

# 人間共存型ロボットにおける最適な モーションデザイン基本法則の抽出

—文楽人形遣いと共同研究から発見した人に感情を伝えやすい新構造ロボットを通して—

中川 志信

## 【ロボットという機械に“こころ”がデザインできる】

人と人間共存型ロボット（以下、ロボット）が共に暮らす時代はすぐそこに来ている。少子高齢化や核家族化により単身世帯は急増する傾向にあり、社会ニーズとしても人とコミュニケーションがうまくとれるロボットの創造が期待されている。

筆者は2003年まで家電メーカーで、多くの家電製品のプロダクトデザインに長年携わってきた。しかし2004年、初めてロボットをデザインしたとき、そのプロセスと成果から、それまでの製品デザインとは全く異なる新たな感覚を受け取った。

それは、自らデザインした機械であるロボットに“こころ”を感じたことである。過去において、デザインした製品から“こころ”など一切感じたことの無い筆者が、ロボットという機械に“こころ”がデザインできると確証した瞬間でもある。

人との関係性が良くなるよう、このロボットに首の傾げやヨチヨチ歩きを盛り込み人にロボットの感情が伝わるようデザインしてきたが、作者である筆者自身が感情移入したのである。例えば、このロボットを筆者が「この子」と呼ぶようになったり、痛がら



図1 筆者が「こころ」を感じたロボット

ないようそうっと両手で抱きかかえて移動させるようになった。このような体験は過去の製品デザインではなく、これが新たなプロダクトデザイン=ロボティクスデザインと直感できた。

では、この“こころ”とは何なのか?、どのようにすれば“こころ”をロボットにデザインできるのか?というテーマで研究を進めた。

## 【プロダクトデザインの進化形】

プロダクトデザイン（以下、PD）も従来の「用と美」の単純な人と道具の関係性から、多領域および新領域の関係性へ進化している。このような中、本研究で対象となるロボティクスデザインつまり人とロボットが双方向に感情をやりとりする感性インタラクションデザインに着目し、ロボットという機械に「こころ」をつくるデザイン法則を深く追求した。

ロボットと人の感性インタラクションとは、従来の意匠構造に加え、“感情を伝える動きや音声”を統合するデザインが重要となる。映画やアニメの感情豊かなキャラクターのように、誰もが感情移入できるロボットへのデザインプロセスが要望されている。

## 【ロボティクスデザインのプロセス】

2004年から、様々なタイプのロボットをデザイン開発してきた。その経験を通して筆者が考えるロボティクスデザインに最適なプロセス(図2)と、その検証事例である会話ロボット「C」(図5)のデザイン開発事例を紹介する。

ロボティクスデザインのプロセスで重要なことは、製品コンセ

プトに対してデザインワーク(太枠)内の①シナリオなど、②意匠構造、③モーションデザインを相互に関係させ最適化させることである。これらを一通貫、統合した状態が、ロボティクスデザインには不可欠な要素となる。

それは従来のPDにアニメのデザインプロセスを融合させ、さらに工学の実装検証まで含めるアートとテクノロジーを融合させたプロセスである。特にCGと実機の検証差は大きく、CGの理想的な動きを実機でどこまで再現できるかも課題となっている。モーター特性やロボット自体の動く部位の重量などへの事前の考慮が重要である。

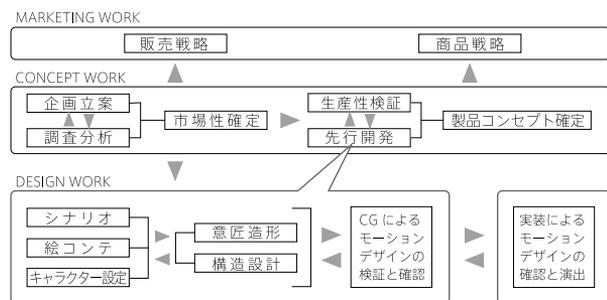


図2 ロボティクスデザインのプロセス

### 【会話ロボット「C」のデザイン開発】

耳を大きくした外観は話を聞く機能を強調し、会話ロボットを“可視化”する機能美である。体形は乳幼児をモチーフとし、人が乳幼児に話しかける時に自然と顔を近づける動作を“メンタルモデル”とし音声認識性能の補助機能とした。ロボットからの“フィードバック”として、乳幼児のかわいい音声とロボットに非言語コミュニケーションのうなずきや瞬きや身振り手振りなど誇張した動作をロボットに盛込んだ。

これら可視化、メンタルモデル、フィードバックは人と情報機器



図3 メンタルモデル例



図4 フィードバック例

を最適にインタラクションするデザイン手法である(図3、図4)。

ロボットは静止時よりも動作時のデザインが重要である。静止時は従来通り、外観デザインを注視する。しかし、一旦ロボットが動き始めると、外観は人の意識から消え、その動きや音に注意を奪われる。その中でも、外観の顔と動く末端部のみは無意識に見る傾向にある。

この会話ロボット「C」では、LEDによる瞳の表情変化や頭部のうなずきと傾げ、足先の振りなど、人が無意識に動作時に見る部位にも感情表現を多用し誇張した。結果、この会話ロボット「C」には誰もが共感と親しみをもって対話するようになった。

以上の研究および実験結果から、ロボットの「こころ」とはロボットの動きや音を、いかに感情豊かに伝えるデザインができるかと理解した。人の心も思いやりの行為を通して初めて可視化される。ロボットの「こころ」を可視化する動きや音を、いかに感情豊かにデザインするかがロボティクスデザインの要諦と理解できた。以降は、このデザイン法則について深く追求していく。



図5 会話ロボット「C」

### 【文楽とアニメの動きのデザイン分析】

ロボットが今後日常生活に溶込み人とコミュニケーションを向上させるには、感情を伝えるロボットの演技演出力が重要となる。人とロボットの日常生活を舞台(映画)と考え、その総合芸術としての演技演出手法をロボットに応用し、デザイン法則としての確立を目指した。

演技とは「感情を伝えるセリフとしぐさ」。つまり、観衆の視覚と聴覚に、演技する役者の感情を効果的に伝える情報デザインである。加えて、感情豊かに表現できる役者自身の身体デザインも重要となる。

これらセリフ、しぐさ、身体デザインの中で、特に人が重視

する(感覚器官から得る情報の中で)視覚情報の“しぐさ”の動きについて研究を進めた。

さて、この演技演出手法の抽出を、人間自らが演じる映画や歌舞伎の分野でなく、人が物体や絵に演技演出をデザインする(命を吹き込む)文楽とアニメの分野から行った。

日本のアニメは世界を席卷しファンも多い。アニメのルーツである文楽も、一流の伝統芸能として連綿と続く芸の伝承がある。日本発のロボットには、これら一流の日本の動きを取り入れ基礎技術として応用すべきと考えた。

多くの研究分析を繰り返す中で、効果的な実験に辿り着いた。アニメと文楽から共に同じようなシーンを選択し、それぞれのキャラクターと人形の動きについて比較検証する。

具体的には、それぞれ各部位の動作量を経過時間で計測し、その傾向と差からロボットの動きに応用できるものを明らかにする分析を行った。

アニメ:宮崎駿監督「ハウルの動く城」よりキャラクター「レティー」が主人公に話しかけるシーン

文楽:平家女護島～鬼界ガ島の段～“蛍千鳥”(吉田文雀)が話しかけるシーン

この二つの映像を見るかぎり、共に大きな動きの差は感じられなかった。しかし、各部位(頭部、上体)の動きを計測したグラフには大きな差が明確に出ている(図6)。

アニメの動きでは、動作状態と静止状態の差が明らかに分かれ、特に静止状態が長い傾向にあった。一方、文楽では常に動作状態が続く傾向にあることが理解できた。

あらためてアニメと文楽の動画を観察すると、アニメの各部位が静止状態の時、顔の中の各部位(眉、目、口)が激しく動作していた。アニメでは主に顔の表情変化で視覚的な感情伝達を行っていることが理解できた。

一方、文楽では顔の表情変化が乏しい分、身体全ての部位を動作させることで視覚的な感情伝達を補っていること

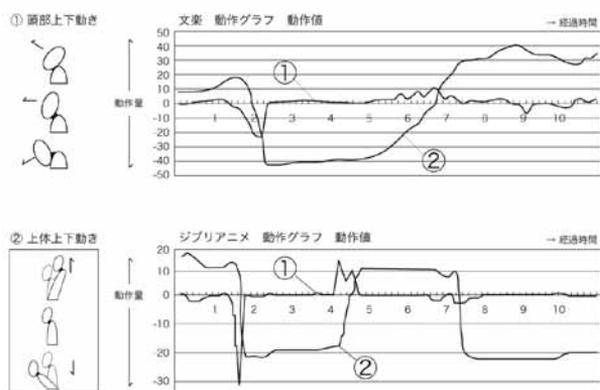


図6 文楽とアニメの動きの比較(頭部と上体の上下動き)動作グラフ

も理解できた。頭部のわずかな動きで目の動きを代弁し、手先や腕の動きで口の動きを代弁していた。

この分析結果から、当面普及する顔の表情変化に乏しいロボット(製造コストが主な理由)には、文楽の動きが最適と考え、文楽人形遣いと共同研究に発展した。

### 【文楽人形遣いと共同研究】

文楽人形の動きを詳しく分析するため、一流の文楽人形遣いである「桐竹勘十郎」氏(以下、勘十郎氏)との共同研究を進めた。勘十郎氏による実演分析や、勘十郎氏が操る文楽人形にモーションキャプチャー(以下、MC)を装着した動作データ分析を行い、多くの知見が得られた。

### 【文楽人形遣いによる実演実験】

勘十郎氏に事前にピクサーやジブリのアニメで強い感情表現のあるシーンを観ていただき、そのアニメキャラクターの感情表現の動きを文楽人形で実演してもらった。先述のアニメの登場人物と文楽人形の感情表現の動きの差を明らかにするのが目的である。

実験結果の具体的な動きの差を紹介すると、あるアニメの1シーンで文楽人形はアニメの登場人物に対して、首の動きは4倍、動作角度は1.8倍、上下の動きは2.5倍、手の動きは36倍と、圧倒的に文楽の動作量が多かった。アニメの顔による

感情表現を、文楽人形では全身で表現していた。

さらに、セリフの内容も手のしぐさなどで代弁していた。セリフの中に心があれば手先を胸にもっていき、世間があれば前方へ差し出し大きく左右に動かす(図7)。

疑問形の場合は体全体を上方へ、断定形の場合は下方へ動かす。話を聞く状態は相手を注視しながら、身体の大きな上下の動きでうなずきを代替するリアクションとしていた。このようなオーバーリアクションの身振り手振りが盛込まれているが、文楽人形の動きとしては実に自然でわかりやすい。



図7 セリフの内容を手の動きで代弁する文楽人形の動き



図8 怒りのステーjingシルエット腕を上げ、あごを突き出す

### 【感情表出のプロセス】

勘十郎氏演じる舞台の録画映像からも、多くの感情表現の動きの分析を行った。そこで得た知見は、文楽人形の動きを後方の席からでも観客が理解しやすいように次のような一定のパターンで演じられていた。

知覚→評価→感情→表出→行為 この感情表出パターンを常に採用し、遠くからでも認知できるステーjingシルエット(感情ごとの誇張した身体の型)と間(静止する時間)を多用しわかりやすく演出していた(図8)。

一例として、妹背山婦女庭訓のお三輪の動きを紹介する。  
①お三輪が走り寄り、遠方になにかを確認する知覚の動き。…頭部を突出し上体を下げ、視線を凝らす動きを表現する。  
②次に、恋人と知らない女性が寄り添っていることを発見する評価の動き…首を縦に大振り、お三輪自ら再確認する。  
③④怒りの感情がおこり、一気に表出する感情表出の動き。…急に飛び上がり怒りを表現し、二人を引き裂こうとする決意をステップで表現する。  
⑤最後は、お三輪が二人の間を裂こうと走り

る行為の動きとなる。このような知覚から行為までの一連の動きを、音楽のフレーズのようにパターンとして組合せ、観客にわかりやすく演じていた(図9)。

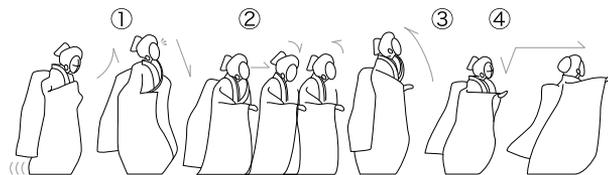


図9 文楽人形の動きにおける感情認知プロセス

### 【6感情の動きとパターン】

本研究では視覚優先で研究を進めているため、顔の表情による感情分析で著名な認知心理学者P. エクマンの著者「表情分析入門」を基軸に、文楽人形における6感情の動きの考察を行った。

P.エクマンの顔の表情にしか表れない6感情を、いかにして文楽人形が身体で表現するかを追求し、その動きのパターン抽出を最大の目的とした。

研究の精度を高めるため、勘十郎氏演じる文楽人形にモーションキャプチャー(以下、MC)を装着して動作データを収集する以下の実験を行った。人の動きには無い文楽人形特有の誇張した動き(虚実皮膜論的な動き)を明らかにすることができた。



図10 勘十郎氏演じる「喜び」

## 【虚実皮膜論的な動き】

「虚にして虚にあらず、実にして実にあらず (中略) 芸というものは、実と虚との皮膜の間にあるもの也。」

虚実皮膜論は、17世紀に近松門左衛門が唱えた演技演出理論で、虚の演技や演出を微妙なさじ加減で加えることにより本物以上に本物らしく見えるという内容である。

分析結果から非常に面白い動きのパターンが検出できた。感情が平常時の腕や首の動作位置に比べて、感情が強いときの腕や首の動作位置が、瞬時であるが常識的な人体バランスの人形ではありえない位置 (伸長した位置) にくることが理解できた。

測定方法は、頭部と首付根の中心点の距離計測で頭部の動作量 (伸縮した変位量) を測定した。同様に腕の動作量 (伸縮量) も、肩と手先の中心点から測定した (図11)。これらの動きは一瞬であるが常に強い感情を表現する動きの中で発生

していた。通常の人間らしい動きを再現する人形の動作域から逸脱した (誇張した) 位置に、瞬時その手先や頭部や上体が来る。つまり腕や首や胴体が人間の動作域を超えて伸縮し回転するのである (図12)。

文楽人形の腕や胴の長さは通常の人より長く、頭や首も肩と固定しない構造であり、服の下に胴体のない意味が理解できる。このような分析結果が多々発見でき、まさにこれが虚実皮膜論の「虚」の動きであることが理解できた。

わかりやすく説明すると図13のように漫画やアニメでは物体の動きを誇張するために、物体そのものを変形させて描く。この変形さ

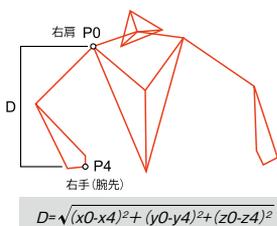


図11 MCデータからの腕の伸縮計測方法

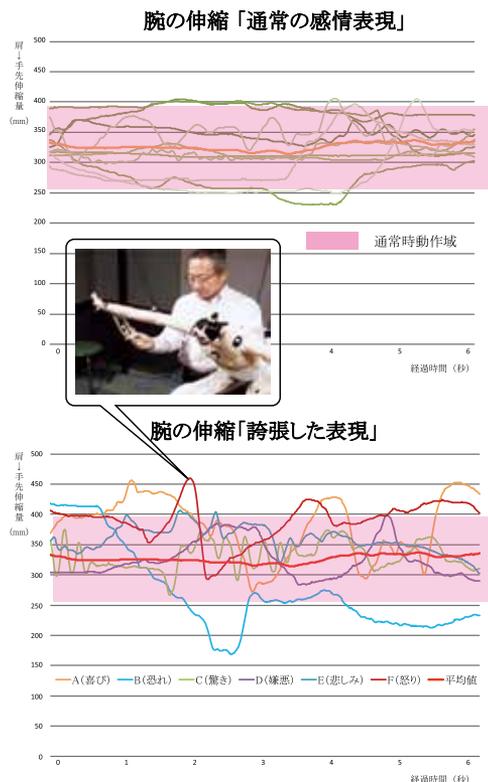


図12 平常時の動作位置から腕が伸縮する瞬間をとらえたMCデータグラフ  
縦軸: 腕の変位量 横軸: 経過時間

せる効果を、文楽人形の動きでは首や腕を通常の限界以上に瞬間伸ばし、通常では曲がらない角度まで関節を瞬間曲げたりする虚の誇張した動きとして取り入れ、魅力的な演出によって効果的にわかりやすく感情を伝えている。

## 【虚実皮膜論的な動きを再現する新構造】

これらの虚の誇張した動きをロボットに取入れ、人への感情伝達を向上する伸縮骨格構造のロボットを、実機製作可能な条件でデザイン設計した。従来型ロボットにない新たな特徴は、「首・腕・胴体の伸縮機能」と「肩の動きによる感情表現」、怒りや悲しみの感情を誇張する「震えの動作機能」である。

量産を目指す人間共存型ロボットの条件も踏まえて、骨格の伸縮などで、より一層感情が伝達できるロボットに必要な要件をまとめてみる。特に勘十郎氏が重視する「肩で演技でき

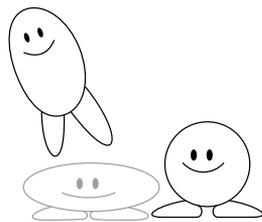


図13 マンガなどの誇張した動き

る」ロボットの新構造を考慮した。

- 1、頭部3自由度(うなずき、傾げ、左右の振り)
- 2、首3自由度(前後の傾き、左右の振り、伸縮)
- 3、胴体3自由度(前後の傾き、左右回転、伸縮)
- 4、腕(可能であれば7自由度)+伸縮
- 5、肩 左右個別の上下動
- 6、方向性(視線)がわかる顔の造形
- 7、前後の移動 8、震え

以上が文楽人形の動きから抽出した感情表出に最低限必要と思われる情動構造である。これらを仮説の基本に、CGと実機による検証実験を重ねた。

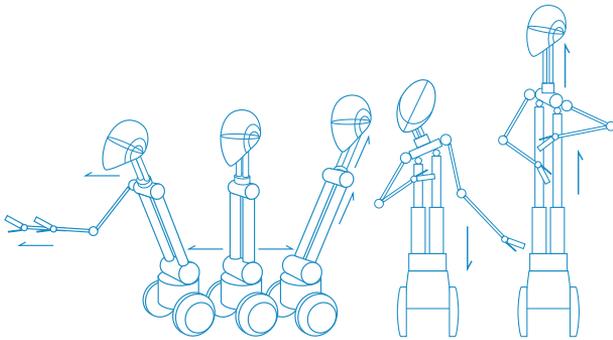


図14 伸縮骨格構造のロボット

### 【6感情の動きのパターン】

勘十郎氏演じる文楽人形のMCデータ分析から、6感情ごとの特徴的な動きの傾向が明らかになった。以下の内容が、各感情ごとの基本動作となり、感情強弱によって動く部位の変位量や速度の増減が見受けられた。

怒: 上体、頭、腕ともに大きく上方へ急に伸ばす激しい動き。首の伸長、顎の突き出し、相手を見下ろす体勢での肩の前後など、人の動作領域を超えた位置まで急に伸長する。

嫌: 相手に背を向け半身になり、斜め下を向く。時折相手を見、最後は相手と逆方向を向き顔は斜め下を向く。

恐: 驚き後が多く、手先や身体が震え視点が定まらない傾

向にあり、最後は頭や上体を下げ前傾する。

幸: 頭や上体ともに上方を向き、手先を胸に添え緩やかに左右を見上げる。笑う時は上下に震えるが、時折顔を上げ上方を向く動きを取り入れる。

悲: 悲しみの要因に気づき硬直した後、上体を下げ90度前方下へ頭を傾け、頭と身体が震える。

驚: 急に顎を引き、上体と首を後傾し一気に伸長してのけ反る。その後一転し、その反動で前方へ突出する。

この6感情の動きのパターンを、先の骨格が伸縮する新構造ロボットに反映させ、各感情ごとの特徴的なステージングシルエット(象徴的な型)を抽出した。感情ごとの背の高さ、首の長さや角度、手のかたち、肩の上下の明確な差が特徴的である。

P. エクマンの顔による6感情ごとの表情と相対する、ロボットの身体動作による6感情ごとの表現を明らかにすることができた。特に首と胴体の伸縮構造や、肩の動く構造が、各感情ごとの表現の動きに貢献していることが理解できる(図15)。

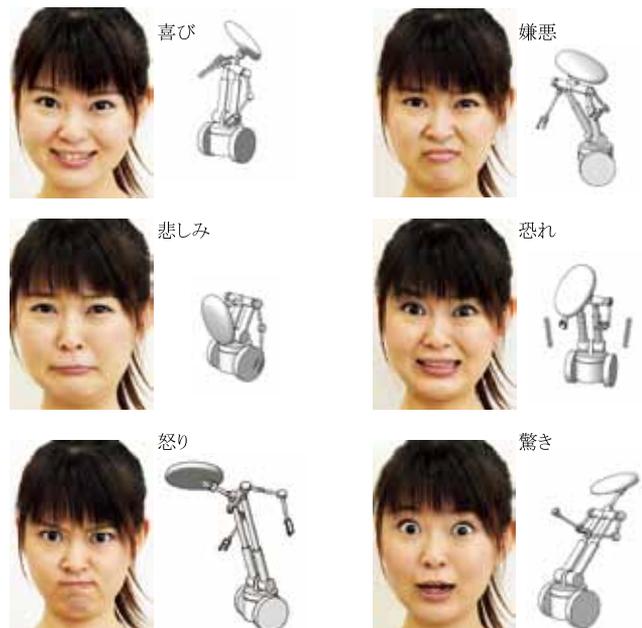


図15 6感情の顔の表情と6感情のロボットによる身体表情

## 【6感情ごとの動きのリズムパターン】

MCデータの分析結果から6感情ごとに動きの変位量と経過時間をグラフ化し、6感情ごとの動きのリズムパターンの傾向を分析した。さらに、各感情ごとのロボットの一連の動きの流れをイラスト化して、グラフ下に図解している(図16)。

特にイラストの胴体の上下動がグラフの上下動(動作の変位量)に同調している。ここでは2感情のみ紹介する。

喜:喜びを誇張するため動きの変位量の少ない(谷)逆感情の動きからはじまり、徐々に大きくなり最大となった時に最も感情が強い状態(山)になる。喜びの感情の強弱は、山と谷の高さや多さに比例している。

悲:悲しみの要因に気付いた後すぐ、動きの変位量が急に増大し(山)震えが発生し続く。その後、身体を縮小する緩やかな動きの変位量(谷)が確認でき、その状態で震えが継続する。感情の強弱は、山の大きさに比例する。

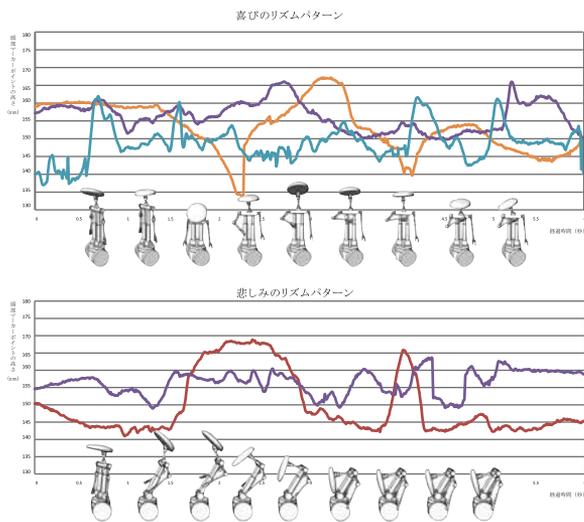


図16 文楽人形の動きにおける感情認知プロセス

## 【ロボット実機での検証実験】

CGで検証を重ねた6感情のモーションデザイン基本法則を、骨格が伸縮する部分試作のロボットで検証した。首の上下伸縮と前後回転の2自由度、胴体の上下伸縮と前後回転の2自由度が主な構成である。

伸縮以外では、胴体の両サイドに設けた上下に伸縮する2つのリンク機構で肩を構成し、その2本が別々に上下に伸縮したり前後に移動する事で、表情豊かな肩の動きが再現できる。勘十郎氏も感情表現には肩の動きが重要と強調されている。この部分試作ロボットの伸縮構造と肩の動きが、どれくらい6感情の表現に有効であるか検証実験をした。



図17 部分試作による6感情ごとの感情を伝える動き(上:実機下:CG)

6感情のうち驚き、悲しみ、怒りは問題なく理解できた。首と胴体の上下への伸縮、身長の高低差が、感情の差を明確にしている。特に怒りでは、片方の肩を後ろから前へ交互に突出(伸縮)させる動きはわかりやすい。

しかし、恐れ、喜び、嫌悪については課題が明らかになった。恐れは震えを表現する機構が無いと悲しみとの差がわからない。喜びも手や腕の動きと首の傾げの必要性が理解できた。嫌悪においては胴体の回転(ひねり)がないと理解できない事もわかった(図17)。

以上の実験を通して、骨格が伸縮する新構造や肩の動きなどは、ロボットの感情表現に有効である事が明らかになった。今後は課題となった機構を盛込み、肩の動きを効果的に活用した全体試作に挑戦し、実機検証を重ねていく。

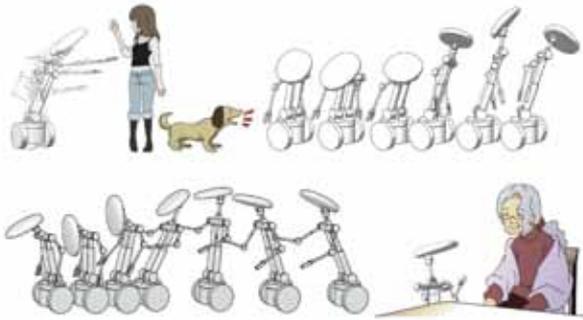


図18 短編映画のシーン

### 【短編映画 (CGアニメ) による動きのデザイン検証】

これらの動きの研究成果をCGアニメの短編映画にまとめ、総括としてロボットの身体動作の視覚的な検証を行った(図18)。骨格伸縮構造ロボットが登場するシナリオをつくり、その中に6感情の動きを散りばめ、動きの研究成果(モーションデザイン基本法則)を検証した。勘十郎氏も含めて多くの方々を検証したが、一切違和感がないと最高の結果が得られた。

以上から、この伸縮骨格で肩が動く(誇張した感情表現の動きが可能な)新構造ロボットにより、「リアルな生きた動き」を創り出すことができた。これが最大の成果である。それゆえ、人とロボットの関係性をよくするロボット構造の典型の一つをデザインできたのではないかと考える。

現行の人型ロボットは、人間の骨格をベースに駆動装置であるモーターなどを関節部に配置した構造となっている。(人間の駆動装置は筋肉で、主に関節と関節の間に配置されている。)そのため外観は人間らしいが、動き出すとどこかおかしく違和感をもつ。この要因は、私たちがロボットに期待する理想的な動きが、この構造では表現できないためと考える。

私たち人間は、誇張や省略の入ったイリュージョン(幻想)を理想とする特性がある。全ての優れた芸術作品は、その理論を効果的に活用している。例として、葛飾北斎の富嶽三十六景の富士山の絵は、実物より尖っている。しかし、多くの人は北斎の絵の方が実物以上にリアルな本物の富士山と認知する。ある実験結果にも、毎日富士山を見て生活している人が

富士山の絵を描くと、10人中8人は実物より尖った富士山の絵を描く。

このように誇張や省略を取り入れた人工物を私たちは実物以上に本物と感じる。この人間特性を、文楽人形遣いや俳優は有効的に活用し観客を魅了している。この理論を取り入れた新構造ロボットによる「リアルな生きた動き」の研究を今後も継続発展させていきたい。

最後に、これら一連の研究は多くの方々の支援があつての成果であり、この場をお借りして心からの感謝とお礼を申し上げたい。また、これらは科学研究補助費および塚本学院研究補助費の採択研究でもあり、支援された研究費で達成できた成果である。

今後もアートとテクノロジーを融合させたロボティクスデザインの研究を継続し、人との親和性の強いMede in Japanの感情豊かな人間共存型ロボットの創造に努める。

### 【採択研究】

科学研究費助成事業(科研費)基盤研究B

人間共存型ロボットに最適なモーションデザイン基本法則の抽出

科学研究費助成事業(科研費)挑戦的萌芽研究

人間共存型ロボットに最適なモーションデザイン基本法則の抽出

塚本学院教育研究補助費

2012 人間共存型ロボットに必要な総合芸術としてのデザイン法則の抽出 他

### 【参考文献】

ロボティクスデザイン 中川志信 美術出版 2012

しぐさのコミュニケーション 人は親しみをどう伝えあうか

大坊郁夫 サイエンス社

デザインにひそむ「美しさ」の法則 木全賢著 ソフトバンク新書

表情分析入門 P・エクマン 誠信書房

映画芸術への招待 杉山平一 講談社