴体屈曲、腕＋胴体前傾、腕＋胴体屈曲＋胴体前傾、腕＋胴体前傾＋胴体ねじり」の複合インバースキネマティクスのモードを選択することが出来ます。

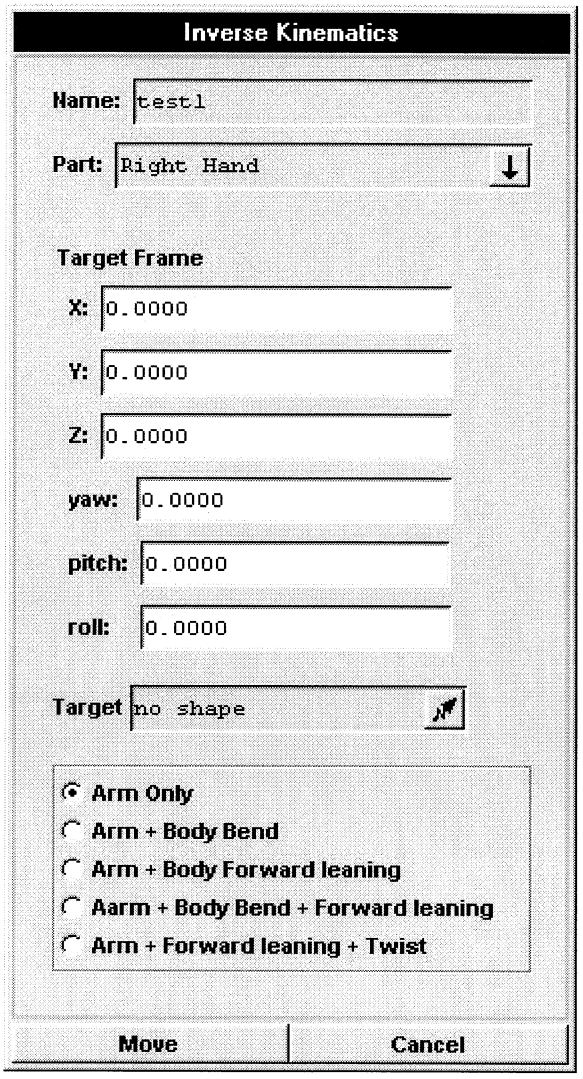


図 39　インバースキネマティクス設定パネル

7.2. キーフレーム編集

キーフレーム編集のためのパネルは図 40のような構成となっています。[Name]コンボボックスから、編集可能なキーフレームを選択します。
具体的なキーフレーム属性の変更は、キーフレーム作成の場合と全く同様のインタフェースを用いて行われます。

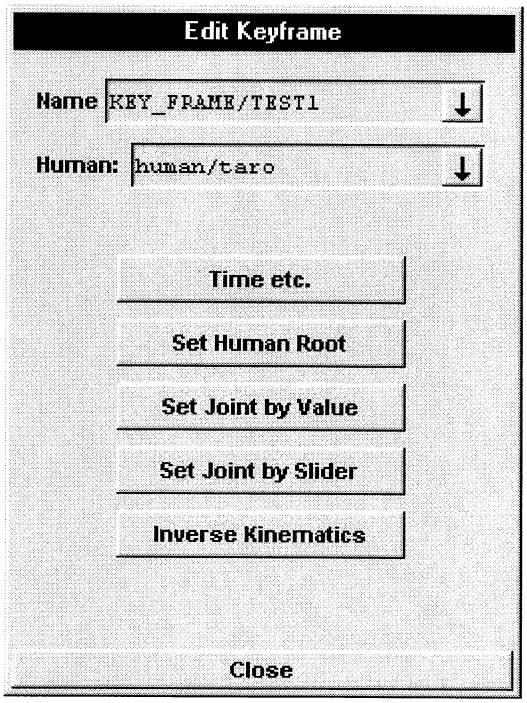


図 40　キーフレーム編集パネル

8. 評価グラフ表示

基礎評価オプション（図 31）で、関節角変位、関節位置の[record]を選択した場合に、そのデータのグラフ表示を行うことが出来ます。メインパネルで[Evaluation]ボタンを押下した場合、[Evaluation(Graph)]ボタンがパネルに表示されます（図 41）。これを押下することにより、グラフ表示設定パネルが表示されます。

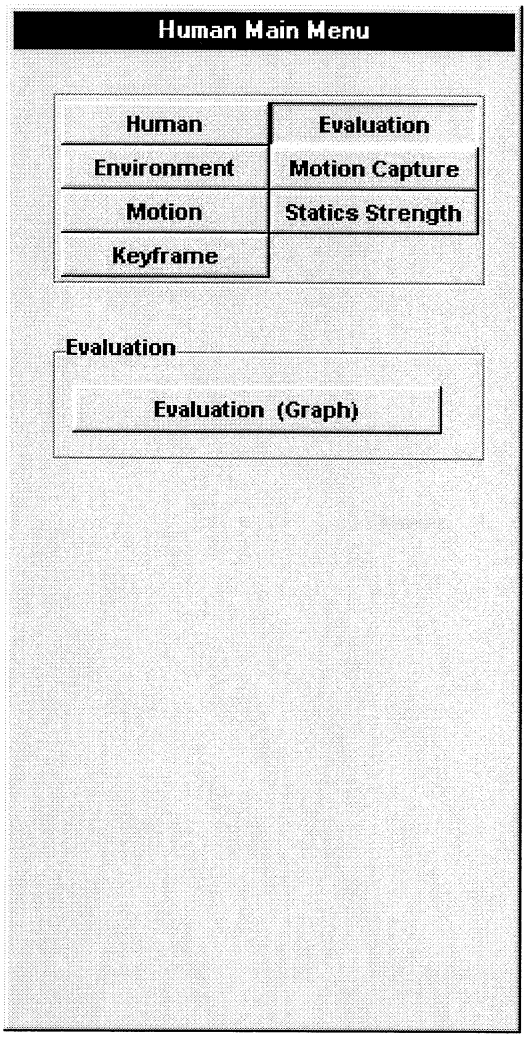


図 41　評価グラフ表示パネル

8.1. グラフ表示設定

グラフ表示設定機能のためのパネルは図 42のような構成となっています。[Joint Angle/Coordinates of Part/Balance]トグルにより「関節角変位時系列、関節位置時系列、バランスパラメータ時系列」を選択することができます。関節角変位もしくは関節位置を選択した場合は 3 つの関節まで表示可能なので、3 つのコンボボックスと、関節可動域表示の[off/on]トグル、軸方向[x/y/z]トグルをそれぞれ設定することにとにより、選択した条件のグラフを表示することが出来ます。歩行動作における関節角変位の場合のグラフの具体例を図 43に示しました。

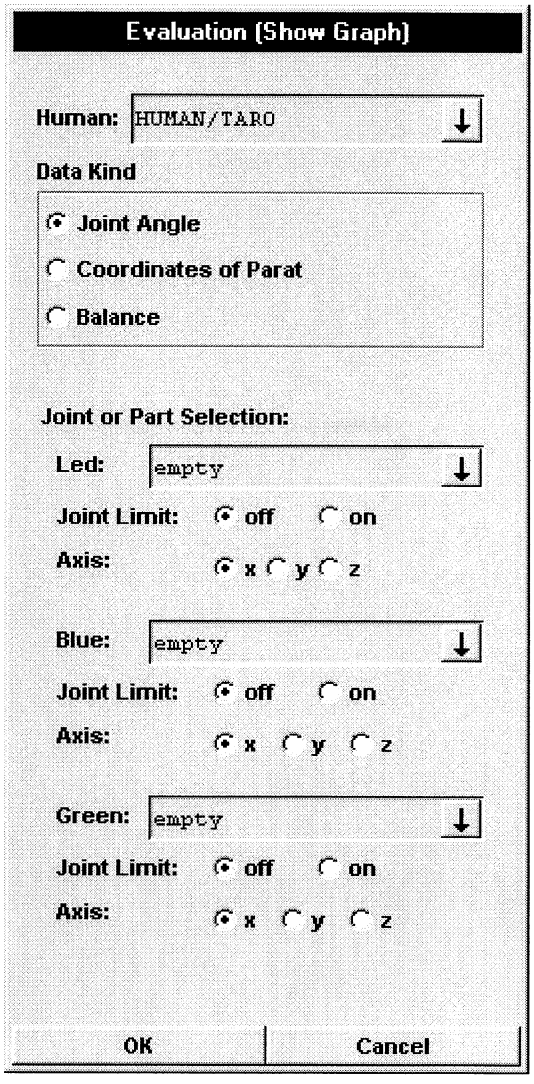


図 42　グラフ表示設定機能パネル

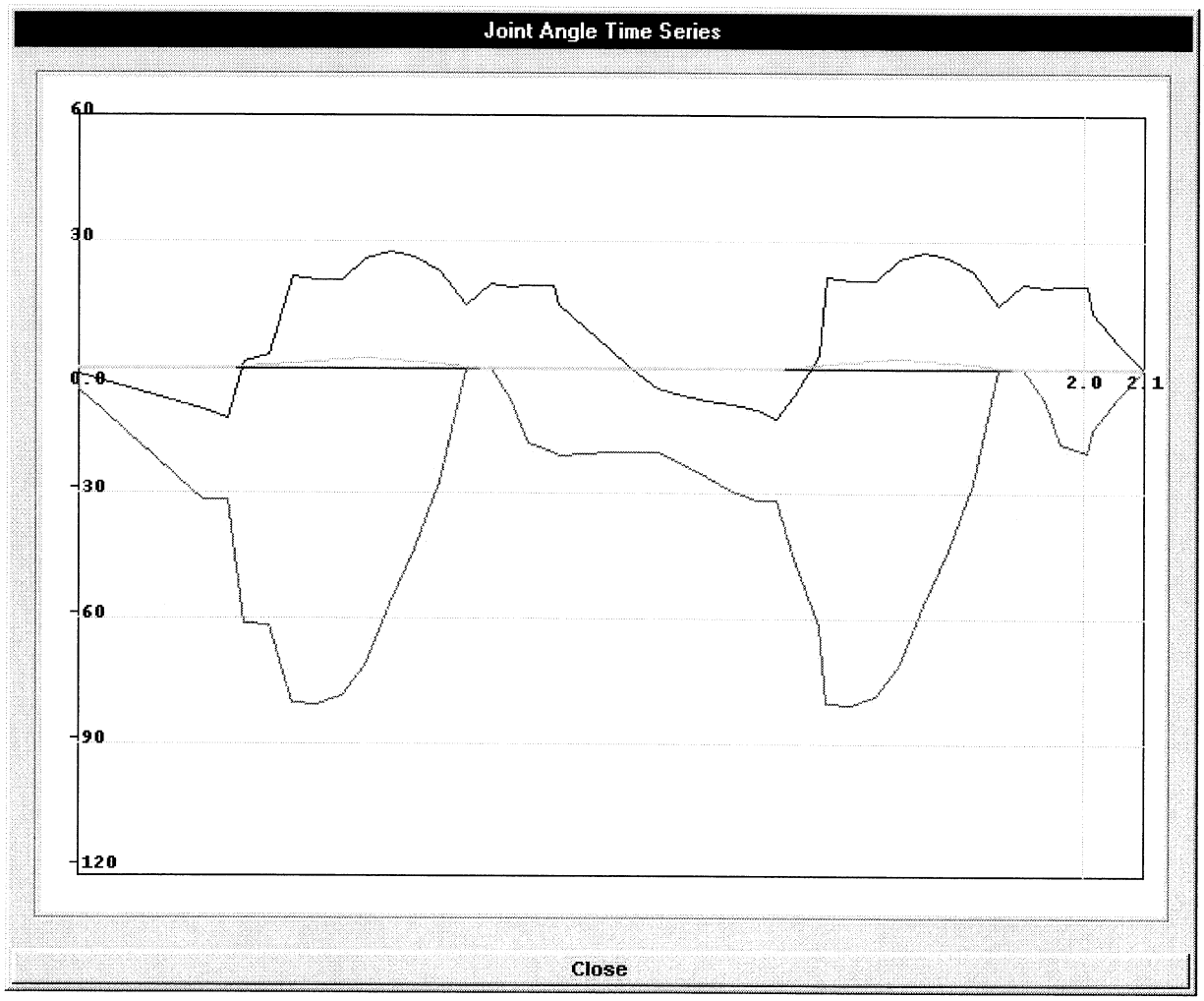


図 43　歩行動作における関節角変位時系列グラフ

9. モーションキャプチャデータの再生

メインパネルにおいて[Motion Capture]ボタンを押下すると、のように[1st Motion Data Base]ボタンがパネルに表示されます。[1st Motion Data Base]ボタンを押下することにより、1次動作データベースコントロールウィンドウ（図 45）が起動し、2次動作データベースとほぼ同一のインタフェースで動作データを検索投することが出来ます。図 45画面において[ファイル出力]ボタンを押下することにより、仮想世界に[vicon/start_mc_skel]という実行型オブジェクトが生成されます。それを起動（図 53参照）することにより計測動作データの再生を行うことが出来ます。

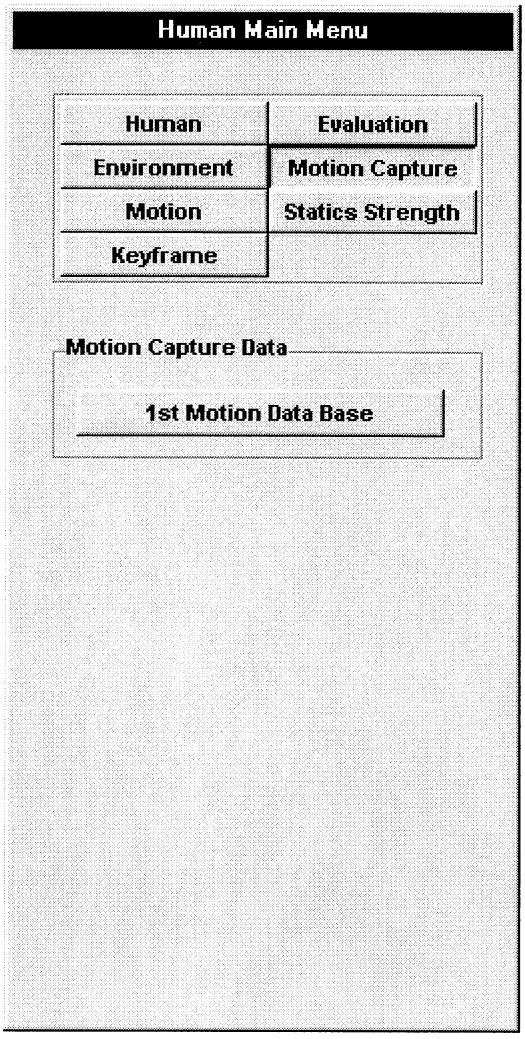


図 44　モーションキャプチャ再生パネル

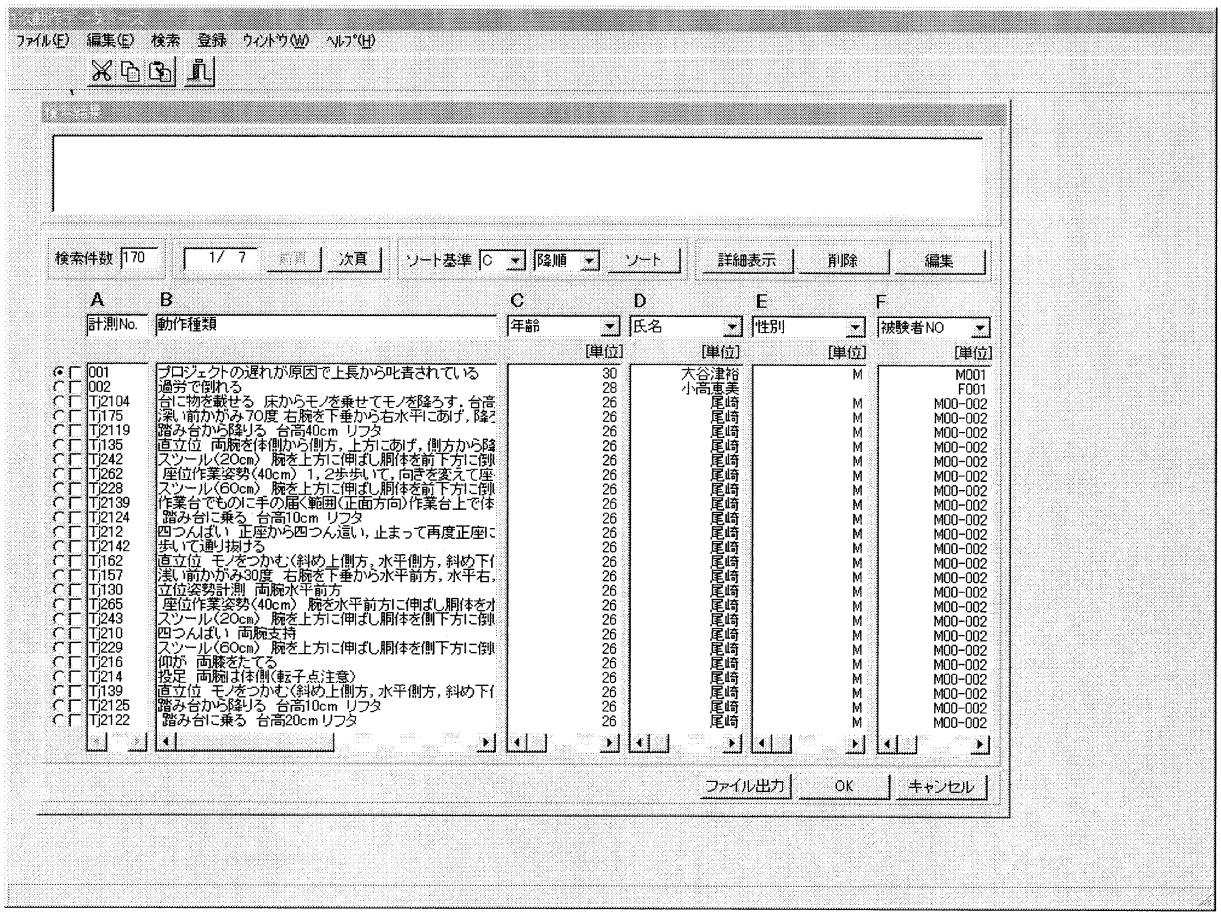


図 45　1次動作データベースコントロールウィンドウ

動作データベースシステムに関する詳細は12章を参照して下さい。

10. 負荷評価

メインパネルにおいて、[Statics Strength]ボタンを押下することにより、のような負荷評価パネルが表示されます。[Buoyancy]トグルが[on]の場合は、解析開始時に図 47パネルが表示されますので、浮力計算に必要な水面の高さを決定して下さい。

[Active Analysis]ボタンは、手先、足先へのロードをにより図 48により設定した（体重の%でロードを設定します）解析を行い、[Passive Analysis]ボタンでは、特にロードのない場合での負荷を計算します。[Set Detail]ボタンにより、図 49パネルが表示され、境界条件などを細かく設定した解析を行うことができます。[Concrete Posture Analysis]は、特定の動作（種類を[Kind]トグルで設定）に対する解析を実行します。現在は着座姿勢のみが実装されています。

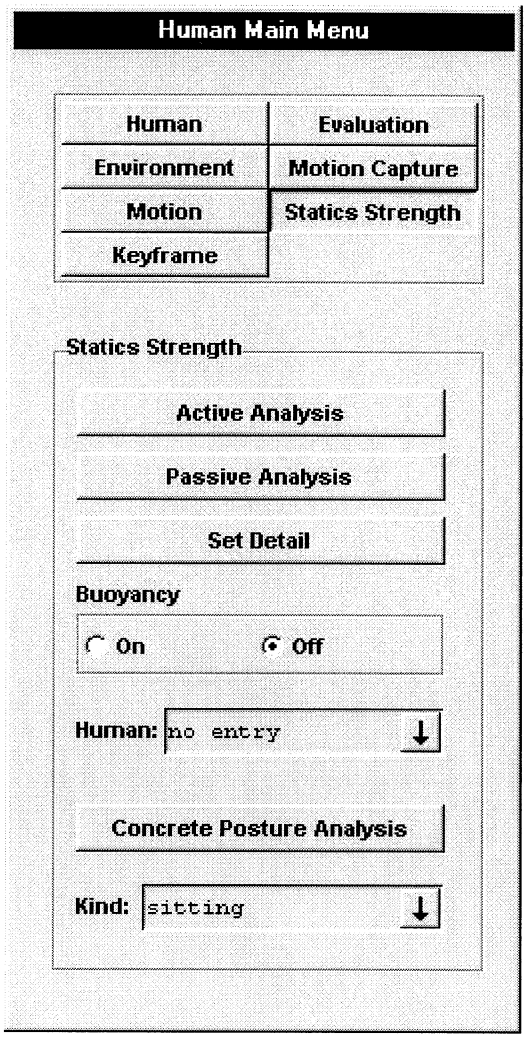


図 46　負荷評価パネル

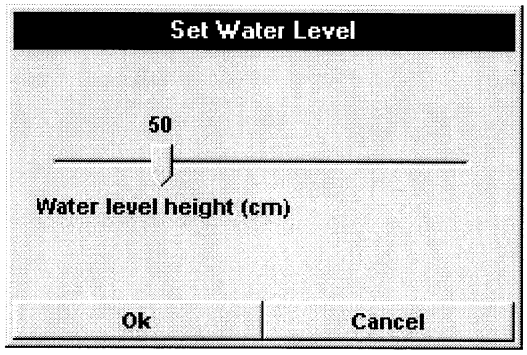


図 47　水面高さ設定パネル

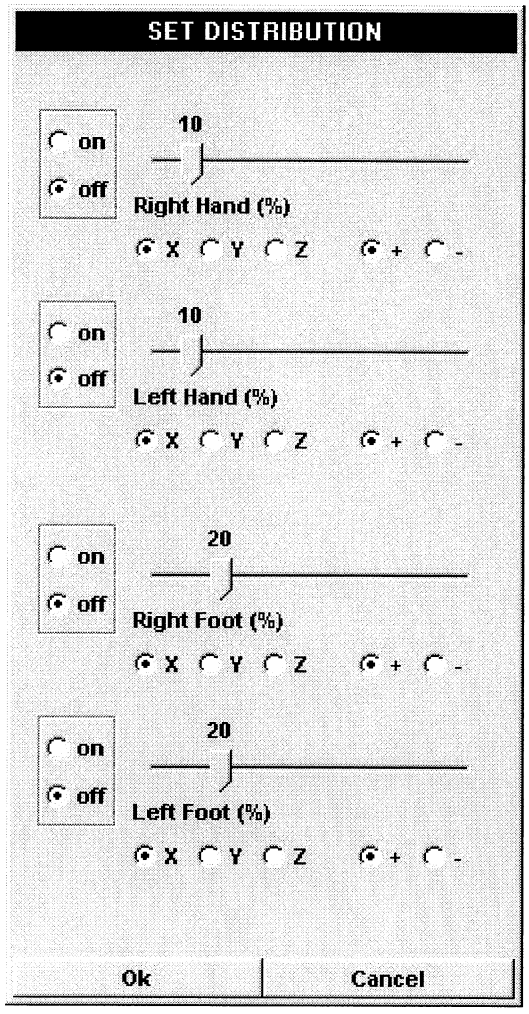


図 48　手先、足先ロード設定パネル

10.1. 境界条件設定

[Select Join]コンボボックスで境界条件を設定する関節位置を選択します。選択されたら、その時点での関節点の境界条件が表示されます。必要であれば境界条件を設定します。[Frames of

Human]ボタンを[Show]にすると、人間モデルがスケルトン表示されます（図 50）。

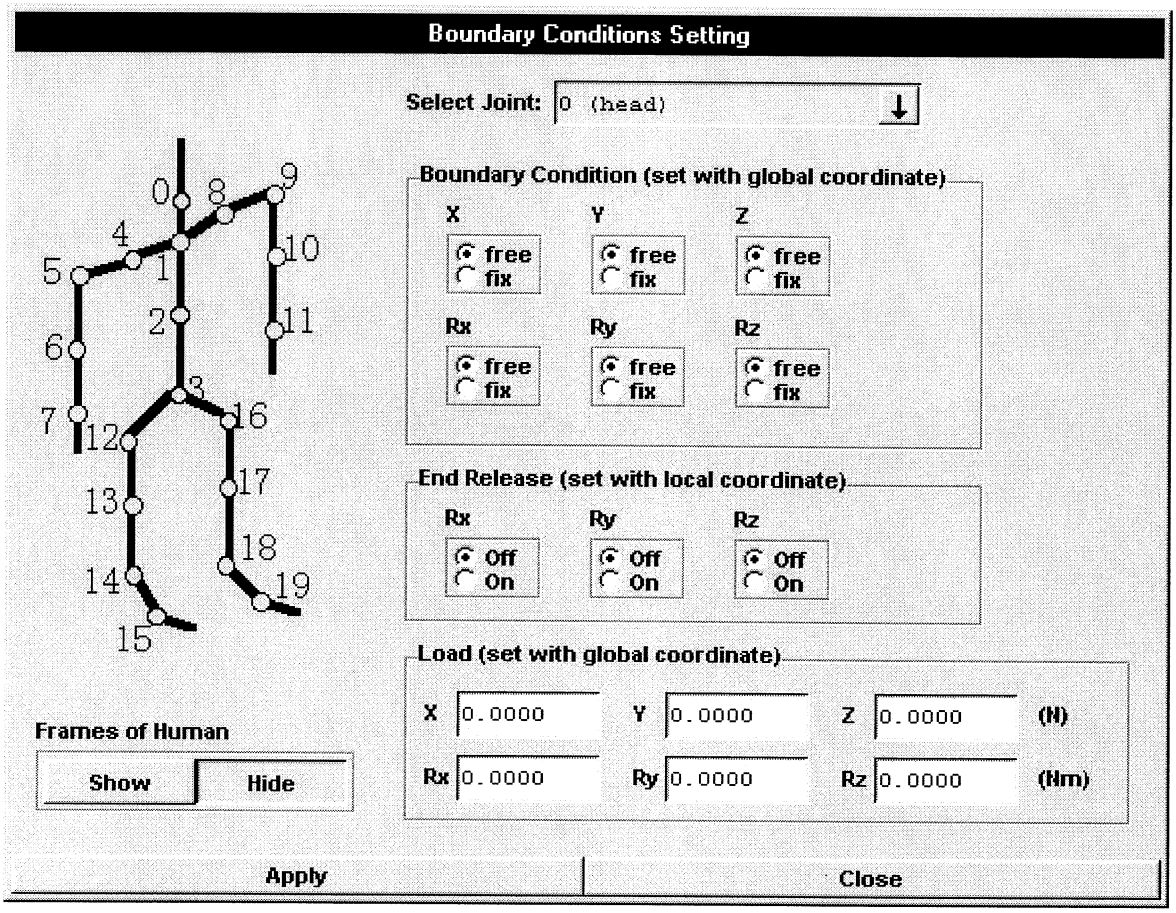


図 49　境界条件設定パネル

10.2. 解析結果表示

[Active Analysis][Passive Analysis]のいずれかのボタンが押下され、必要な条件が入力された場合は、直ちに負荷が計算され、各関節にかかるモーメントの大きさに比例した大きさのモーメント円盤が各軸まわりに表示されます（図 50）。同時に各関節へのモーメントの絶対値とその基準値（図 51）、腰部への負担パラメータの計算結果（図 52）をそれぞれ表示します。このパネルが[Close]ボタンが押下されると、仮想世界のモーメント円盤も削除されます。

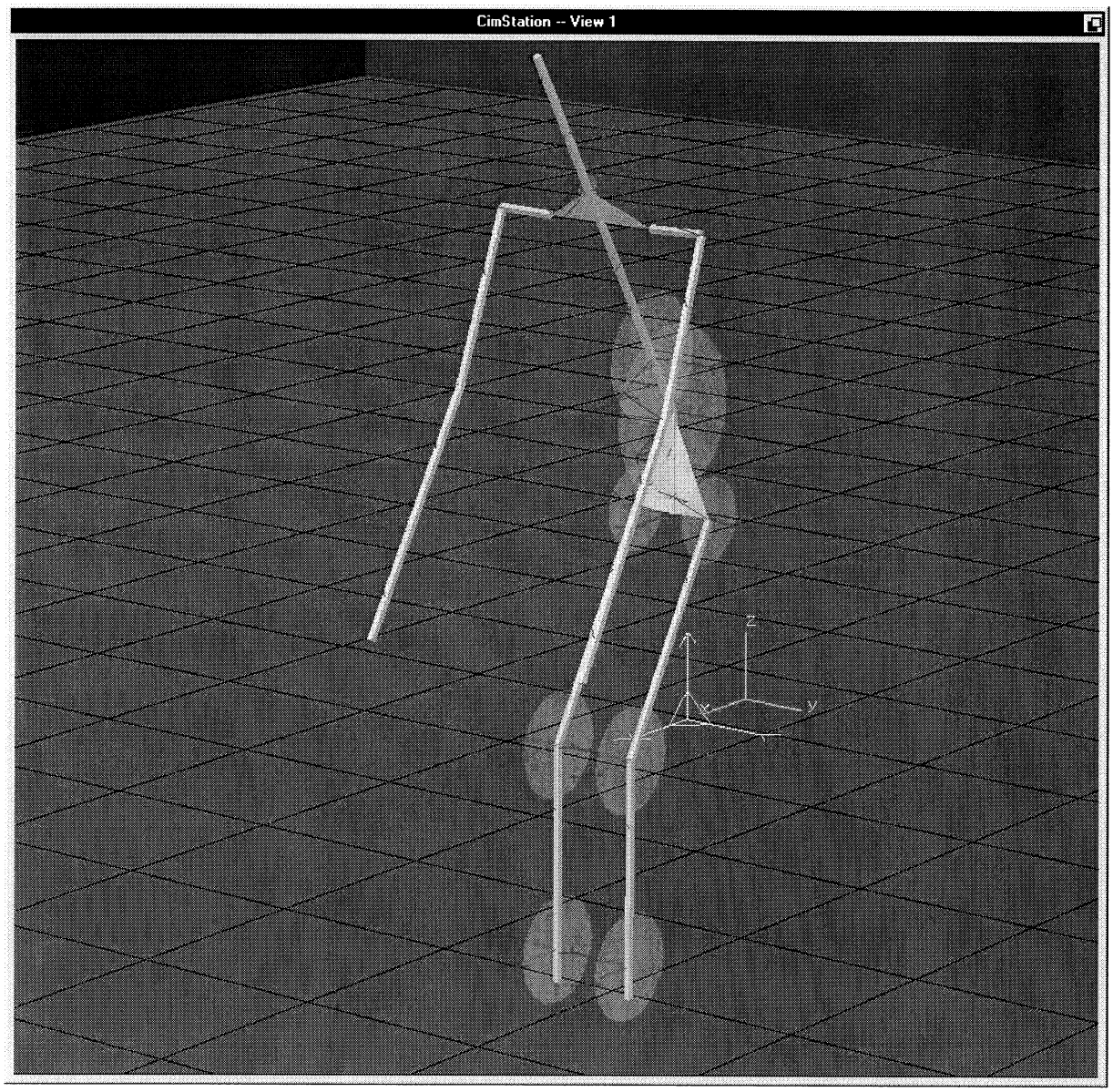


図 50　人間モデルフレーム表示とモーメント円盤表示

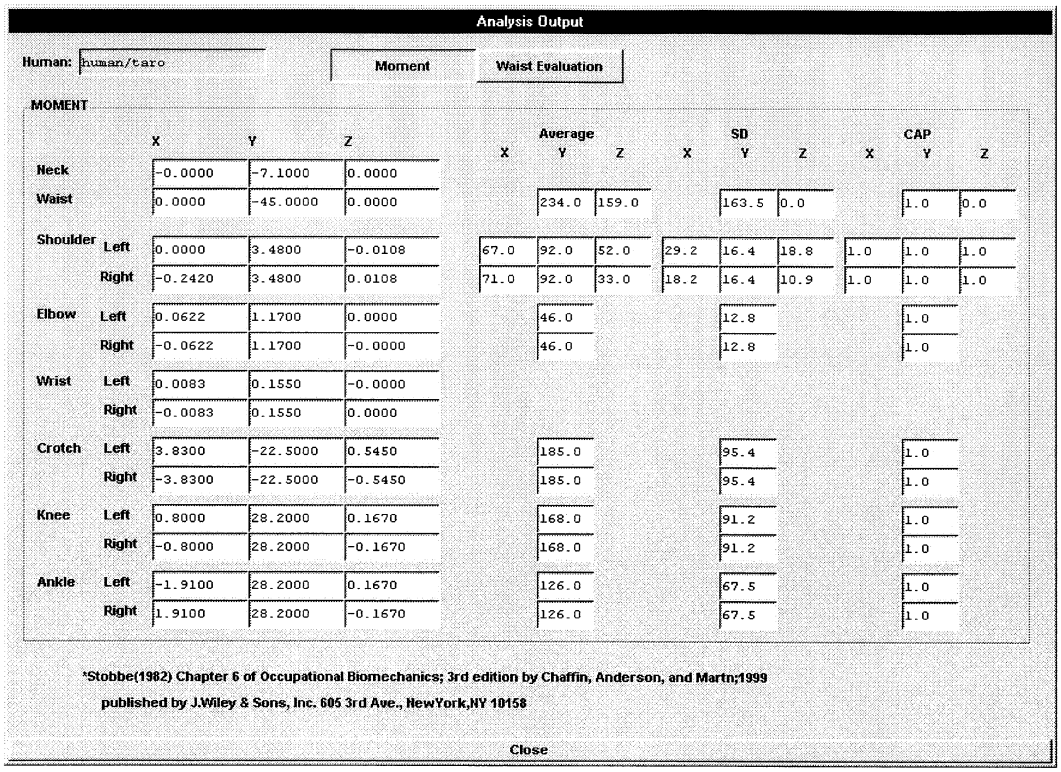


図 51　負荷評価結果（各関節モーメント）

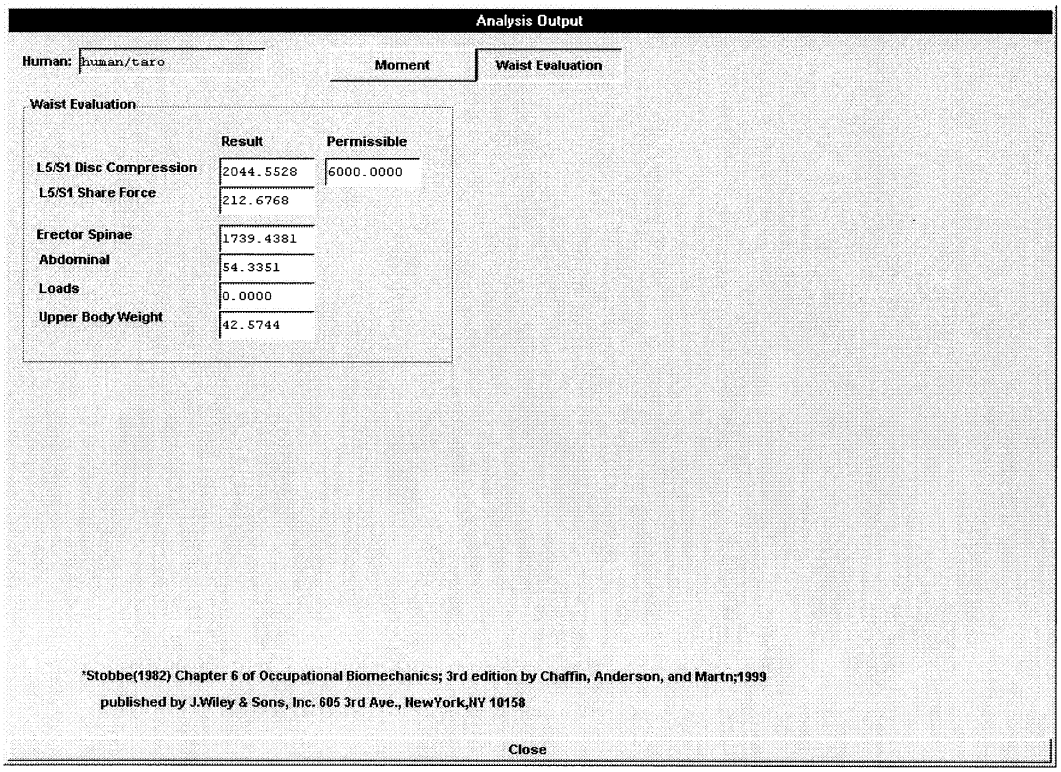


図 52　負荷評価結果（腰部負担）

11. 実行型オブジェクトによるシミュレーション実行

動作機構データの読込みにより作成された実行型オブジェクト（「hogehoge_xob」という名前をもつ）は、その階層構造によりシナリオを設定することが出来ます。直列で連続動作、並列で平行動作を指定することが出来ます（ただし一体の人間モデルに複数の動作を平行させるとエラーとなります）。この階層は、間にキーフレームオブジェクトを挟むことも可能です。また、キーフレーム（列）だけの動作生成の際は、キーフレーム（列）オブジェクトを[scenario/key_play_xob]オブジェクトの子オブジェクトとして、これを実行すれば動作生成可能です。

実行型オブジェクトは「Quick Pick」において実行するオブジェクトを右クリックすることにより、図 53のようなメニューが表示されるので、そこでスタートを選択すれば動作が開始されます。

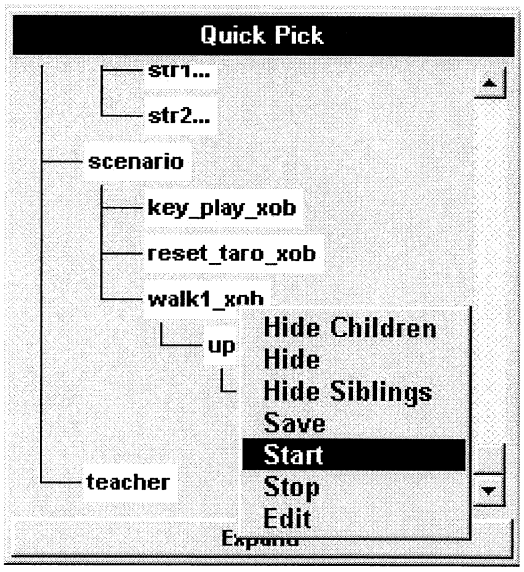


図 53　実行型オブジェクトの起動法

12.動作データベースシステム

動作データベースシステムには、VICON データを基にしたモーションキャプチャ再生データを管理する１次動作データベースシステムと動作機構データを管理する２次動作データベースシステムがあります。

12.1. １次動作データベースシステム

１次動作データベースシステムが起動されると、図 54に示すウィンドウが現れます。

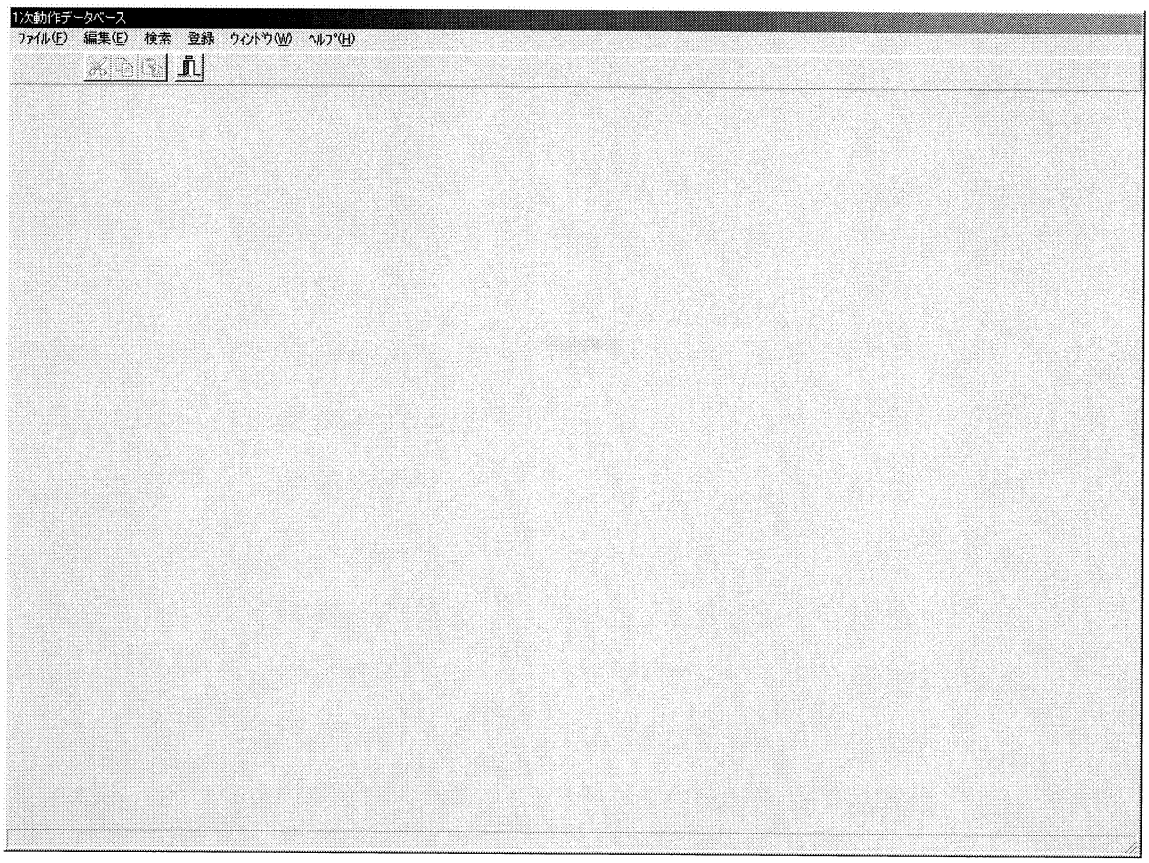


図 54　１次動作データベースシステム　メインウィンドウ

12.1.1. 検索からファイル出力

モーションキャプチャ再生データを１次動作データベースから取り出すまでの手順を示します。

（1）　メインウィンドウの＜検索＞メニューをクリックして、＜条件設定＞をクリックします。図 55に示すウィンドウが現れます。

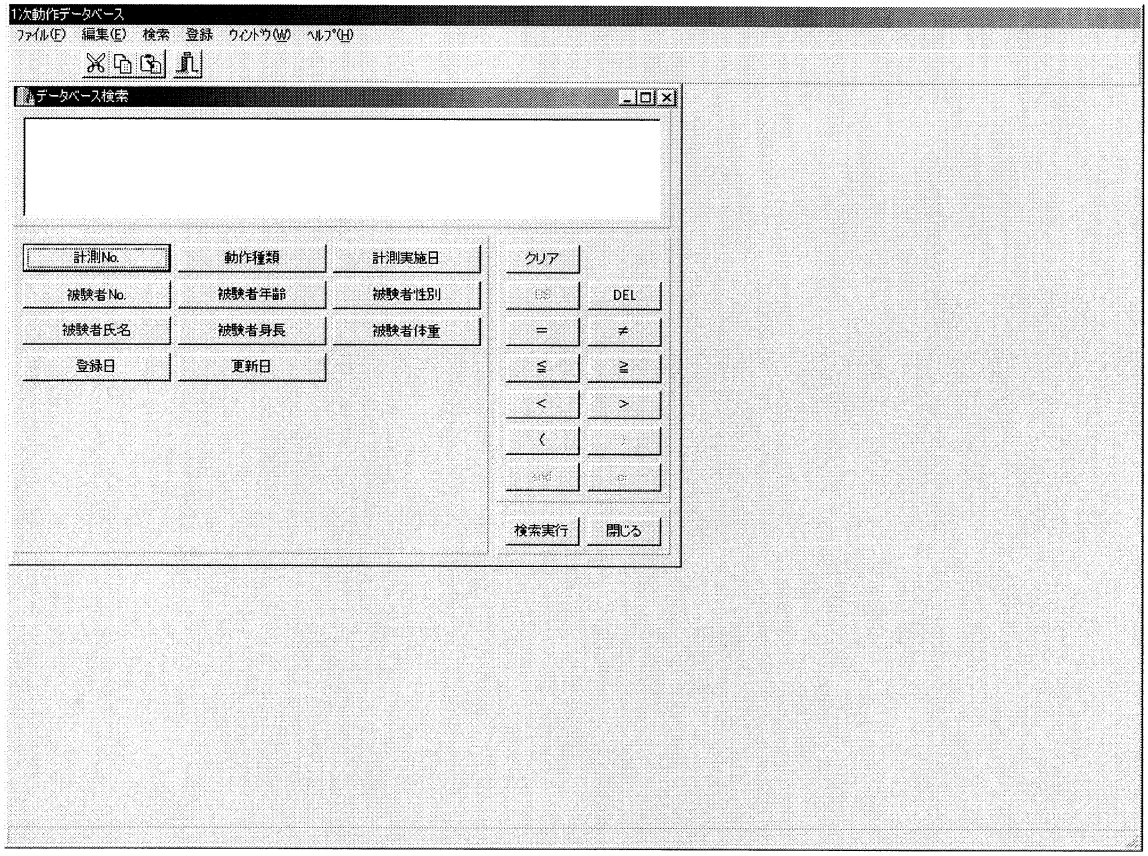


図 55　条件設定ウィンドウ

（2）　項目ボタンや論理演算ボタンをクリックして検索条件式を作成し、＜検索実行＞ボタンをクリックします。条件式には、ワイルドカード「*（半角)」が利用可能です。

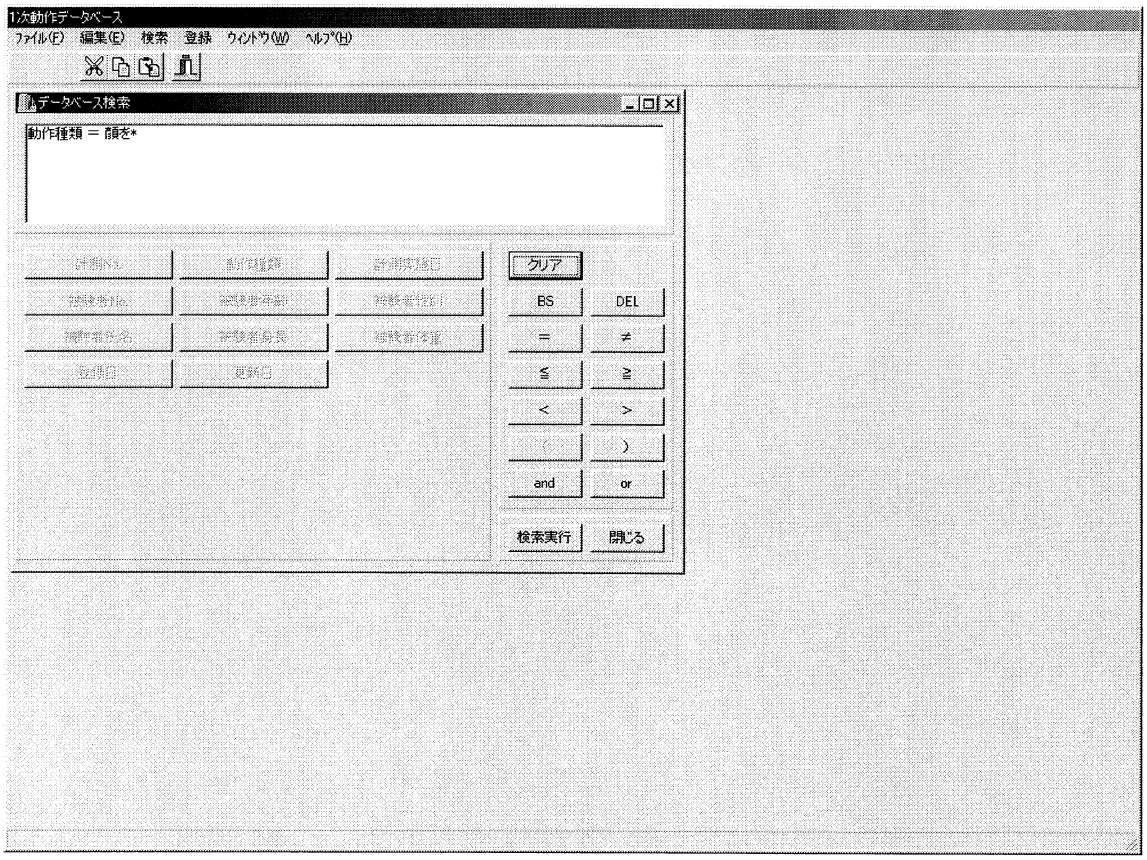


図 56　条件設定ウィンドウ（条件設定）

（3）　図 57のように、ヒット件数が表示されます。

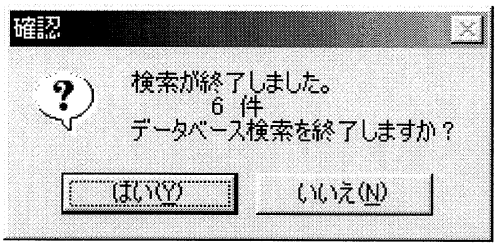


図 57　確認ウィンドウ

(4)　メインウィンドウの＜検索＞メニューをクリックして、＜結果＞をクリックします。図 58のような、結果ウィンドウが表示されます。

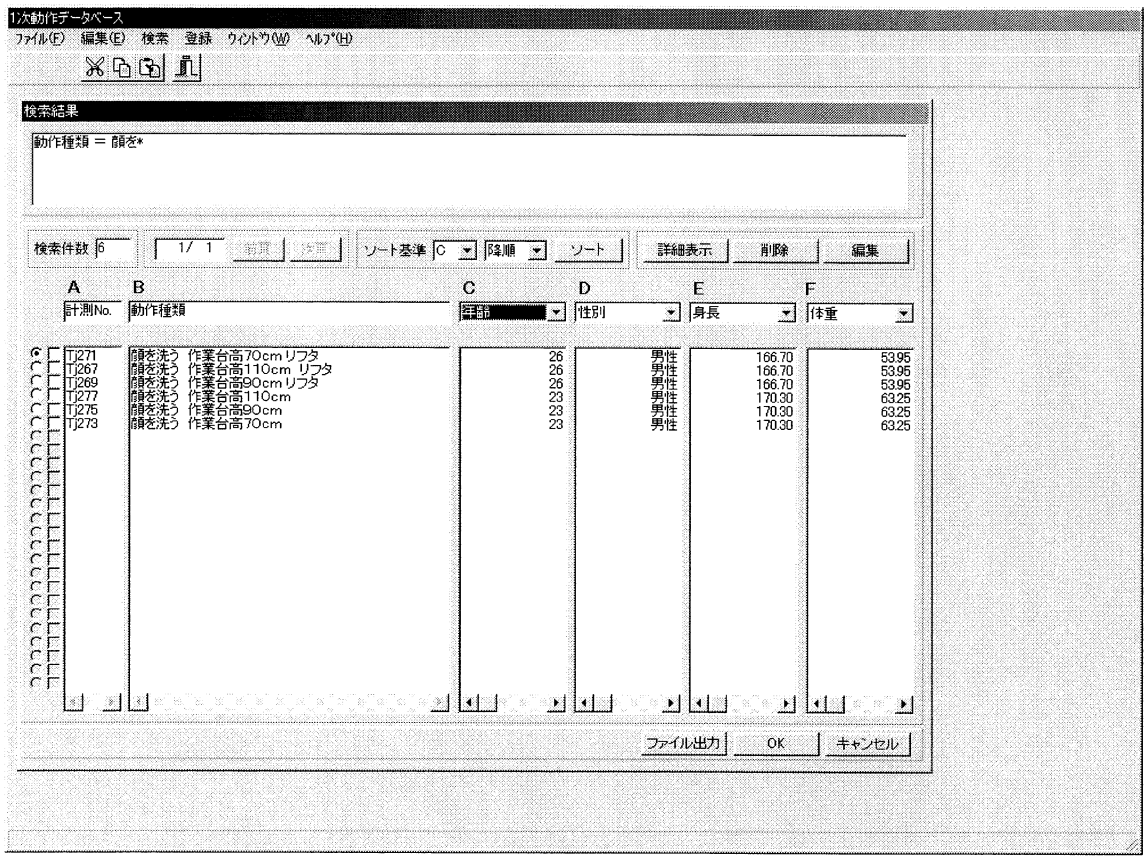


図 58　結果ウィンドウ

- ＡからＦの項目で、表示順を並び替えることができます。ソート基準枠で項目ＡからＦ、降順・昇順を指定して、＜ソート＞ボタンをクリックします。
- Ｃから Ｆ の項目は、コンボボックスをクリックすることにより、表示内容を変更することができます。

(5)　出力するデータのラジオボタンをクリックして、＜ファイル出力＞ボタンをクリックします。該当ファイルが出力され、１次動作データベースのメインウィンドウが閉じられます。

12.1.2. 被験者データの参照・修正・削除

図 58　結果ウィンドウからは、被験者の詳細データを参照・編集することができます。

- 詳細表示

  表示するデータのラジオボタンをクリックして、<詳細表示>ボタンをクリックします。図 59に示すウィンドウが表示されます。ウィンドウを閉じるには、<キャンセル>ボタンをクリックします。

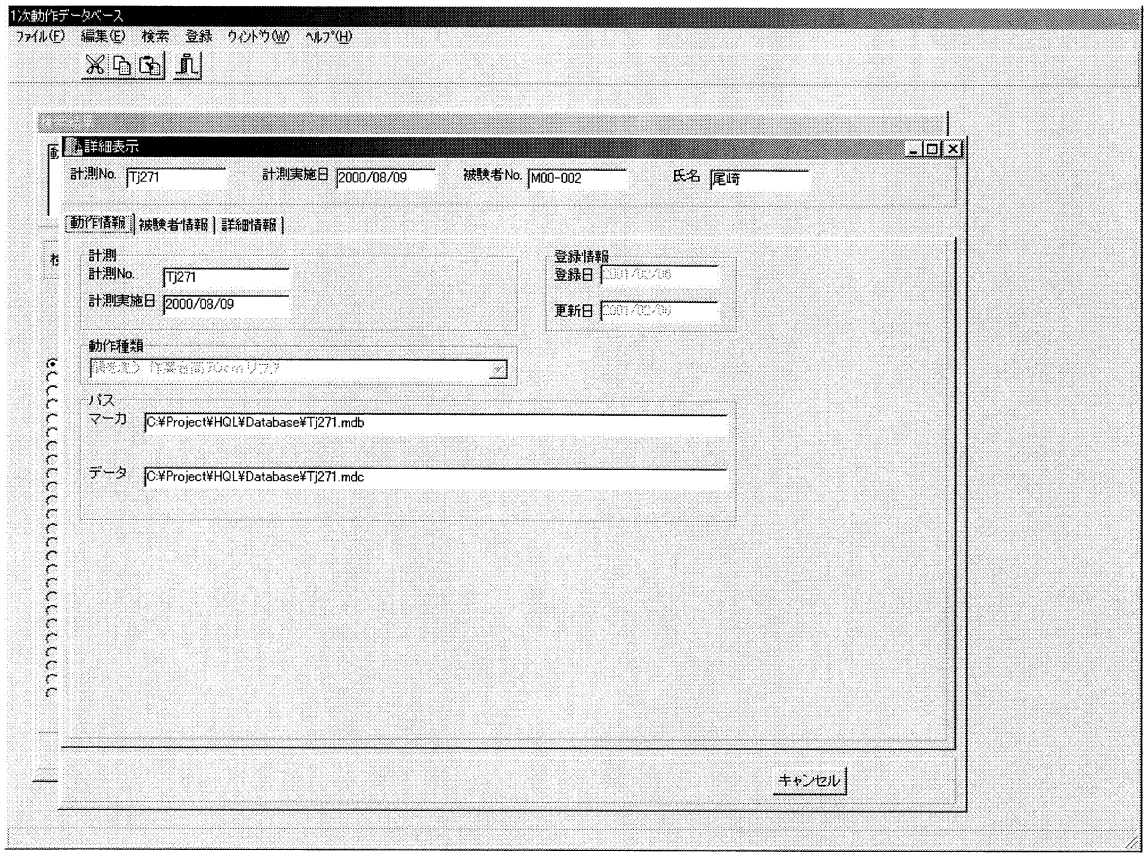


図 59　詳細表示ウィンドウ

- 修正
  編集するデータのラジオボタンをクリックして、＜編集＞ボタンをクリックし、＜属性＞を選択します。図 60に示すが表示されます。編集結果をＤＢに反映してウィンドウを閉じるには、＜ＯＫ＞ボタンをクリックします。ウィンドウはそのままで編集結果をＤＢに反映するには、＜適用＞ボタンをクリックします。編集結果をキャンセルしウィンドウを閉じるには、＜キャンセル＞ボタンをクリックします。

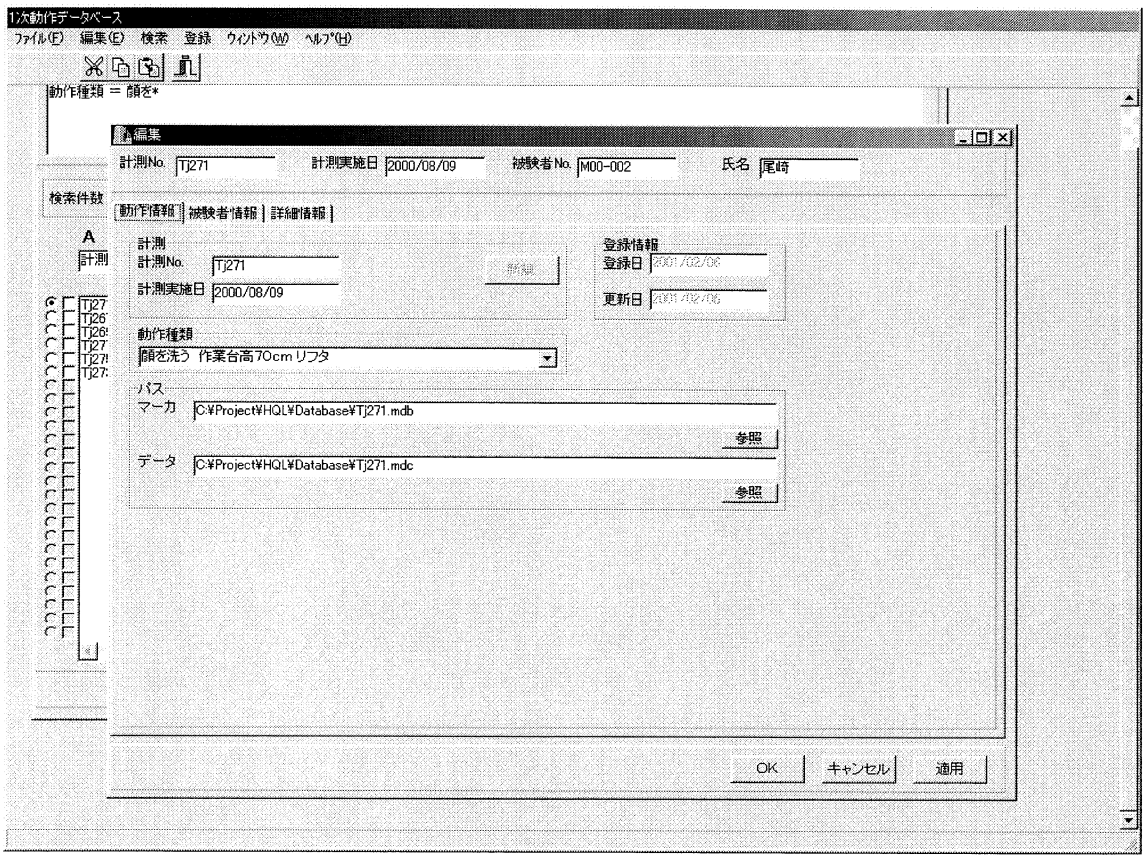


図 60　修正ウィンドウ

- 削除
  削除するデータのチェックボタンをクリックして、＜削除＞ボタンをクリックします。

12.1.3. 登録

VICON ファイルをモーションキャプチャ再生データとして１次動作データベースに登録することができます。登録の手順を示します。

（1）メインウィンドウの＜登録＞メニューから＜登録＞を選択します。図 61に示す登録ウィンドウが現れます。

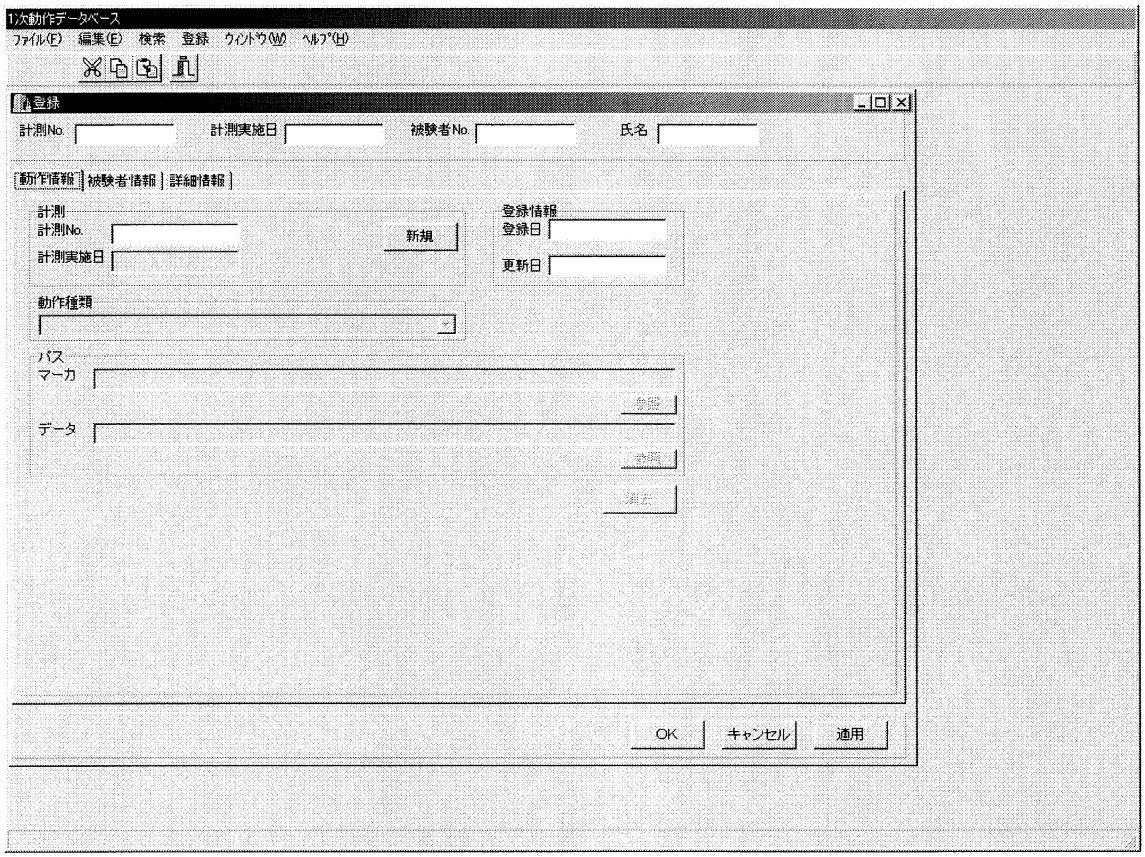


図 61　登録ウィンドウ

（2）計測 No.を入力して、＜新規＞ボタンをクリックします。クリック後、計測実施日以降が入力可能となります。

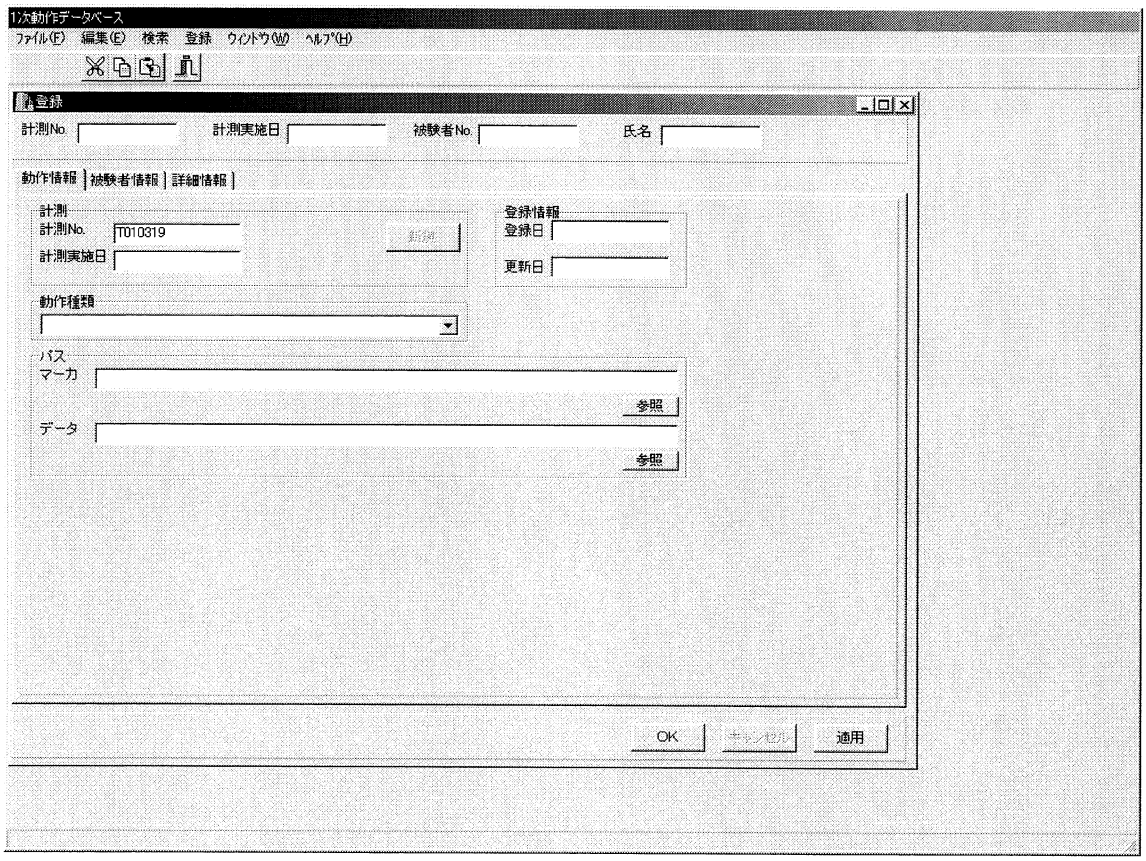


図 62　動作情報タブ

- VICON のマーカファイルのパスはマーカ欄に、データファイルはデータ欄に設定します。＜参照＞ボタンをクリックすると、ファイルダイアログが表示され、ダイアログからマーカファイル・データファイルを指定することができます。

（3）＜被験者情報＞タブをクリックして、被験者情報を入力します。既に被験者情報を入力していた場合、被験者 No を入力し＜照会＞ボタンをクリックして照会することができます。

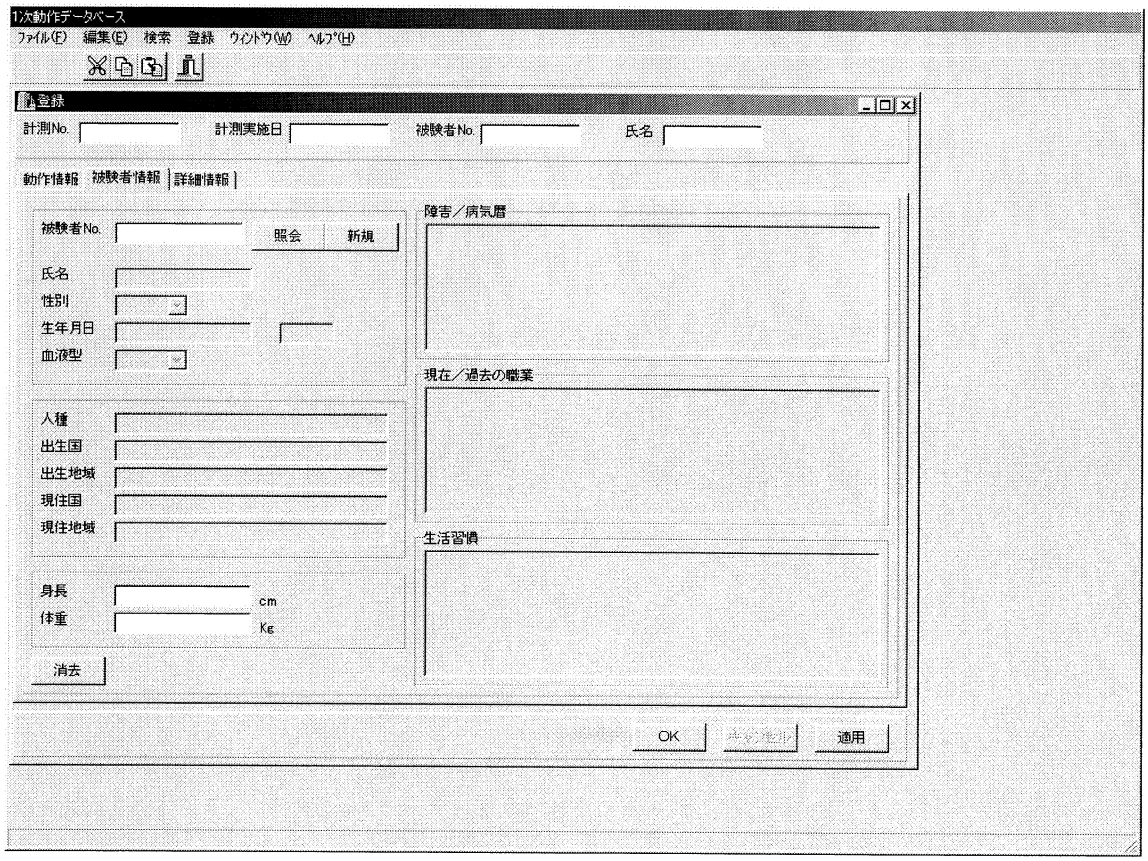


図 63　被験者情報タブ

（4）入力内容をＤＢに反映してウィンドウを閉じるには、＜ＯＫ＞ボタンをクリックします。ウィンドウはそのままで入力内容をＤＢに反映するには、＜適用＞ボタンをクリックします。入力内容をキャンセルしウィンドウを閉じるには、＜キャンセル＞ボタンをクリックします。

12.2. ２次動作データベースシステム

２次動作データベースシステムが起動されると、図 64に示すウィンドウが現れます。

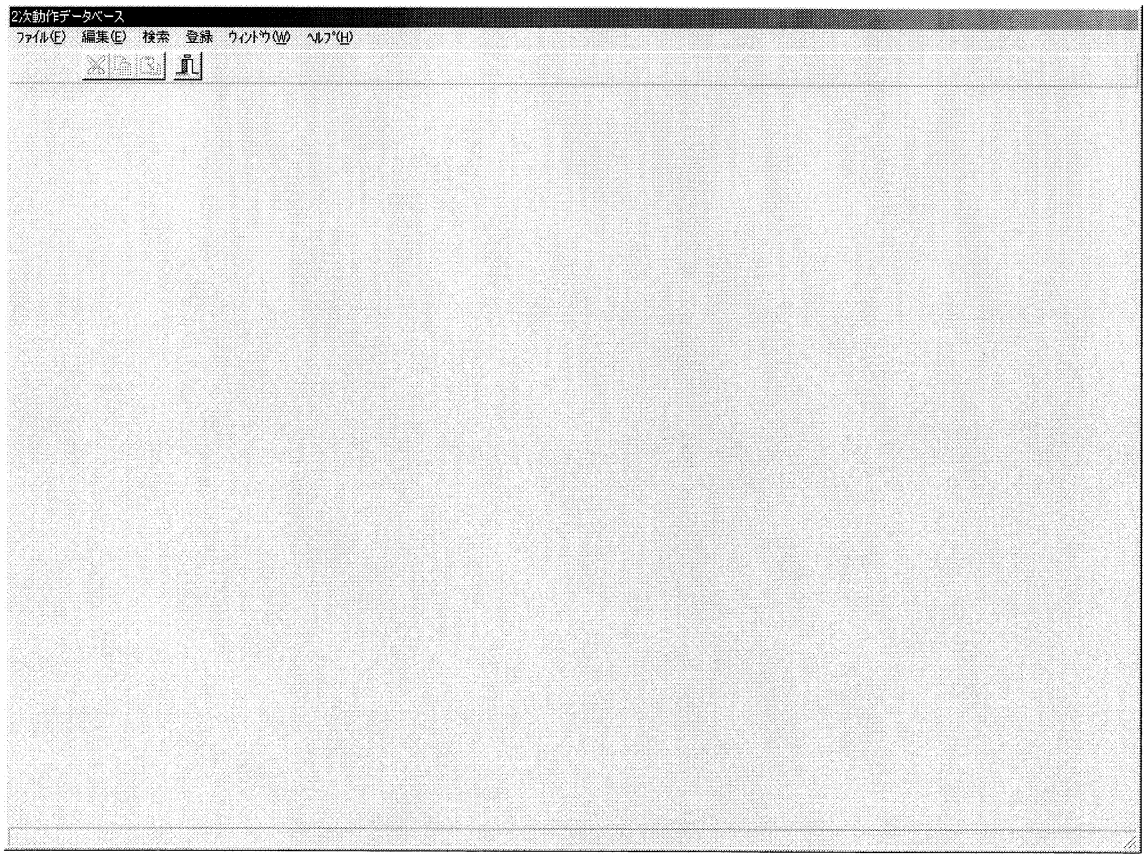


図 64　２次動作データベースシステム　メインウィンドウ

12.2.1. 検索からファイル出力

動作機構データを２次動作データベースから取り出すまでの手順を示します。

（1）　メインウィンドウの<検索>メニューをクリックして、<条件設定>をクリックします。図 65に示すウィンドウが現れます。

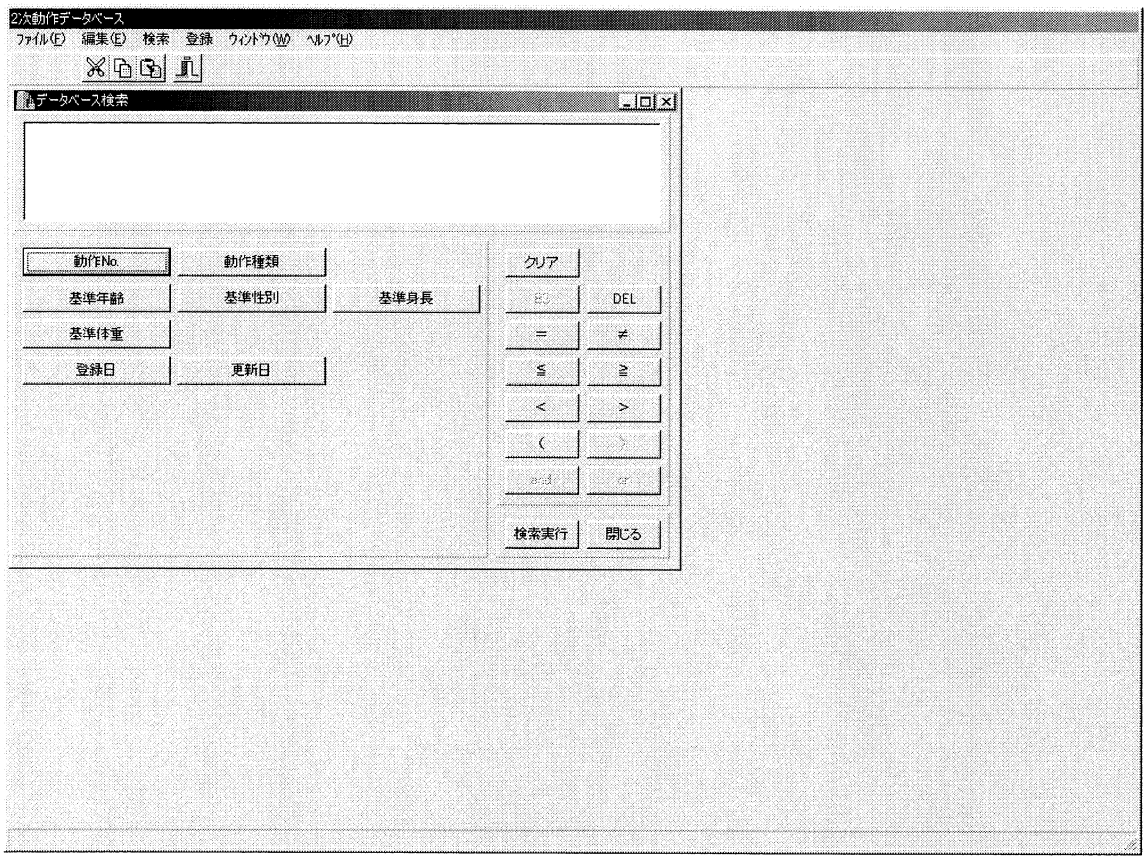


図 65　条件設定ウィンドウ

（2）　項目ボタンや論理演算ボタンをクリックして検索条件式を作成し、＜検索実行＞ボタンをクリックします。条件式には、ワイルドカード「*（半角)」が利用可能です。

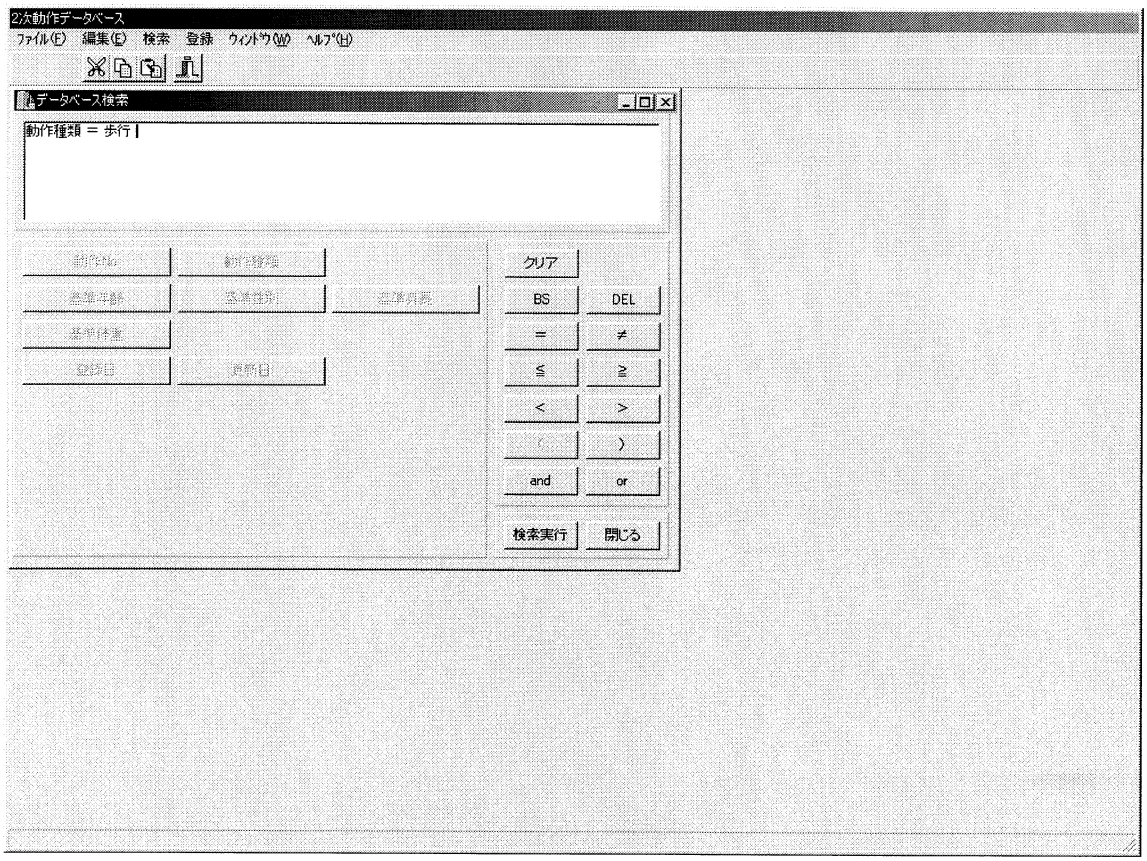


図 66　条件設定ウィンドウ（条件設定）

（3）　図 67に示すように、ヒット件数が表示されます。

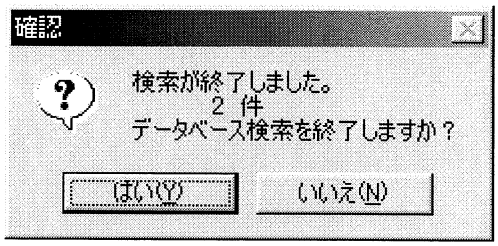


図 67　確認ウィンドウ

(4)　メインウィンドウの＜検索＞メニューをクリックして、＜結果＞をクリックします。図 68に示す検索結果ウィンドウが表示されます。

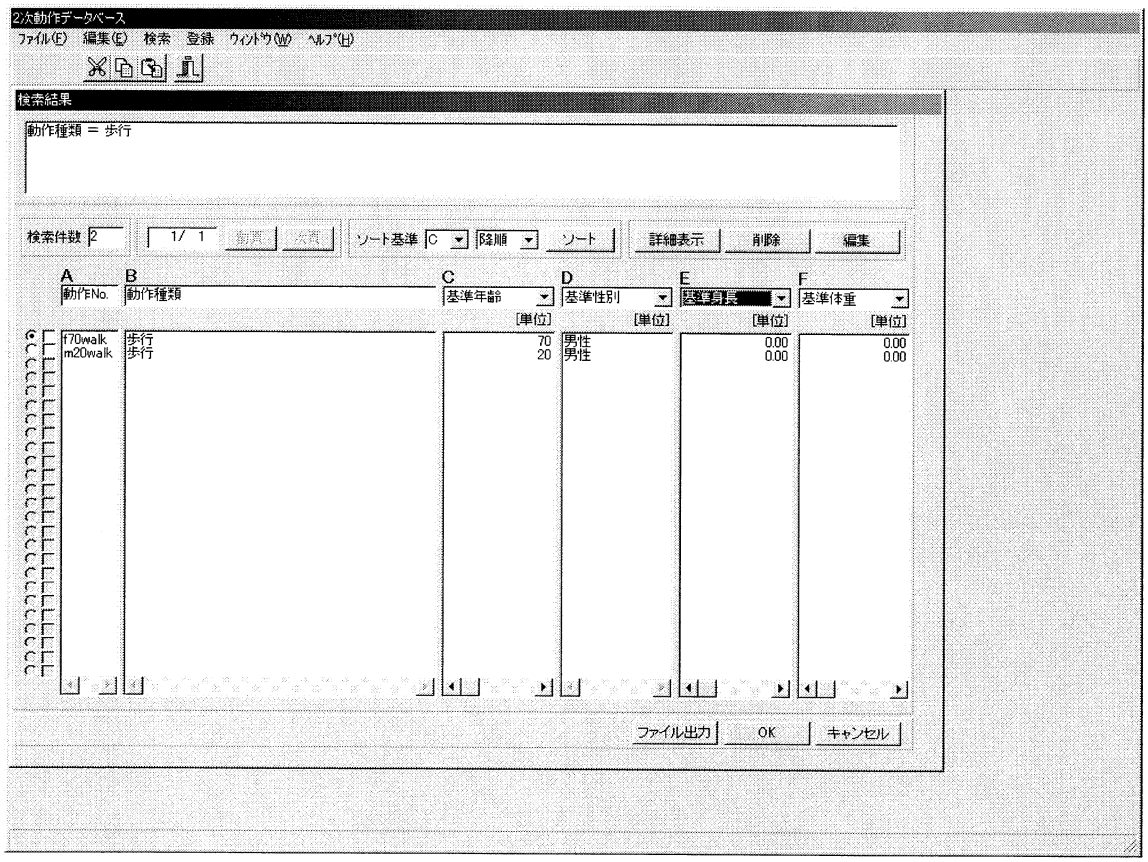


図 68　結果ウィンドウ

- ＡからＦの項目で、表示順を並び替えることができます。ソート基準枠で項目ＡからＦ、降順・昇順を指定して、＜ソート＞ボタンをクリックします。
- Ｃから Ｆ の項目は、コンボボックスをクリックすることにより、表示内容を変更することができます。

(5)　出力するデータのラジオボタンをクリックして、＜ファイル出力＞ボタンをクリックします。該当ファイルが出力され、メインウィンドウが閉じられます。

12.2.2. 被験者データの参照・修正・削除

図 68　結果ウィンドウからは、被験者の詳細データを参照・編集することができます。

- 詳細表示

  表示するデータのラジオボタンをクリックして、<詳細表示>ボタンをクリックします。図 69に示す詳細参照ウィンドウが表示されます。ウィンドウを閉じるには、<キャンセル>ボタンをクリックします。

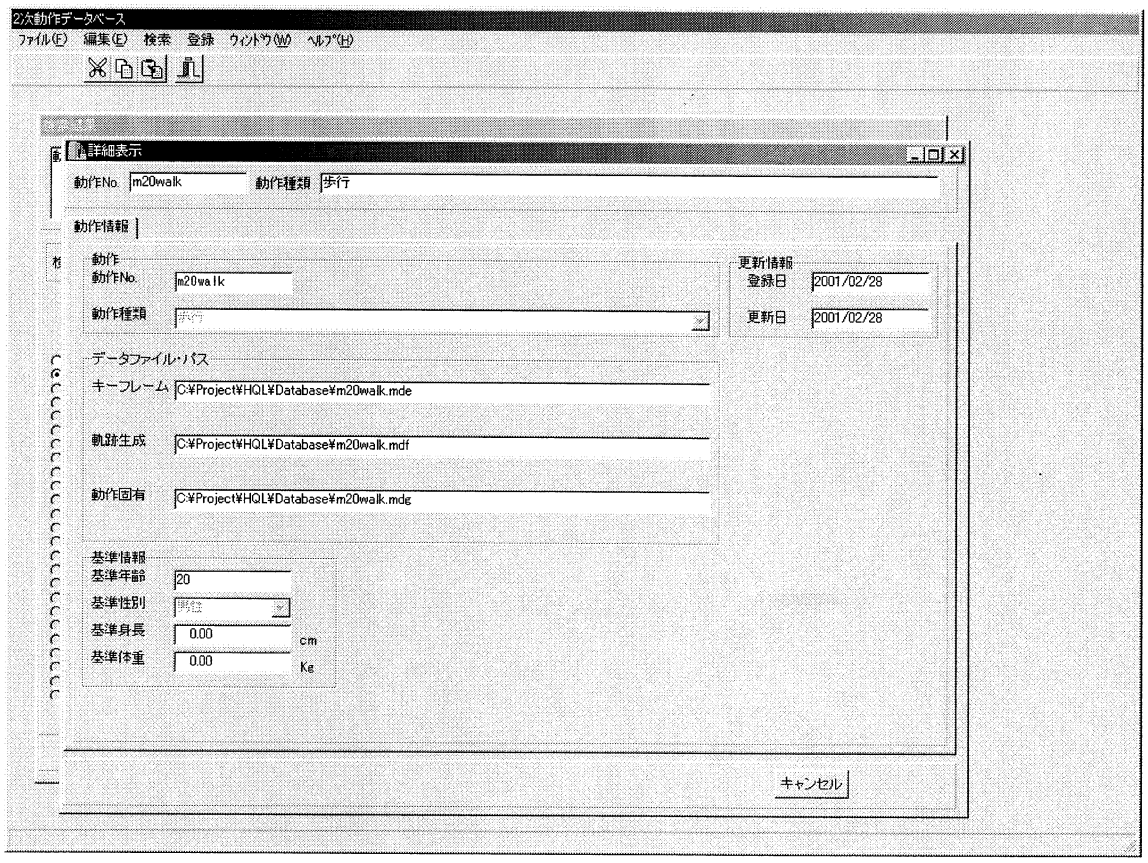


図 69　詳細表示ウィンドウ

- 修正
  編集するデータのラジオボタンをクリックして、＜編集＞ボタンをクリックし、＜属性＞を選択します。図 70に示す修正ウィンドウが表示されます。編集結果をＤＢに反映してウィンドウを閉じるには、＜ＯＫ＞ボタンをクリックします。ウィンドウはそのままで編集結果をＤＢに反映するには、＜適用＞ボタンをクリックします。編集結果をキャンセルしウィンドウを閉じるには、＜キャンセル＞ボタンをクリックします。

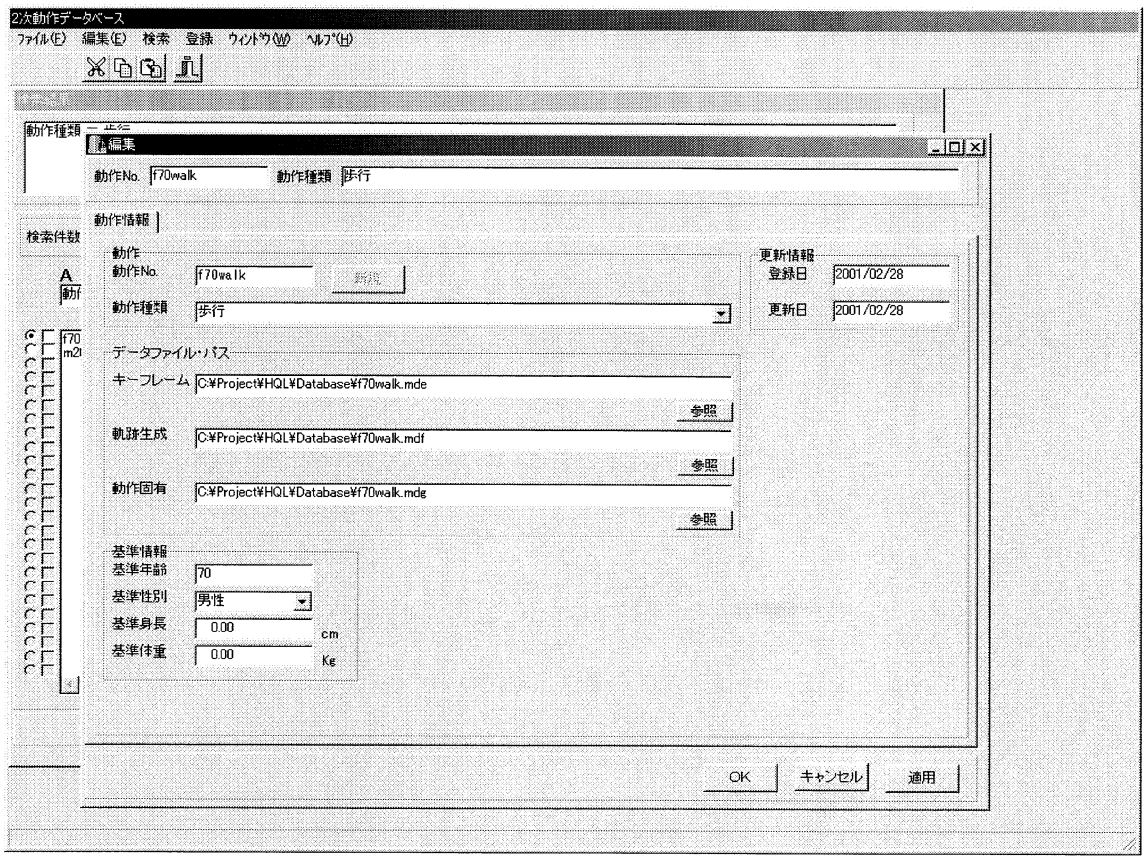


図 70　修正ウィンドウ

- 削除
  削除するデータのチェックボタンをクリックして、＜削除＞ボタンをクリックします。

12.2.3. 登録

２次動作データを２次動作データベースに登録することができます。登録の手順を示します。

（1）メインウィンドウの＜登録＞メニューから＜登録＞を選択します。図 71に示す登録ウィンドウが現れます。

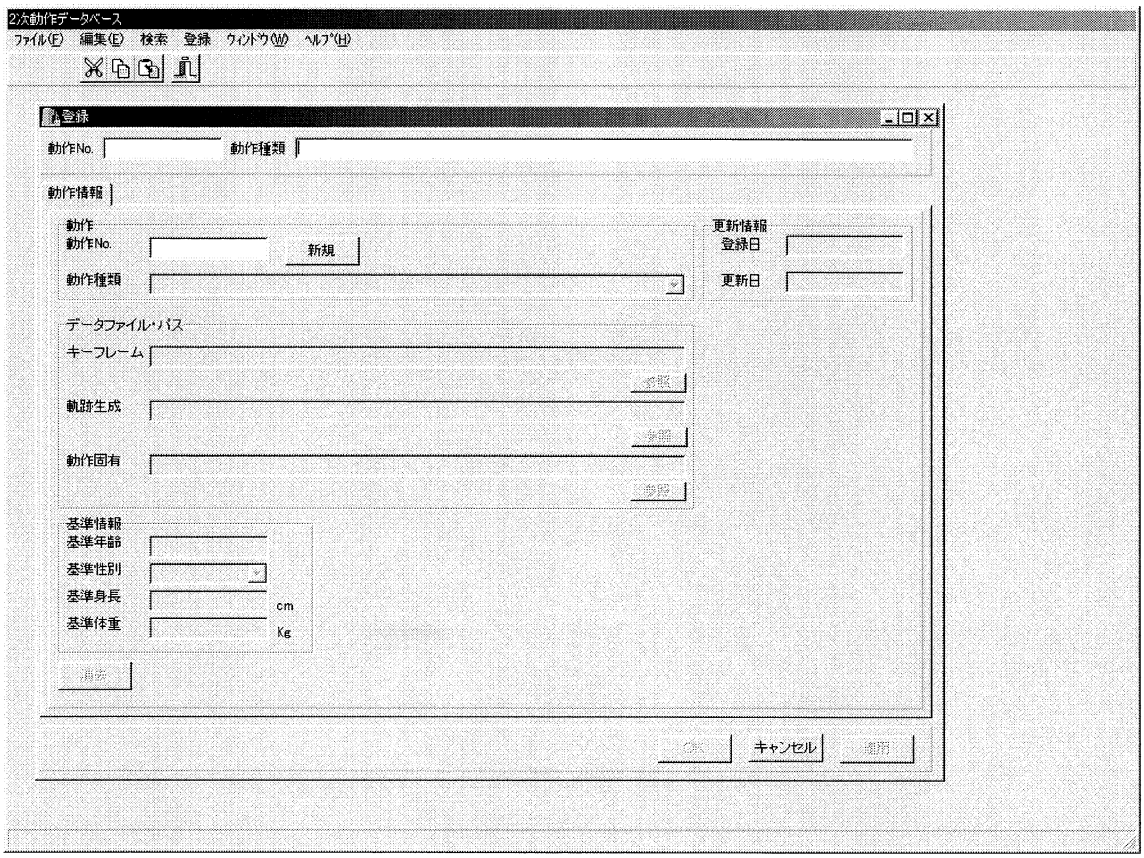


図 71　登録ウィンドウ

（2）動作 No.を入力して、＜新規＞ボタンをクリックします。ボタンのクリック後、動作種類以降が入力可能となります。

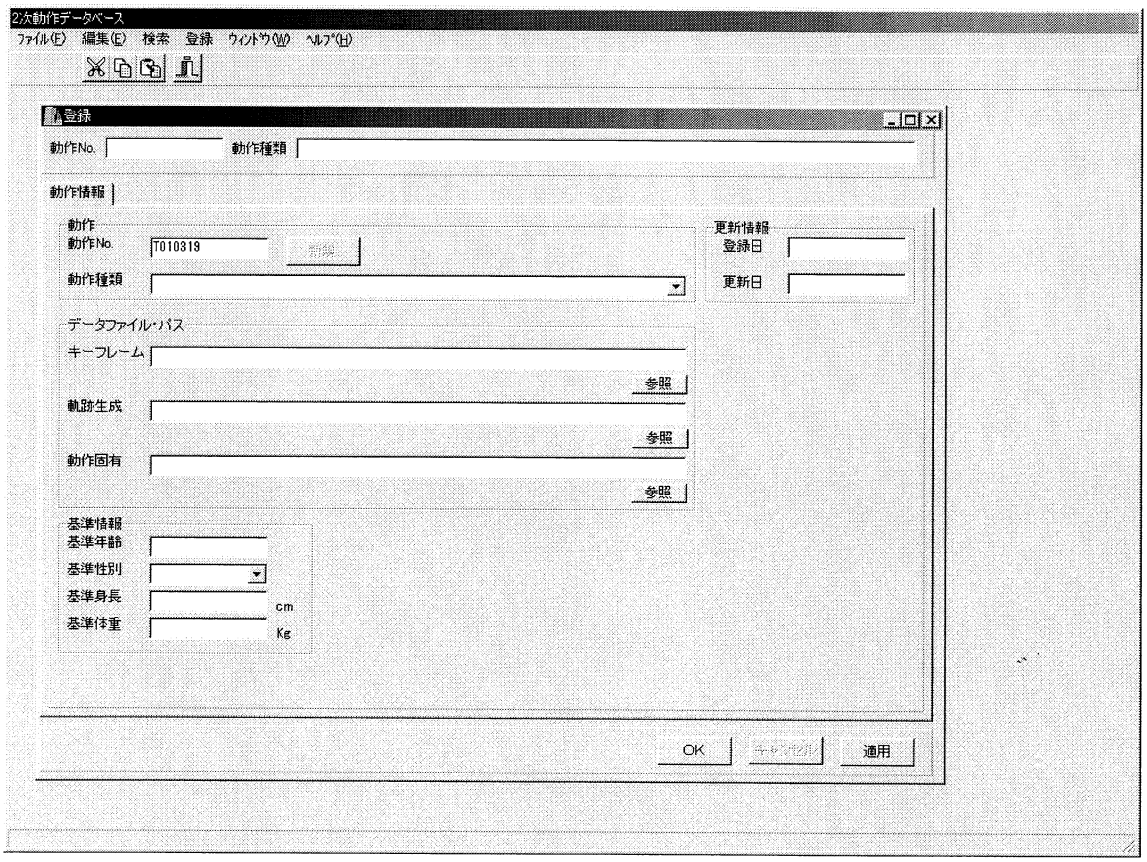


図 72　動作情報タブ

- キーフレームファイルパスはキーフレーム欄に、軌跡生成ファイルパスは軌跡生成欄に、動作固有ファイルパスは動作固有欄に設定します。＜参照＞ボタンをクリックすると、ファイルダイアログが表示され、ダイアログからキーフレームファイルパス・軌跡生成ファイルパス・動作固有ファイルパスを指定することができます。
- キーフレームファイルパスのみを設定することもできます。

（3）入力内容をＤＢに反映してウィンドウを閉じるには、＜ＯＫ＞ボタンをクリックします。ウィンドウはそのままで入力内容をＤＢに反映するには、＜適用＞ボタンをクリックします。入力内容をキャンセルしウィンドウを閉じるには、＜キャンセル＞ボタンをクリックします。

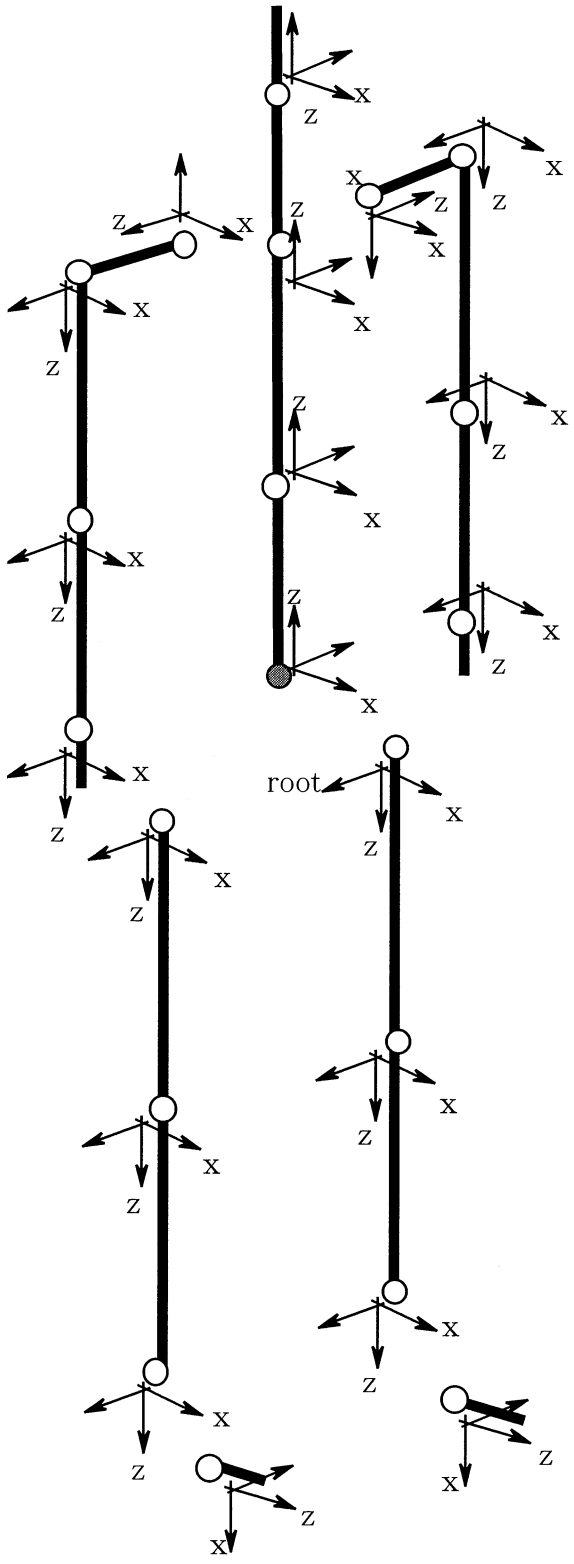


図 73　人間モデル関節ローカル座標系

資料３

共通データ定義
（形態モデルと動態モデルのインタフェース）

１．共通データの概要

高齢者動態モデルの研究開発、高齢者形態モデルの研究開発において利用するデータにおいては、人体の特性を表すデータ項目など両システムで共通化されるべきデータが多い。今回の研究開発において、動態モデル・形態モデルで共通データとして使用するデータを以下に定義する。

２．共通データの方針

共通化するデータとしては、以下のものを対象とする。

① モデル定義関連のデータ

② モデル生成関連のデータ・推定手法

③ モデルの制約・属性に関わるデータ

④ 標準体型に関するデータ

⑤ 動態・形態間の交換データ（インタフェースデータ）

３．モデル定義関連のデータ項目

データ項目 大分類	内　　容
セグメント名	部位の名称を表す。 形態モデルでは、パーツ名にあたる
リンク名	リンクの名称を表す。 形態モデルでは、スティック名にあたる
関節部位名	関節の名称
主要１６関節点	モデルを構成する主要な１６個の関節。 従来のコンピュータ・マネキンのモデルのもつ１６関節。 自由度も含む。

４．モデル生成関連のデータ・推定手法

データ項目 大分類	内　　容
寸法項目	モデルの体型を指定するために使用する寸法項目。 「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の２２ページの表に記載の６６項目の中から抜粋する。 付録に示す６６寸法項目から抜粋した項目を使用する。
主要１６関節点の位置推定手法 （リンク長の推定手法）	以下の推定方法をベースとして、形態モデルにおいて関節位置推定方法を改良したものを使用する。 「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の５１ページ記載の 2.2.2.2 関節位置推定方法をベースとする。
部位の高さ・幅の推定手法	以下の推定方法をベースとして、形態モデルにおいて部位の厚さ・幅の推定方法を改良したものを使用する。 「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の２６～４９ページ記載の 2.2.1.2 研究開発する方法をベースとする。

5．モデルの制約・属性に関わるデータ

データ項目 大分類	内　　容
関節可動域	モデルの各関節における関節回転角の制限域 ①「**各年代における健康人の関節可動域について**」（総合リハ・８巻１号，pp.41－56，1980 年１月）の報告データを使用する。 ②ＨＱＬデータベースから推定したデータを使用する。
視野角	モデルの視野推定時に使用する視野角 ＨＱＬ提供のデータを使用する。
質量比	モデルを構成する各部位の質量の全体重に対する比 「**日本人高齢者の身体部位慣性特性**」（バイオメカニズム１３ －ヒトを知りヒトを支えるー，東京大学出版会，pp.125－138）における報告データを使用する。
重心位置	モデルを構成する各部位の重心位置 「**日本人高齢者の身体部位慣性特性**」（バイオメカニズム１３ －ヒトを知りヒトを支えるー，東京大学出版会，pp.125－138）における報告データを使用する。
回転半径	モデルを構成する各部位の回転半径（慣性モーション算出時使用） 「**日本人高齢者の身体部位慣性特性**」（バイオメカニズム１３ －ヒトを知りヒトを支えるー，東京大学出版会，pp.125－138）における報告データを使用する。

６．標準体型に関するデータ

データ項目 大分類	内　　容
主成分分析に基づく１５体型寸法データセット	「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の**2.1.2 多次元相関式の導出**に基づく。
ＩＳＯ標準（パーセンタイル）に基づく９体型 （全般）	「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の**2.1.3 人体基本体型**に基づく、２２・２３ページの結果を使用する。 性　別：男・女 年齢層：全て → １８個の寸法データセット
ＩＳＯ標準（パーセンタイル）に基づく９体型 （青年・高齢者）	「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の**2.1.3 人体基本体型**に基づき、性別・年齢層毎に体型の基準値を推定し、寸法データセットとして使用する。 性　別：男・女 年齢層：青年・高齢者 → ３６個の寸法データセット

７．動態・形態間の交換データ（インタフェースデータ）

データ項目 大分類	内　　容
形状データ	寸法設定に使用するスライスデータ スティックのスライス通過点データ
関節点データ	主要１６関節点の絶対座標値
関節可動域	主要１６関節点の関節可動域データ
質量（比）	各部位の質量（比）
重心位置	各部位の重心位置
慣性モーメント	各部位の回転半径
視野角	視野再現時の設定視野角
姿勢データ	主要１６関節点の角度データ
モデル生成時の寸法データ	指定された寸法項目の寸法データ値 年齢、性別
その他属性	

付録１　主要１６関節点

表．主要１６関節点

	関節点名称	番号
1	第１頚椎	１－１
2	第１胸椎	１－２
3	第１腰椎	１－３
4	第１仙椎	１－４
5	右肩	２－２
6	右肘	２－３
7	右手根	２－４
8	左肩	２－６
9	左肘	２－７
10	左手根	２－８
11	右股	３－１
12	右膝	３－２
13	右足根	３－３
14	左股	３－４
15	左膝	３－５
16	左足根	３－６

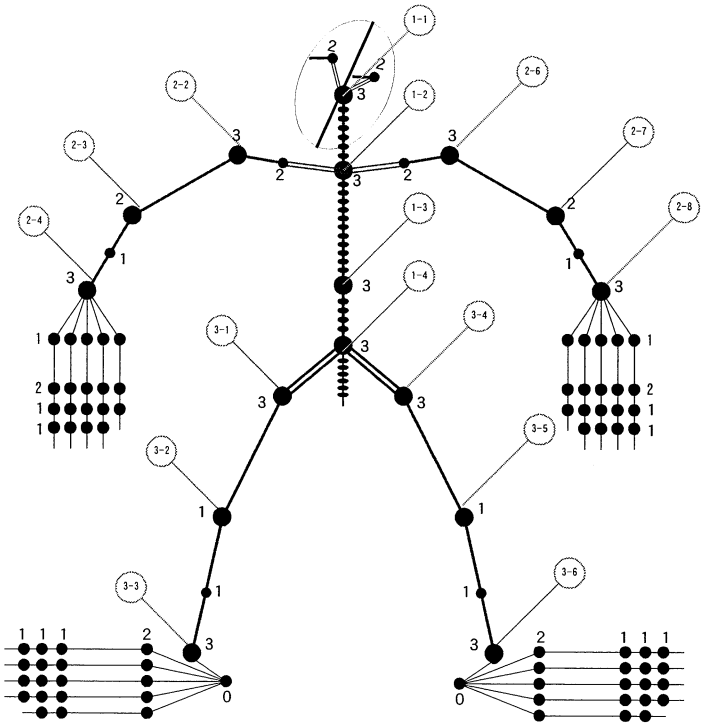


図 主要１６関節点の定義

付録２　６６寸法項目

モデルの体型を指定するために使用する寸法項目は、「平成１１年度国際特定共同研究事業 コンピュータ・マネキンに関する人体モデルの形態推定技術の研究成果報告書 平成１２年３月」の２２ページの表に記載の６６項目の中から抜粋する。該当の６６寸法項目を以下の表に示す。

表．６６寸法項目

1体重	81座位肘頭下縁高	162下腿最小囲高
2全頭高	82座位大腿中央高	164外果端高
4頭頂・瞳孔高	83座面高	169大腿囲
5頭頂・口裂高	84座位大腿厚	171下腿最大囲
7顔高	85座位臀・膝距離	174足長
8眼・オトガイ高	86座位臀・膝窩距離	176足幅(足軸直交)
10頭長	89座位臀幅	
15頭幅	91座位腹部厚径(前腕水平)	
19瞳孔間距離	94上肢挙上指尖高	
21頭矢状弧長	96橈骨点高	
22耳珠間頭頂弧長	97肘頭下縁高	
23頭囲	100指尖高	
24頸囲	101上肢長	
26身長	102上腕長	
27眼高	103前腕長	
32肩峰高	104肩峰・肘頭下縁距離	
41肩峰幅	105背・肩峰距離	
42肩幅	107背・指尖距離	
43肘間幅	109肘・指尖距離	
46胸部横径	115前腕最大囲	
50ウエスト幅	116手長	
51ヒップ幅	117手掌長	
52胸部矢状径	120手幅	
53胸部前後最大距離	128手首囲	
65乳頭位胸囲	133第2指長	
67ウエスト囲	138第2指近位関節幅	
74座高	142第2指遠位関節幅	
76座位頸椎高	156腸骨棘高	
77座位肩峰高	158股下高	
78座位眼高	160脛骨上縁高	