

ロボットの全身動作による
人間の笑い誘発に関する研究

Study on Whole Body Motion of Robot
for Making Humans Laugh

2016年 2月

早稲田大学大学院 先進理工学研究科
生命理工学専攻 バイオ・ロボティクス研究

岸 竜弘

Tatsuhiko KISHI

摘 要

近年、精神疾患の患者数が急増しており、その影響は世界の疾病負担の最大の要因といわれるまでに拡大している。ここで、笑いは抑うつ状態の抑制、不安・緊張・ストレスの緩和に効果があることが報告されている。この特徴を活用すれば、笑いは副作用の全くない精神疾患の予防・治療法となりうる。さらに、笑いはコミュニケーションにおいて相手の集中力を高め、説得に効果があることが示されており、ビジネスマンのスキルとしても注目を集めている。ただし、これらの笑いの効果はこれまで広く一般的に活用されてきたとはいえない。これは、人間が笑いを誘発するメカニズムが十分に解明されておらず、笑いのもつ効果の実証や、万人を大笑いさせる刺激の用意が困難であるためである。特に、人間の笑いを誘発する刺激の構成メカニズムは、研究例が少なかった。このメカニズム解明に向けた研究のためには、定量性・再現性のある刺激を用意することが課題であるが、ロボットを用いれば、この問題を解決できる。人間の笑い誘発メカニズムの解明を目的としたものに限定をしなければ、これまでもロボットによる人間の笑い誘発を目指した研究はいくつかの例がみられる。しかし、これらの研究はほとんどすべてが漫才やダジャレ、謎かけなど言語表現に集中していた。

一方、人間はコミュニケーションにおいて65%以上の情報を非言語表現から得ているといわれている。実際にお笑い芸人は、表情や体の動作を中心とした非言語表現を積極的に利用している。このため、本研究ではロボットを用いた動作による笑い誘発刺激の生成メカニズムの解明に注目した。さらに、ロボット実機を用いて笑い誘発刺激を生成することで、臨場感を伴う刺激の呈示を実現できると考えられた。以上から、本研究はロボットの全身動作により定量性・再現性を備えた非言語的な笑い誘発刺激を生成し、これをロボット実機の演技で呈示することを目的とした。

本論文は、以下に示す6章から構成されている。

第1章では、序論として本研究の研究背景と目的、その意義について述べた。特に、「笑い」に関し、先行研究から明らかになっている知見をまとめ、課題を示した。さらに、関連した先行研究をまとめ、本研究の着眼点について述べた。最後に、本研究の目的と意義について述べた。

第2章における研究は、ロボットの行動・動作により笑い誘発刺激を構成するモデルの構築をめざし、以下の2点を目的に実施した。1点目はロボットの行動や動作に面白さを与える要因を特定することである。まず、人間は予想と現実にズレを感じた

際に笑いを誘発するとされる。これをもとに考えると、ロボットが人間の笑いを誘発するためには、行動・動作により予想とのズレを感じさせることが必要である。予想を裏切り、印象を面白く変化させる行動・動作を生成する要因を特定するため、お笑い芸人や笑い誘発メカニズムの専門家が執筆した書籍を調査した。これらは人間が漫才や日常会話、文学作品など幅広い表現手法から面白さを感じる理由を論じたもので、書籍の分野は多岐にわたったが、物事を大げさに表現する「誇張」、状況と矛盾した行動を取る「矛盾」、繰り返し全く同じことをする「反復」、それまでの行動の流れを急に変化させる「唐突な変化」、言葉遊びやパロディなどの「だじゃれ」の5つの構造には表現手法を問わず、高い共通性がみられた。これらを「笑いの方略」と名付けた。これらは、行動や動作に面白い印象を与えるために提唱された方略ではないが、「だじゃれ」を除く4つの方略は行動・動作を面白く変化させるために適用が可能である構造を持つ。2点目はこの「笑いの方略」をもととしたロボットの行動・動作を面白く変化させるモデルの構築と評価である。まず、ロボットの行動・動作の生成は「環境認識」、「行動生成」、「動作生成」の3つの段階から構成されるが、これらの各段階に「笑いの方略」を当てはめることで、自然な印象を与える行動・動作を笑い誘発刺激へと変化させるモデルを提案した。このモデルの有効性を評価するため、2つの段階による実験を行った。まず、第1の段階として、お笑い芸人に依頼し、ロボットの行動・動作により表現される演技を自由に作成してもらい、この演技の面白さが提案モデルから説明できることを示した。第2の段階として、これらの演技により人間の笑いが誘発されたことを確認した。これらから「笑いの方略」を利用したロボットの行動・動作により笑い誘発刺激が生成できることを示した。第3・4章では「笑いの方略」から、「誇張」方略の「動作生成」への適用と、「矛盾」方略の「行動生成」への適用による笑い誘発刺激の生成について述べた。

第3章における研究は、「誇張」方略を適用した「動作生成」による笑い誘発刺激の生成のため、以下の2点を目的に実施した。1点目は「誇張」した動作に対応したハードウェアの開発である。本研究では、特に表現に重要な腕部と表情を誇張して表現できるハードウェアを開発した。腕部の動作による誇張表現を実現させるため、お笑い芸人の演技中の腕部の動作を解析し、要求仕様を定めた。この結果、手先の到達範囲の拡大と、動作の高速化が必要であることがわかった。手先の到達範囲を拡大するために、腕部の各関節の可動角を拡大するとともに、肩付け根部に人間の鎖骨に相当するYaw軸、Roll軸の2自由度を追加し、研究のベースとなったロボットに比べ、手先の可到達範囲を2.3倍に拡大した。さらに、高速動作を実現するため、軽量かつ高出力な腕部を開発した。肩付け根Roll軸には2つのモータの出力を統合して1つの関節を動作させる高出力な機構を搭載した。上腕Yaw軸、肘Pitch軸にはモータを胴

体に配置し、フレキシブルシャフトにより動力を関節まで伝達する機構を用いることで軽量化を図った。これらにより旧ハードウェアとの比較で 45%の軽量化を達成し、各関節平均の速度において 4.5 倍、加速度において 2.2 倍の高速動作を実現した。このようにして開発した KOBIAN-RIII をさらに改良した。外観を向上し、パラレルリンク機構の採用により広可動域・高速動作を実現した手首を持つ KOBIAN-RIV を開発し腕部全体での動作による誇張表現を実現させた。表情の誇張表現に関しては、漫画表現を参考に「漫符」と呼ばれるマーク表現を LED フレキシブルディスプレイと外装内で薄板をスライドさせる機構を開発し、感情の誇張表現を実現した。2 点目はロボットの動作を構成するパラメータの変化による「誇張」動作の生成と評価である。これは 2 段階で実施した。第 1 の段階として、同じお笑いの演技を再現するロボットの動作の大きさおよび速さを、一方は人間のお笑い芸人と同等に大きく、または速くし、一方は一般的なロボットと同等に小さく、または遅く設定し、これらの印象を比較した。この結果、ロボットの動作の速さ・大きさをお笑い芸人と同等程度まで「誇張」することは主観的な面白さを有意に上昇させることがわかった。第 2 の段階として、ロボットに人間の芸人の演技を元の演技を超えて「誇張」した速度で表現させ、印象を調査した。この結果、演技の速さを 1/2 倍速、1 倍速、2 倍速に変化させると速度の上昇に伴い、段階的に面白さが上昇した。これらは、動作の「誇張」表現で定量的な笑い誘発刺激が生成できることを示していた。

第 4 章における研究は、「矛盾」方略を適用した「行動生成」における笑い誘発刺激の生成のため、以下の 2 点を目的に実施した。1 点目は状況とロボットの行動・動作の「矛盾」の程度を連続的に変化させる手法の開発である。本研究では、演者としてのロボットに「キャラ」を持たせ、「キャラ」に起因した行動・動作生成により状況との「矛盾」の程度を変化させた。人間の性格の根幹に位置する「気質」のモデルのうち、心理学で一般的に用いられている「ビッグファイブ理論」を構成する要素のうち、長時間のインタラクションを経なくても読み取ることができると考えられる「外向性」と「神経症的傾向」の 2 つの要素の大小によって「穏やか」「社交的」「神経質」「悲観的」の 4 つのキャラを定義した。先行研究および役者の演技の解析から、この 2 軸に「姿勢」、「動作の大きさ」、「動作の速さ」が関連を持つことが示されたため、これらをもとにロボットの行動を作成した。作成された演技から、被験者に意図した通りの気質の傾向が読み取られたことが確認された。2 点目は、ロボットのキャラ表現に基づく状況と「矛盾」した行動による笑い誘発刺激の生成と評価である。本研究では中身の分からない箱を探るネガティブな状況を設定し、これに対し様々なキャラを持つロボットに演技を行わせた。この結果、ロボットが状況と矛盾したポジティブな演技を行った際に印象が有意に面白くなることが確認された。これは、「矛盾」

方略に基づく行動生成によって定量的な笑い誘発刺激が生成されたことを示していた。

第5章では、研究を通して実現されたロボットの動作による笑い誘発刺激生成の意義を以下の観点から考察した。第1に、本研究を通じ、ロボットの動作による定量性・再現性をもつ笑い誘発刺激が実現されたことを確認した。第2に、同じお笑いの演技をロボット実機、ロボットを再現したCGアニメーション、人間のお笑い芸人に行わせ、それぞれビデオに記録したものの印象を比較した。実験の結果から、ロボット実機の演技がCGアニメーションやお笑い芸人の演技以上に面白く受け取られることを確認した。これは、ロボットの演技を笑い誘発メカニズム解明のために利用する妥当性を示すものと考えられた。第3に、ロボット実機による笑い誘発刺激を直接観察すると、ビデオに記録したものの間接的な観察よりも、ロボットの動作が速く・新鮮な印象を与えることを確認した。これはロボット実機を用いた笑い誘発刺激の生成の有効性を示すものであった。

第6章では結論と今後の展望を述べた。

以上のように、ロボットの全身動作により定量性・再現性のある笑い誘発刺激を生成するモデルを構築した。さらに、誇張表現が可能なハードウェアの開発により、ロボット実機で笑い誘発を直接被験者に呈示する手法を確立した。本研究の成果は、心理学、社会学をはじめ、幅広い分野の研究者に人間の笑い誘発メカニズム解明のための新たなツールを提供するものであるとともに、人間の笑いを誘発する機能を付加することで、ロボットの活躍の場を広げることに貢献するものである。

ロボットの全身動作による人間の笑い誘発に関する研究
生命理工学専攻 岸 竜弘

目 次

第1章	序章	
1.1	はじめに	1
1.2	本研究の背景	1
1.3	本研究の目的と意義	8
1.4	本論文の構成	10
第2章	笑いの方略	
2.1	はじめに	11
2.2	「人間が笑いを生じる状況」に関する先行研究	11
2.3	様々な表現手法における面白さの生成法の抽出	14
2.4	「笑いの方略」	19
2.5	笑いの方略に基づくロボットの面白い行動・動作生成のモデルの提案	20
2.6	笑いの方略の有効性の評価	24
2.7	まとめ	41
第3章	「誇張」方略に基づく動作生成と評価	
3.1	はじめに	43
3.2	全身情動表出ヒューマノイドロボット KOBIAN-R	44
3.3	ロボットの全身動作において「誇張」した表現能力を持たせる部位	48
3.4	誇張した表現が可能なロボット腕部の開発	49
3.5	誇張した感情表現が可能なロボット頭部の開発	71
3.6	「誇張」方略に基づくロボットの動作生成と評価	83
3.7	まとめ	100

第4章 「矛盾」方略に基づく行動生成と評価	
4.1 はじめに	103
4.2 気質に基づく動作生成	104
4.3 「矛盾」方略に基づくロボットの行動生成と評価	120
4.4 まとめ	122
第5章 研究の意義	
5.1 はじめに	125
5.2 笑い誘発メカニズム解明への貢献	125
5.3 ロボットが人間の笑いを誘発することの社会的意義	127
5.4 まとめ	135
第6章 結論と今後の展望	
6.1 結論	137
6.2 今後の展望	141

付録

参考文献

謝辞

研究業績

第1章 序論

- 1.1 はじめに
- 1.2 本研究の背景
- 1.3 本研究の目的と意義
- 1.4 本論文の構成

1.1 はじめに

本論文は、全身動作による非言語表現をロボット実機に演じさせることで、人間の笑い誘発メカニズムの解明に不可欠な、定量性・再現性を備え、臨場感のある笑い誘発刺激を実現させる手法について論ずる。

近年健康増進効果をはじめとする笑いの持つ効果に注目が集まっているが、笑い誘発メカニズム、特に人間が面白いと感じる刺激の構成法は十分に解明されておらず、これらの笑いの持つ効果は十分に活用されているとはいえない。

本研究では、行動や動作の印象を面白く変化させるモデルを構築し、これを実体を持つ表現手段である2足ヒューマノイドロボットの全身動作生成アルゴリズムに組み込むことで、定量的で、再現性があり、臨場感のある笑い誘発刺激を生成する。これらの特徴を持つ笑い誘発刺激は、笑い誘発メカニズム解明のための強力なツールとなる。

ロボットに人間の笑いを誘発する能力を持たせることは、人間の笑い誘発メカニズムの解明のために有用であるだけでなく、笑いコンテンツの演じ手としてのロボットの活用、老人ホームや医療施設などでの精神疾患の予防・治療、コミュニケーションロボットにユーモアを伴う説得力を持たせることなどを通じ、ロボットの活躍の場を広げることに貢献するものである。

1.2 本研究の背景

1.2.1 笑いの持つ効果

近年、「笑い」のもつ様々な効果に注目が集まっている。まず、これらの「笑い」が持つ効果に関し、先行研究をまとめる。

(i) 笑いのもつ心理的な健康増進効果

Murray らは今日精神疾患が世界の疾病負担の最大の原因となっており、次の数十年にはうつ病が最も大きな疾病負担になると指摘している[1]。WHO は 2001 年から世界規模で精神疾患の患者数の実態調査である世界精神保健調査(WHM)を実施している[2]。この結果をみると、たとえば 2001 年から 2003 年において比較的頻度の高い精神障害である不安障害、気分障害、衝動制御障害、物質使用障害の合計の有病率はアメリカ合衆国においては 26.4%と非常に高い割合となっている。これ以外にもフランスで 18.4%、オランダで 14.9%、日本で 8.8%と、広く世界全体で精神疾患が深刻な問題となっていることがわかる[3]。

日本国内では、精神疾患は厚生労働省の定める五大疾病の一つとされており、この患者数は 1999 年に比べ 2008 年には 1.5 倍の 320 万人へと急増し、厚生労働省が定める五大疾病中で最大の患者数を持つまでとなっている[4]。

精神疾患には一般に薬物療法による治療が行われるが、これらの薬は正しく使用されないと依存性に陥る危険性がある[5]。ここで、古くから人間は笑うとストレスが軽減され、これが精神疾患の予防・治療につながる可能性があることが示唆されている。これは、笑いが精神疾患に対する副作用の全くない予防・治療法となり得ることを意味している。これまでに報告されている笑いの心理的な健康増進効果の代表的なものに抑うつ状態の緩和、認知症進行の抑制などが挙げられる[6], [7]。

また、精神疾患は「笑い」の誘発に影響を与えることから、「笑い」は精神疾患の程度を診断する手法にもなりうる。例えば、抑うつ状態が笑いの誘発を有意に減少させること[8]や、躁うつ状態が笑いの誘発を増加させること、認知症の進行に伴い、高度な解釈を求められる刺激に対する笑いが発生しづらくなること[9]が知られている。これらを考えると、予防・診断・治療を通し、「笑い」は精神疾患の患者に対応する医師や療法士にとって画期的な手法となりうる。

(ii) コミュニケーションにおける笑いの効果

さらに、笑いには心理的な健康増進効果があるだけでなく、コミュニケーションを円滑にする効果、特に自分の意見を相手に円滑に伝える効果があることがわかっている。これまでに指摘されている効果には以下のようなものがある。

第一に、笑いやユーモアはコミュニケーション相手の集中力を高めることが知られている。Averill らは悲しいストーリーの映像、楽しいストーリーの映像に対する被験者の反応を比較し、楽しいストーリーをみると被験者の覚醒度が上昇することを示した[10]。

Godkewitsch らは短いオチを含んだ文を提示する前後の筋電反応の変化から被験者の覚醒度の上昇を示した[11]. さらに, Deneire らは外国語学習においてはユーモラスな教材がより学習効果を挙げることを示した[12].

第二に, 笑いやユーモアは説得に有効であるとされる. Morreall は著書でビジネスの場の会話にユーモアを含ませることの有効性を説明している[13]. 牧野らは, ジョークを入れる個数を変化させた(5個, 2個, 0個)2000字程度の文章を用意し, これを読ませた被験者が文章の内容にどの程度同意するかを調査した. この結果, ジョークを入れる個数が多い文章を読んだ被験者の方が文章の内容に同意する度合いが高まることを示した[14].

1.2.2 笑いを実地活用しようとする試み

これらの「笑い」の持つ効果は既に一部で活用が試みられている. まず, 笑いのもつ健康増進効果を実地で活用しようとする試みに, 日本笑いヨガ協会[15]やNPO法人ラフターヨガジャパン[16]などによる「笑いヨガ」の普及活動が挙げられる. 「笑いヨガ」とは, 何かに面白さを感じて笑うのではなく, 「笑い」という行為そのものを体操としてとらえ, ヨガのリズムに合わせて様々なポーズを取り, これに合わせて集団で「笑う」ことにより, 笑いのもつ健康増進効果を得ようとするものである. 福島らは実際に「笑いヨガ」の体験前後で被験者の心理状態がポジティブに変化したことを示す研究結果を報告している[17].

また, お笑い芸人などによりビジネスの場面での会話に笑いを取り入れることを提案した書籍が多数執筆されている[18]-[20]. これらは, ビジネスの様々な場面にユーモアを導入することで相手の注意力を高め, 説得力を高めるという効果を得ようとするものである. このように, 「笑い」を実地活用しようとする試みは一部でみられるものの, これらは一般に広く普及するには至っていない. この要因として人間の笑い誘発メカニズムが非常に複雑であり, 十分に解明されていないことが挙げられる. このために「笑い」の持つ効果を定量的に検証することが難しいこと, 万人を大笑いさせる刺激を用意することが難しいことなどが, 「笑い」の持つ効果を実地で活用することを妨げている.

1.2.3 人間の笑い誘発メカニズムを解明しようとする試み

人間の笑い誘発メカニズムを解明しようとした研究は, これまでに多数の例がみられる. 人間の笑い誘発メカニズム解明のための課題は大きく分けて二つがある.

(i) 人間の笑い反応のメカニズムの解明

第1に、笑い誘発刺激を受けた人間がどのような反応をみせ、どのように心理状態を変化させるかという人間側のメカニズムである。この分野の研究は、心理学、社会学、神経科学など幅広い分野から取り組まれてきた。これらの研究の代表的なものに、人間の笑いの生理学的な反応を定量的に取得しようとする取り組みがある。これらには筋電センサによる「笑い測定器」[21]、マイクロフォンによる「爆笑計」[22]などがある。筆者が所属するチームでも、筋電センサ・姿勢角センサを組み合わせることで高精度な笑い反応の計測機器を開発することを旨とした研究を行ってきた[23]。また、笑い反応が発生した時の心理状態や生理反応の変化に関する研究も多数行われてきた。前述のように、笑い反応が発生する前後で緊張状態の緩和やストレスの減少が確認されている。また、生理反応計測の例として、Kutas らによる人間が予想と現実のズレを感じた際に特徴的な脳波が観測されることを突き止めた研究[24]や、荻坂らによる人間の笑い発生時の脳の活動を fMRI により調査した研究[25]が挙げられる。

(ii) 人間の笑いを誘発する刺激を構成するメカニズムの解明

第2に、人間の笑いを誘発する刺激を構成するメカニズムである。これまで、この分野の研究は、刺激の種類を中心に行われてきた。この分類の方針は研究者によって多岐にわたっているが、最も多くみられるのは笑い誘発刺激を「面白さ」の種類から分類する試みである。この詳細に関しては第2章で述べる。これ以外にも上野らは、笑い誘発刺激を使用する目的から、「攻撃的ユーモア」、「遊戯的ユーモア」、「支援的ユーモア」の三つに分類し、これらの刺激を用いる人のパーソナリティや、これらの刺激を受けた人間がどのような反応をみせるかを調査した研究を行っている[26]。一方、笑い誘発刺激を構成するメカニズムを解明するためには刺激に面白さを与える要因を体系的に説明することが重要であるが、これまで刺激に面白さを与える要因を特定しようとする試みが行われてきたのはだじゃれや言葉遊びなど比較的単純な言語表現にとどまっている。さらに、人間の笑いを誘発する刺激はお笑い芸人やアニメのビデオ、小噺が書かれた紙、漫画など研究者によってばらばらであり、それぞれの研究者が行った実験の結果を比較することは困難であった。

1.2.4 笑い誘発における非言語表現の重要性

上で述べたように、人間の笑い誘発メカニズムを構成する重要な要素であるにもか

かわらず、人間の笑いを誘発する刺激の構成法はこれまでほとんど明らかになっていない。特に、非言語表現に関するものは全くといっていいほどみられない。

ここで、人間同士のインタラクションに注目しても、ジェスチャや表情など非言語による表現の果たす役割が大きいことが広く知られている。Birdwhistellらは人間の会話やインタラクションにおいては、言語により伝達される情報は30%から35%にすぎず、残りの65%から70%の情報は非言語表現により伝達されるとしている[27]。また、Mehrabianらも実験を通じ、人間の対面でのコミュニケーションにおいて情報は言語表現と非言語表現の両方で伝達され、これらの内容はふつう一致するものの、言語表現と非言語表現の内容が異なる場合、人間は表情から55%、音韻から38%、言語表現から7%の情報を受け取ることを示している[28]。これらは、人間同士のインタラクションにおける非言語表現の重要性を示すものである。ユーモアや笑いについては、これらの研究のように言語表現、非言語表現が果たす役割を数値的に示した先行研究などはみられないものの、人間のお笑い芸人の多くが言語的なユーモアのみならず、表情や体の動作などの非言語表現を活用した笑い誘発を積極的に行っており、非言語表現はやはり重要であるといえる。

さらに、言語表現はその効果が受け手の言語的、文化的背景に大きく依存している。非言語表現はこれらの言語や文化の枠を超えた情報伝達の可能性を持つと考えられる。ユーモアや笑いについても、チャップリンやMr.ビーンなど、無声映画や非言語のユーモアを用いた芸人は世界的に人気がある。

以上のように、ユーモアのある表現や笑い誘発のために非言語表現は重要な役割を果たすと考えられる。

1.2.5 非言語表現の笑い誘発刺激の構成メカニズム解明へのロボット技術の適用

言語・非言語にかかわらず、笑い誘発刺激構成のメカニズムを解明するためには、以下の特徴を併せ持つ刺激を構成する手法を用意することが必要になる。

(i) 再現性があること

笑い誘発メカニズムを解明するためには、複数の研究者によって数多くの実験を繰り返し実施し、この結果を比較する必要がある。このためには、再現性のある刺激を生成することが必要である。

(ii) 定量的であること

笑い誘発刺激の構成メカニズムを解明するためには、刺激を面白く変化させる要因

を特定し、これらの単独の効果や、要因間の関連を調査する必要がある。このためには、これらの要因によって刺激を連続的に変化させる必要がある。

さらに、動作による非言語表現の場合、これに加えて以下の特徴を持つ刺激の構成が重要になると考えられる。

(iii) 実体を持つ演技者によって被験者の目の前で刺激が生成されること

一般に動作による刺激は、ビデオなどを通じ間接的に観察されるよりも、直接観察されることで臨場感が感じられることが知られている。笑いについても、お笑いの愛好家らはお笑い芸人のライブに好んで参加している。このことは、笑い誘発刺激を生成する演技者が実体を持ち、被験者の目の前で刺激を生成すること、つまり臨場感を伴う刺激の有用性を示している。

これまで、笑い誘発刺激を構成するメカニズムの研究、特に動作などの非言語表現に関するものが十分に行われてこなかったのは、これらの特徴を併せ持つ刺激を用意することが困難なためであると考えられる。筆者は、この動作による非言語表現を通じた笑い誘発刺激を構成するメカニズムを解明するために、ロボットを利用することを提案する。これは、定量性・再現性を持つ刺激を、臨場感を持った手法によって提示することが、ロボット実機の動作による演技によってはじめて達成されるものであると考えるためである。このように、笑い誘発刺激の構成メカニズム解明のため、ロボットは強力なツールとなりうるものである。

1.2.6 本研究に関連した先行研究

人間の笑い誘発メカニズムの解明を目的としたものに限定しなければ、これまでにロボットによって人間の笑いを誘発しようとする試みは国内外で多数実施されてきた。代表的なものを以下に挙げる。

林らは、人間の漫才をロボットに置き換えた際の印象の変化を調査している[29]。この研究では、車輪型プラットフォームに4自由度の腕、3自由度の首、2自由度の眼球を持つ **Robovie** を2台使用し、漫才を演技させている。漫才の内容は全て事前に録音された音声データにより実現されており、ロボットはこれらの音声データを再生するタイミングを2台のロボットで協調して制御している。この研究では人間のお笑い芸人のビデオをディスプレイに投影する方法に比べ、ロボットが目の前で演技を行う手法では被験者が感じる臨場感が有意に高まることを示している。また、石黒らは、

この技術を 2005 年開催の「愛・地球博」において「ロボビー&ワカマル」として展示している[30]. ただし, この研究は漫才による言語表現を通じた人間の笑い誘発を対象としており, ロボットの動作による非言語表現は人間のお笑い芸人の漫才中の簡単な腕の動きを再現したものにとどまっている.

梅谷らは, 車輪型プラットフォームに眼球部のみディスプレイを搭載した 2 台の漫才ロボットである「あいちゃん」と「ゴン太」を開発し, このロボット間でだじゃれや言葉遊びを中心とした漫才を実現させた. 梅谷らは特に「対立語」の概念を利用し, ロボットがオンラインでニュースの記事中のキーワードを置き換えたダジャレや, 謎かけの生成を実現させている[31]. この研究においても, 対象となっているのは言語表現のみで, ロボットの動作による非言語表現を通じた笑い誘発刺激の生成は対象となっていない.

これらのように, 大部分のロボットは言語表現による人間の笑い誘発を目的として開発され, それらによって実現された笑い誘発刺激はほとんど言語表現のみで構成されている. 一方, 近年一部においてロボットの動作による非言語表現を人間の笑い誘発に取り入れようとする試みがなされている.

Wendt らは車輪型のプラットフォームにグリッパを取り付けたロボットの動作によってロボットの動作による非言語表現を通じたユーモア生成についての検討を行っている[32]. ただし, この研究で用いられているロボットの動作は映画の面白いシーンなどを参考に作成されたもので, 動作に面白さを与えるモデルに基づいて生成されたものではない.

Katevas らは 2 足ヒューマノイド型のロボットに舞台上でコメディを演じさせるシステムを構築した[33]. ただし, ロボットの言語表現・非言語表現の内容は全て事前に定義され, 人間が舞台袖でタイミングを合わせてボタン入力することで演技が出力されるものである. また, 演技を構成する非言語表現はモデルに基づいて生成されたものではない.

したがって, ロボットの動作による非言語表現に言及している研究においても, ロボットの動作を仮に作成し, この印象を調べる段階にとどまっておき, ロボットの動作による非言語表現を面白く変化させるための要因を分析したり, モデルを構築し, これに基づいてロボットの動作を定義する研究は未だ行われていない. このため, これらの非言語表現は人間の笑いを誘発するための刺激としては使用できても, 笑い誘発刺激を構成するメカニズムを解明するための定量的な刺激としては使用できない.

1.3 本研究の目的と意義

1.3.1 本研究の目的

以上を踏まえ、本研究の目的は、主に人間の笑い誘発メカニズムの解明に貢献するために、ロボットの全身動作によって非言語表現を通じた笑い誘発刺激を生成する手法を確立し、ロボット実機にこれを演技させることで定量性・再現性・臨場感を伴う笑い誘発刺激を実現させることとした。

このためには、第1に動作による非言語表現を面白く変化させる要因を特定する必要がある。第2に、この要因をロボットの行動・動作生成アルゴリズムに組み込み、面白い全身動作を生成させる必要がある。第3に、生成された刺激を演技することができるハードウェアの開発が必要になる。

1.3.2 本研究の意義

本研究の意義は大きく分けて以下の2点が挙げられる。1点目は、上で述べてきたように笑い誘発メカニズム、特に動作により構成される非言語表現を通じた笑い誘発刺激を構成するメカニズムの解明への寄与である。さらに、2点目として、本研究によって実現された「人間の笑いを誘発する能力を持つ」ロボットは、笑いのもつ効果を利用することで、その活躍範囲を広めることができると考えられる。それぞれの詳細を以下に示す。

(1) 笑い誘発メカニズムの解明への寄与

上述のように、本研究はロボット実機の全身動作によって定量性・再現性・臨場感を併せ持つ笑い誘発刺激を実現させるものである。

特に、笑い誘発刺激の構成メカニズムを解明するうえで刺激を定量的に調整できる特徴は必要不可欠なものであり、全身動作による非言語表現を定量的に実現させる点は、これまでにない本研究の大きな特徴といえる。

また、ロボット実機に笑い誘発刺激を演技させることで実現される臨場感がありながら再現性のある笑い誘発刺激は、これまでの人間の笑い誘発メカニズムの解明に関する研究一般で用いられてきたビデオによる刺激の臨場感の低さや、人間の芸人の直接の演技による刺激の再現性の低さといった問題を解決するものである。将来的には、本研究の知見を活かして笑い誘発刺激を演じるプラットフォームとしてのロボット

を開発することで、時間や場所を超えた再現性を持つ笑い誘発刺激が実現されることが期待される。

これらを考えると、本研究により期待される成果は、人間の笑い誘発メカニズム解明全体に大きな貢献を果たしうるものであるといえる。

(2) ロボットの活躍の場を広げる

バラエティ番組やお笑い番組が多数放映されていることから、「笑い」はこれ自体がニーズの高いコンテンツであることがわかる。人間の笑いを誘発するロボットの実現は、これ自体がロボットのお笑い芸人の登場や、コミュニケーションロボットへのお笑いアプリケーションとしての搭載を期待できるものである。さらに、「笑い」そのものを目的としない場合でも、ロボットは「笑い」の持つ効果を活用することで、活躍の場を今までになく広げることが可能である。以下に二つの例を示す。

第1に、医療分野への適用が考えられる。まず、上述の通り笑いはストレスを減少させ、抑うつ状態の緩和や、認知症進行の抑制に効果がある。ロボットは、これらの効果を検証する研究に利用できるだけでなく、将来的に医療・介護現場や老人ホームなどでの活用が期待される。これは、笑いが精神疾患への効果を持つといっても、全ての医師や療法士・介護士などが人間を笑わせるスキルを身に付けることは現実的ではないためである。これらの現場においてロボットを導入することで、医師や療法士、介護士に代わって人間の笑いを誘発することを通じた患者の精神疾患の治療が期待できる。さらに、将来コミュニケーションロボットが一般に広く普及した社会においては、これらのロボットが人間の笑いを誘発することによる精神疾患の日常的な予防効果が期待できる。また、精神疾患の程度は、笑い反応に影響を与えることから、本研究を通じロボットによる定量的で再現性を持つ笑い誘発刺激が実現されることは、この刺激に対する反応を調べることで精神疾患の程度を判別するツールとしての活用を期待できる。

第2に、ロボットのコミュニケーション能力の向上が期待できる。上述のように、「笑い」をコミュニケーションに取り入れることで、聞き手の集中力を高めたり、説得力を高めることができる。コミュニケーションロボットも人間の笑い誘発能力を持つことで、人間への情報伝達を円滑に行えるようになることが期待できる。

1.4 本論文の構成

本論文は Fig. 1.1 のような構成となっている。第 1 章で序論として研究の背景，目的，意義を述べ，先行研究と本研究の比較を行った。第 2 章ではロボットの全身動作によって笑い誘発刺激を生成するための規範となる，人間の笑い誘発のための方略について述べる。第 3 章および第 4 章では第 2 章で述べた笑い誘発方略のうち，「誇張」方略および「矛盾」方略に基づくロボットの動作生成および評価について述べる。第 5 章では本研究の成果が人間の笑い誘発メカニズム解明，社会全体へ果たす意義について述べる。最後に第 6 章で本研究の結論と今後の展望に関し述べる。本論文は以上の 6 章により構成される。

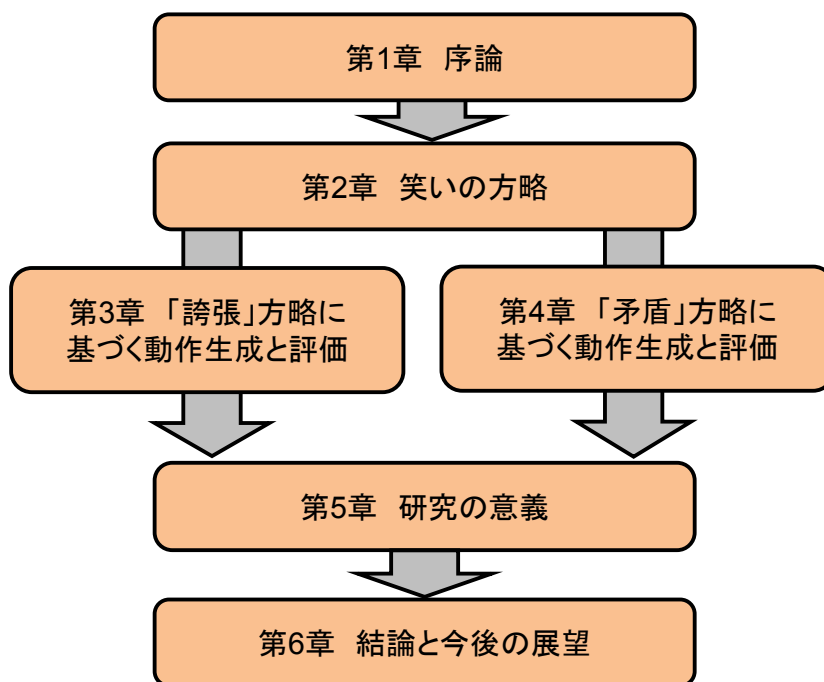


Fig. 1.1 Flow of this research

第2章 笑いの方略

- 2.1 はじめに
- 2.2 「人間が笑いを生じる状況」に関する先行研究
- 2.3 様々な表現手法における面白さの生成法の抽出
- 2.4 「笑いの方略」
- 2.5 笑いの方略に基づくロボットの面白い行動・動作生成のモデルの提案
- 2.6 笑いの方略の有効性の評価
- 2.7 まとめ

2.1 はじめに

本研究は、笑い誘発刺激の構成メカニズム解明に向けて、ロボットの全身動作による定量性・再現性を備えた非言語表現による笑い誘発刺激を生成し、生成された刺激をロボット実機の演技により臨場感を伴って呈示する手法を構築することを目的としている。一方、第1章で示したように、これまで笑い誘発刺激の構成メカニズムの研究においては主に言語表現に注目が集まり、動作など非言語表現に関してはほとんど注目されてこなかった。

ここで、本章の研究は、以下の2点を目的として実施される。

1点目はロボットの行動や動作を面白く変化させる要因を特定することである。

2点目はこの要因をもとにロボットの行動や動作による非言語表現を面白く変化させるためのモデルを構築することである。

本章では、この目的を達成するために実施された先行研究の調査と、これを基としたモデルの構築およびロボットを用いたモデルの有効性の検証に関して述べる。

2.2 「人間が笑いを生じる状況」に関する先行研究

第1章で述べたように、人間の笑い誘発メカニズムの解明に向けた取り組みは、哲学、心理学、社会学など広い分野から行われてきた。ここでは、これらの研究のうち、「人間が笑いを生じる状況」に関する先行研究で提案された仮説をまとめる。これらの「人間が笑いを生じる状況」がわかれば、本研究で扱うロボットの行動・動作によって人間をどのような状況へ導くべきかという基本的な指針となるものであると考えられるためである。

これらの仮説は、研究者・専門家の専門分野に従って視点が異なることから、それぞれ分類の方針が異なり、これまで統一理論としてまとめられたものはない。

ただし、これらの研究から脳神経科学[34]、精神医学[35]、放送作家[36]、笑いそのものの研究者・専門家による分類[37]を例に比較すると、これらの分類には Table 2.1 のようにある程度の共通性がみられる。これをみると、共通性の高い笑いが生じる状況は4つに大分でき、それらの代表的な呼称は「優越」、「不調和」、「開放」および「面白さが要因でない笑い」である。

(a) 優越理論・攻撃性の笑い

他人の失敗、ばかなことをする者、訛り、顔のみにくさなどに対して自分が優越感を感じることで、笑いが生じるとされるもの。ベルクソンらが提唱する理論である。

(b) 不調和の笑い・不一致理論

予想したり、期待したりしていたことが実際にはそうならなかった場合(不一致)、またはそれが解消された場合に、そのズレが笑いを導くとされるもの。古代ギリシア人(プラトン、アリストテレス)、古代ローマ人(キケロ、クインティリアヌス)、デカルト、ホッブス、バインなどが提唱した理論である。

(c) 開放理論・緊張緩和の笑い

感情や緊張が高まった心的状態が一転して無意味なことがらに帰する場合、行き場

Table 2.1 Hypothesis of the type of laughter

代表的な呼称	面白さに由来	提唱する研究者の専門分野			「笑い」の研究者
		脳神経科学	精神科医師	放送作家	
優越	○	優越理論	快の笑い(優越)	攻撃性の笑い	ベルクソンの理論 (社会理論) 優越感の理論
不調和	○	不一致理論	快の笑い (不調和)	娯楽性の笑い	主知主義的理論 (対比と突飛さ)
		不一致解消理論	快の笑い (価値逆転・低下)		
開放	△	開放理論	緊張緩和の笑い		
面白さが 要因で ない笑い	×		社交上の笑い	親和性の笑い	
			快の笑い (本能充足)		
			快の笑い (期待充足)		

を失った心的エネルギーが笑いによって開放されると説明されるもの。カント、ショーペンハウアー、ホップス、スペンサー、ベインなどが提唱した理論である。

(d) 面白さが要因でない笑い

面白さを感じたわけではないが、満足感を感じた際や、逆に絶望した際に自然と生まれる笑いと言明されるもの。

(例) スポーツで試合に勝つ、魚釣りで期待以上の大きな魚が釣れる、入試に合格。

この中で、「優越」、「不調和」の2つの状況は、面白いから笑うものである。「開放」の状況は、面白くて笑う場合と、面白くはないが、緊張が緩和しただけで笑う場合がある。

本研究はロボットが人間に面白さを感じさせ、これによる笑い誘発をめざすため、これらのうち「優越」、「不調和」、「開放」のように面白さを感じることに由来する笑いを対象とする。ただし、「優越」に由来する笑いは、面白さを感じさせるものの、人間またはロボットが相手を嘲笑する関係となる。ロボットがこの種で説明される行動ばかりを行って行けば、人間から見れば「嫌味なロボット」または「馬鹿なロボット」と評価されることとなり、これは人間との信頼関係の構築に問題を起こすことが考えられる。したがって、ロボットは特に「不調和」または「開放」で説明される状況の生成による笑い誘発を目指すべきと考えられる。

ここで、「不調和」の状況による笑い誘発を説明する典型的なモデルとして、サルスのモデル (Fig. 2.1) [38]がある。このモデルは面白さによって笑いが誘発されるまでには不一致とその解決 (解消) の2段階が必要であると説明されるものである。第1段階はジョークやマンガの聞き手や読み手の予測が、結末や最後のコマのセリフで裏切られる (不一致との遭遇) ことである。第2段階は、冗談の主要部分に沿ってオチを導く認知的なルールをみつけ出し、不一致部分を解消するものである。

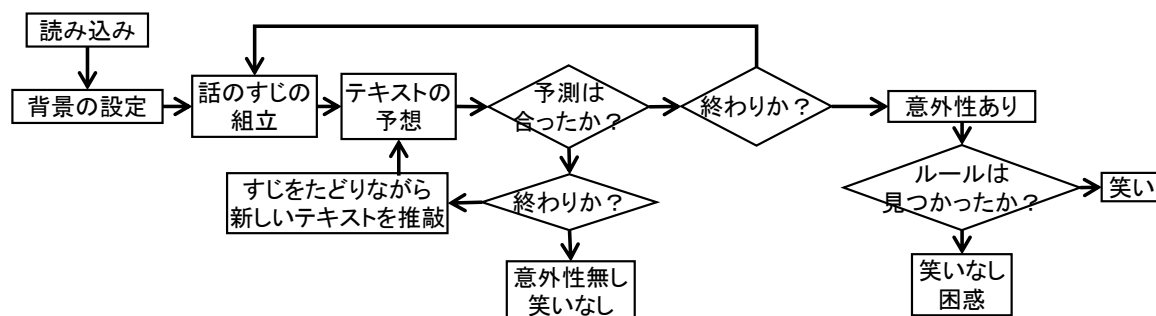


Fig. 2.1 Mismatch model by H. J. Suls

「開放」の状況による笑い誘発を説明する典型的なモデルとして、木村によるスペンサー・フロイトモデル (Fig. 2.2) [39]がある。人間が外界からの刺激を受けた際、必要な重要性や緊急性の度合いを予期し、「心的エネルギー」を蓄積した状態（緊張した状態）となる。ここで、急に負荷が除去されると（緊張が解消されると）、蓄積していた「心的エネルギー」が笑いに変化するとされるものである。

これらをみると、面白さに起因し、相手を傷つけない笑いは、予測と現実のズレを感じ、これが解消される状況で生じる性質を持つことがわかる。したがって、ロボットの行動や動作によって人間の笑いを誘発するためには、まずこれらによって人間の予想を裏切る必要があることがわかる。

2.3 様々な表現手法における面白さの生成法の抽出

以上のように、人間は予想と現実のズレを感じた際に笑うとされている。次に、ロボットの行動や動作で予想を裏切り、面白さを生み出す要因を特定することを目的とした調査を実施した。ここで、人間は予想が裏切られた際、必ずしもこれが笑いにつながるとは限らない。つまり、笑いを導くための予想の裏切り方には特定の方法があると考えられる。本研究は、この方法の抽出をこれまでに提案されてきた人間を笑わせる方法論から行うこととした。ただし、本研究で取り組む行動や動作による笑い誘発に関して体系的に論じた先行研究をみることはできなかったため、本研究では動作による表現手法に限定せず、広い分野の表現手法において面白さを生じさせる手法をまとめた文献を調査した。このような書籍は多くがみられたが、これらの中から、研究者や専門家によって執筆されており、対象としている分野が重ならず、特に体系的に手法がまとめられているという観点で日常会話、漫才・コント、文学表現の3つの分野に関する3冊の文献[40]–[42]から、面白さの生成法を抽出した。以下にこれらで指摘されている面白さの生成法をまとめる

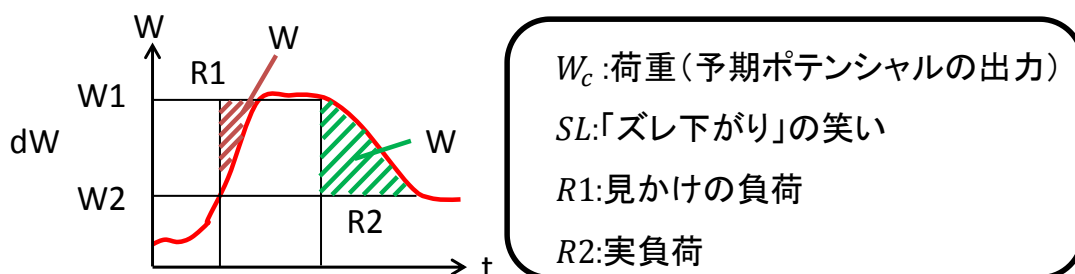


Fig. 2.2 Spencer/Freud model by Kimura

2.3.1 日常会話における面白さの生成法の分類

タレントプロダクションの「浅井企画」が若手放送作家を育成するために設立したセミナーがまとめた書籍[40]によると、日常会話における面白さの生成法は「無知」、「勘違い」、「誇張法」、「天井」、「だじゃれ」、「スカシ」、「時事ネタ」、「差別」の8つに分類できるとされ、それぞれが例を挙げて「笑いの基本構造」として示されている。

- (a) **無知**：「知っていることをあえて知らないふりをして、そこにボケを乗せる」構造。
- (b) **勘違い**：2者間の会話が勘違いにより会話がかみ合わない状況を第3者が見るときに生まれる構造。
- (c) **誇張法**：物事を過度に大きく、または小さく形容する表現方法。
- (d) **天井**：発言や行動を繰り返し行う構造。お笑いの専門用語で、天井の上には海老天が2つ乗っていることに由来する。
- (e) **ダジャレ**：非常に似通って音を持つ言葉をかけて遊ぶ一種のことば遊びのこと。
- (f) **スカシ**：ボケに対して一切ツッコミを入れない笑いの技法。
- (g) **時事ネタ**：その時々での社会的な出来事を日常会話に組み込むこと。
- (h) **差別**：ある基準に基づいて、差をつけて区別すること、扱いに違いをつけること。もしくは、偏見や先入観などをもとに、特定の人々に対して不利益・不平等な扱いをすること、また、その扱いのこと。

2.3.2 漫才・コントにおける面白さの生成法の分類

科学思想史、科学基礎論を専門とする新潟大学人文学部井山弘幸教授が漫才・コントの演技を系統分類した書籍[41]によると、漫才・コントにおける面白さの生成法は「ダジャレ」、「同音異義」、「類誤変換」、「自賛」、「自虐」、「あるある」、「キプロクオ」、「異種結合」、「シュール」、「パラレル系シュール」、「反復」、「ズレ下がり」、「逸脱」、「針小棒大」、「唐突なリアル」、「ものまね」、「ナンセンス」の17種に系統分類できるとされる。

- (a) **ダジャレ・同音異義**：同音異義により意味の解釈の異なる競合世界を生む構造のこと。
- (b) **類誤変換**：同じ音の言いかえでなく，台詞を音が似ている言葉に言いかえる構造のこと。
- (c) **自賛ねた**：自分のことをポジティブに語る芸のこと。
- (d) **自虐ねた**：自らを貶めるボヤキや失敗談のこと。
- (e) **あるあるねた**：ありがちなことや世の中の矛盾や変なこと，言われてみればおかしいこと。
- (f) **キプロクオ**：「ある状況が全然独立している事件の二系列に同時に属しており，そしてそれが同時に全然異なった二つの意味に解釈できるとき，その状況は常に滑稽である」とベルクソンが指摘する形式のこと。
- (g) **異種結合**：それぞれ現実にはありそうな2つの独立した世界が重なり合うことで成立する芸のこと。
- (h) **シュール**：シュールリアリズムの略。以下の4つの型があるとされる。
 - (i) **サスペンス・シュール**：正体や理由が不明のものがある型。
 - (ii) **言語系シュール**：言葉の約束事を一部変更する型。
 - (iii) **SF系シュール**：現実にはありえない事態や存在を導入するが，その他については現実の機構が忠実に守られている型。
 - (iv) **パラレル系シュール**：ありえない仮定を含む世界が，さらに架空の世界を生み出し，パラレルワールドが出現する型。
- (i) **反復**：同じこと，あるいは似たようなことが繰り返されること。
- (j) **ズレ下がり**：意識が大きなものから小さなものへ不意に移されること。
- (k) **逸脱**：論理的逸脱。論理的にずれた発言や行為のこと。
- (l) **針小棒大**：日常では語らない細かいことにあえて言及すること。
- (m) **唐突なりアル**：唐突に現実的な話をする事。

2.3.3 文学作品における面白さの生成法の分類

文体論、表現論を専門とする早稲田大学中村明名誉教授が日本語と笑いの関係に関してまとめた書籍[42]によると、文学作品における面白さの生成法は「配列」、「反復」、「付加」、「省略」、「間接化」、「置換」、「多重」、「摩擦」の12個の大枠で分類された41個に分類できるとされている。

(a) 配列：奇先法など

- (i) 奇先法：はじめに相手がおやっと思うことを述べ、後からその事情や理由を説明して納得させる。
- (ii) 情報待機：必要な情報の一部を意図的に後回しにする。
- (iii) 未決：意図的に未解決感を引き起こす。
- (iv) 誤解誘導：ごまかしにより誤った思い込みに導く。

(b) 漸層法など

- (i) 漸層法：表現を徐々に強めながら最高潮に達するように導く。
- (ii) 漸降法：次第に勢いが衰えるように展開させる。
- (iii) 飛移法：急激な方向転換。
- (iv) 頓降法：途中まで漸層法として次第に盛り上げて行き、ピークに達したとたんに落とす。

(c) 反復

- (i) 畳語法：ある単語をその直後に繰り返して強調する。
- (ii) 畳点法：ある語句を一定の箇所に集中的に用いることで表現の面白みをねらう。
- (iii) 異義復言：ある語を一つの文の中で別々の意味でくりかえす。
- (iv) 畳音法：同じ音を繰り返し用いて調子を整える。

(d) 付加

- (i) 虚辞：情報量がゼロに近いことばの付加。
- (ii) 冗語法：面白みを狙って意図的に無駄を入れる。
- (iii) 詳悉法：対象のあらゆる面を必要以上にくわしく述べたてる。
- (iv) 列叙法：部分部分に同等の力点を置いて次から次へと念入りに述べ立てる。
- (v) 列挙法：同格の言葉を並べ立てる。

(e) 省略

情報に比べてことばの数が感覚的に少ない場合.

(f) 間接：伝えたいことを直接ストレートに表現せず、遠回しに述べる.

(i) 美化法：比喩的なイメージ転換を図る.

(ii) 陽否陰述：言わないという形をとって実質的に情報を伝えてしまう.

(iii) 反語法：表現の言語的な意味とは反対の意味を感じ取らせる.

(g) 置換

(i) 擬人法：人間でないものを人間なみにあつかう.

(ii) 擬物法：擬人法とは逆に人間を物として扱う.

(iii) 提喩：全体と部分あるいは類と種との関係をもとに転換する.

(iv) 換喩：物で持ち主を象徴的に表す. 大幅な省略によって偶然の飛躍的な結びつきの生じやすいため、笑と縁が深い.

(h) 多重

(i) 引用法

(ii) 暗示引用

(iii) パロディー

(iv) 洒落

(v) 語呂合わせ

(i) 摩擦

(i) 訛り

(ii) 文体落差：子供や外国人が難しい言い回しを言ったりすること.

(iii) 軀語法：結びつきの誤りを用いる.

(iv) 代替：文のなかの二つのことばの位置を交換して文意や常識をくつがえす.

(v) 対義結合：修飾語と被修飾語という関係にある言葉など、隣り合う語句同士が両立しえない意味を持つようにする.

(vi) 異例結合：大義結合ほど反発しあわなくても、ふつうには結びつきにくい意外な組み合わせ.

(vii) 矛盾語法：撞着語法.

(viii) 逆説：「負けるが勝ち」, 「ただほど高いものはない」など.

(ix) 同義循環：「女は女であるとき最も女性である」など.

(i) 誇張法

(i) 誇張法：実際よりもいくらか大げさに言う，事実に対する認識を拡大して表現する。

(ii) 極限：細かいニュアンスを切り捨て，あえて極端な言い方を選ぶ。

2.4 「笑いの方略」

以上のように，日常会話，漫才，文学作品における面白さの生成法を体系的にまとめた3冊の書籍から，面白さの生成法を抽出した．これらの内容には共通のものがみられたため，Table 2.2のようにまとめなおした．この表に注目すると，これらの書籍は日常会話，漫才・コント，文学作品と扱っている表現手法が異なるにもかかわらず，表に示す通り「誇張」，「矛盾」，「反復」，「ダジャレ」，「唐突な変化」の5つの面白さの生成の構造は共通性があることがわかった．これらの方略は表現手法の種類を超え，刺激に面白い印象を与える根源的な方略といえるもので，幅広い表現手法に対して適用可能な構造をもつものであると考えられた．このため，本研究ではこれらの構造を「笑いの方略」と名付け，これらの構造に基づいてロボットの行動・動作を変化させることで，ロボットの全身動作による非言語表現を通じた笑い誘発刺激を生成することをめざすこととした．まずはこの方針が正しく，「笑いの方略」がロボットの面白い行動・動作生成のために有効であるかを検証することとした．ただしこれらの「笑いの方略」は，本来言語表現に面白さを与える要因について提案されたものであり，

Table 2.2 Strategies for making humans laugh

日常会話 [池澤2006]	漫才・コント [井山2007]	文学 [中村2011]	
誇張法	針小棒大	誇張法	⇒ 誇張
勘違い	逸脱	矛盾語法	
	異種結合	対義結合	⇒ 矛盾
	ナンセンス	軋語法	
ダジャレ	ダジャレ	洒落	⇒ ダジャレ・パロディ
時事ネタ		パロディー	
天井	反復	反復	⇒ 反復
スカシ	唐突な現実	飛移法	
	ズレ下がり	頓降法	⇒ 唐突な変化
差別 無知	自賛 自虐 ものまね あるある	置換 付加 間接化 省略	

行動や動作などの非言語表現に同様に適用できるかはわからなかった。このため、2.5.1 節においてまず「笑いの方略」が行動や動作に適用できる構造を持つかを検討し、このうえで「笑いの方略」に基づいた行動・動作による笑い誘発刺激生成のモデルを提案する。さらに、提案したモデルによって実際に人間を笑わせる刺激を生成することができるか、について 2.5.3 節で実験を通じて検証する。

2.5 笑いの方略に基づくロボットの面白い行動・動作生成のモデルの提案

2.5.1 ロボットの行動生成・動作生成への「笑いの方略」の導入の可能性の検討

以上のように、表現手法の種類を超え、一般的に刺激に面白さを付加する手法の中で特に共通性が高いものは誇張、矛盾、反復、唐突な変化、だじゃれの 5 つの構造であることがわかった。それぞれがロボットの行動・動作の印象に面白さを与えるために適用が可能か、検討を行った。

(a) 誇張

誇張とは、刺激の大きさを極端に大きくしたり小さくしたりすることによって、相手の刺激の大きさに関する予想を裏切り、面白さを生む手法である。これは、表現手法が行動・動作に変わった場合でも、Fig. 2.3 のような概念で適用が可能であると考えられる。つまり、 k を誇張の度合いとし、刺激の大きさを変化させるゲインとして考える。ここで、 k の大きさ 1 が最も自然な印象を与える行動・動作であった場合、1

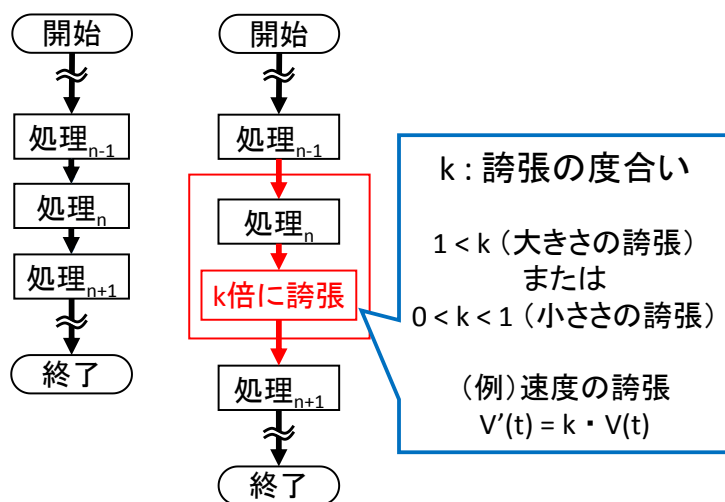


Fig. 2.3 Concept of funny behavior / motion generation based on “Exaggeration” strategy

より大きければ、予想を裏切った大きな行動・動作を、 $0 < k < 1$ の範囲で変化させた場合には予想を裏切った小さな行動・動作が実現されると考えられる。

「誇張」を用いたロボットの面白い行動・動作の生成の例としては、ロボットの行動生成においては小さい音がしたにもかかわらず大げさに驚くなどの行動が考えられる。動作生成においては極端に速い動作・大きい動作などが考えられる。

(b) 矛盾

矛盾とは、コンテキストから予想されることとあえて逆のことをすることで相手の予想を裏切り、面白さを生む手法である。これは、表現手法が行動・動作が変わった場合でも、Fig. 2.4 のような概念で適用が可能であると考えられる。つまり、ロボットの行動・動作の出力の内容を自然に予想できるものと反転させることであると定義が可能である。

「矛盾」を用いたロボットの面白い行動・動作生成の例としては、ロボットの行動生成においてはネガティブな刺激にポジティブな反応を返す行動、動作生成においては万歳の表現であるのに関節が予想の逆に動き、肘関節が下向きに曲がる動作などが考えられる。

(c) 反復

反復とは、同じことをあえて繰り返すことによって、相手の予想を裏切り、面白さ

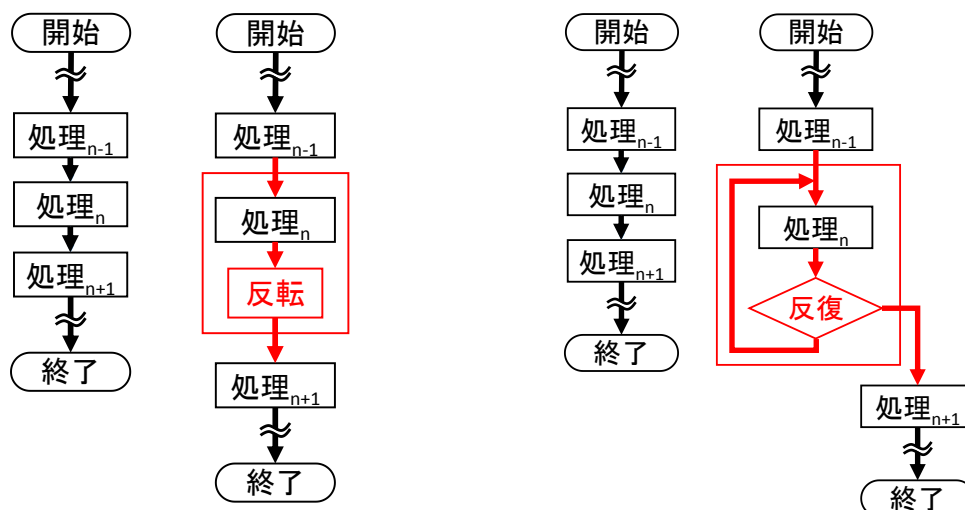


Fig. 2.4 Concept of funny behavior / motion generation based on “Contradiction” strategy Fig. 2.5 Concept of funny behavior / motion generation based on “Reiteration” strategy

を生む手法である。日常において、全く同じ内容がくりかえし生じることはほとんどなく、これをあえて行うことで相手の予想を裏切ろうとするものである。

これは、表現手法が行動・動作に変わった場合でも、Fig. 2.5 のように、ロボットの行動・動作を何度も繰り返すことであると定義が可能である。

「反復」を用いたロボットの面白い行動・動作生成としては、全く同じ行動や動作を繰り返すものとなる。

(d) 唐突な変化

唐突な変化とは、これまでのコンテキストから想像される内容とは異なった流れをくむ内容が突然生じることで相手の予想を裏切り、面白さを生む手法である。

矛盾方略との違いは、矛盾方略によって説明される内容は、あくまで予想される内容をもととし、これを反転した物であると説明できるのに対し、唐突な変化によって説明される行動・動作の内容は予想されるものの反転によって定義されるものではなく、別のコンテキストにおいては自然に感じられるであろう行動・動作に唐突にすりかわることであると説明できる点にある。

これは、表現手法が行動・動作に変わった場合でも、Fig. 2.6 のような概念で適用が可能であると考えられる。つまり、ロボットがある行動や動作をこれまでの行動や動作に割り込んで出力することであると定義が可能である。

「唐突な変化」を用いたロボットの面白い行動・動作生成の例としては、ロボットの行動においては仕事をしていたロボットが突然遊び始める、動作においては声色が突然変わることなどが考えられる。

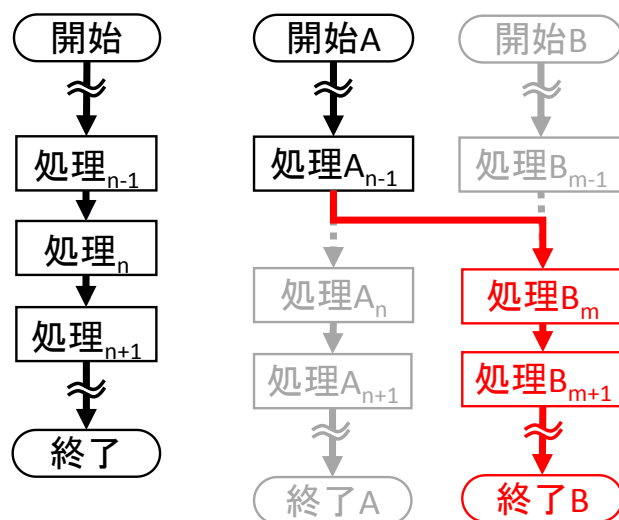


Fig. 2.6 Concept of funny behavior / motion generation based on “Sudden change” strategy

(e) だじゃれ

「だじゃれ」も笑い誘発の方略としては広い分野の研究者が共通して指摘するものである。しかし、この方略は言語表現に強く依存しているため、本研究の対象からは外した。

2.5.2 笑いの方略をもととしたロボットの行動・動作生成のモデル

一般に、ロボットが環境から情報を認識し、環境に対して行動を返すまでの行動・動作生成の一連の流れは Fig. 2.7 のように表される。

この構造はまずセンサやハードウェアなど物理的な入出力を行うレベルと、ロボット内部でこれらから得られた情報、これらに対し出力する内容を決定するソフトウェアのレベルに分けられる。このうち、ソフトウェアのレベルは、次の3つの段階から構成される。1つ目の段階はセンサから入力された情報をもとに現在自分が置かれている環境を認識し、次に行う行動の目的を決定する「環境認識」、2つ目の段階は環境認識によって決定された目的を達成するために、状況と行動の関連を定めたルール群をもとに行動を決定する「行動生成」、3つ目の段階は決定された行動を具体的な動作の流れに落とし込み、ロボットのハードウェアの動作を決定する「動作生成」である。

これらは、一般的にはロボットが果たすべき役割・目的に合わせて、自律的に実行される。これは変化なく実行されれば本来受け手にとって自然に感じられるものが出力されるべきであるが、この段階のうち行動生成・動作生成を上記で述べた「笑いの方略」によって変化させることによって、予想と現実のズレが生成され、これが笑いを生むと考えることができる。

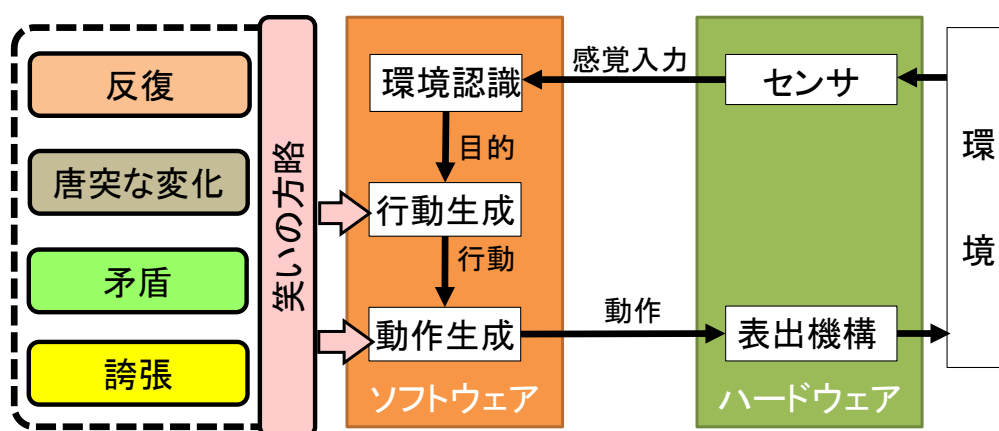


Fig. 2.7 Flow of behavior/motion generation of robots and “Strategy for laughter”

例えば、「行動生成」の段階で実行される処理に「笑いの方略」を適用すれば、「環境認識」で認識された些細な結果に対し過剰に反応したり（誇張）、ポジティブな刺激に対しネガティブな反応を返す（矛盾）といった行動で笑い誘発を目指すことができると考えられる。また、「動作生成」の段階で実行される処理に「笑いの方略」を適用すれば、動きを異常に大きくしたり、速くしたり（誇張）、腕を上げて万歳をするはずの場面で腕を逆に下す（矛盾）といった行動や動作で相手の予想を裏切ることが考えられる。

2.6 笑いの方略の有効性の評価

以上のようにして説明した枠組みのように、「笑いの方略」を適用することでロボットが行動・動作による笑い誘発刺激を生成することができるのかを検証した。この検証は、2段階により行われた。まず第1段階として、お笑い芸人に依頼しロボットの行動・動作を中心とした全身表現によるねたを自由に作成してもらい、これらのねたの面白さが先述の「笑いの方略」をもととしたモデルにより説明できるかを確認した。次に、第2段階として完成したねたを被験者に見せ、反応を調べることで、「笑いの方略」によって被験者の笑いを誘発できる刺激を作成することができるかを評価した。

2.6.1 ロボットの行動・動作中の面白さの笑いの方略による説明

まず、お笑い芸人に依頼し、ロボットの行動・動作を中心に構成された全身表現によるねたを作成してもらった。ねたの作成を依頼する際、可能な限りロボットの「動き」による表現を使用するよう依頼した。

作成されたねたを下記に示す。さらに、これらのねた中で面白さが感じられる部分に注をつけ、この面白さの構造が前述のモデルで説明できるかを考察する。

(a) 入りのあいさつ (Fig. 2.8)

(早く、深くお辞儀をして) (Fig 2.8(a), (b)) ※注1

「どうも～」

(胸に手を置いて) (Fig 2.8 (c))

「こんにちは、僕、KOBIANです」

(手をすり合わせるジェスチャをし、左右を見回し、頭を下げながら) (Fig 2.8 (d))

「人に媚^こびるから、KOBIAN^{こびあん}言うてます」 ※注2

(右を向いて、手を挙げて) (Fig 2.8 (e))

「社長、一軒寄って行きませんか〜？」

(こちらに顔を向けて) (Fig 2.8 (f))

「僕、ロボットだから飲めませんけどね」 ※注3

(右に向きなおして) (Fig 2.8 (g))

「すみません、店員さん、オイル水割り一丁」

※注1 非言語 「動作生成」における「誇張」

高速な動作・大きな動作により、大げさなお辞儀をすることで、面白い印象を与えている。「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものであると説明できる。

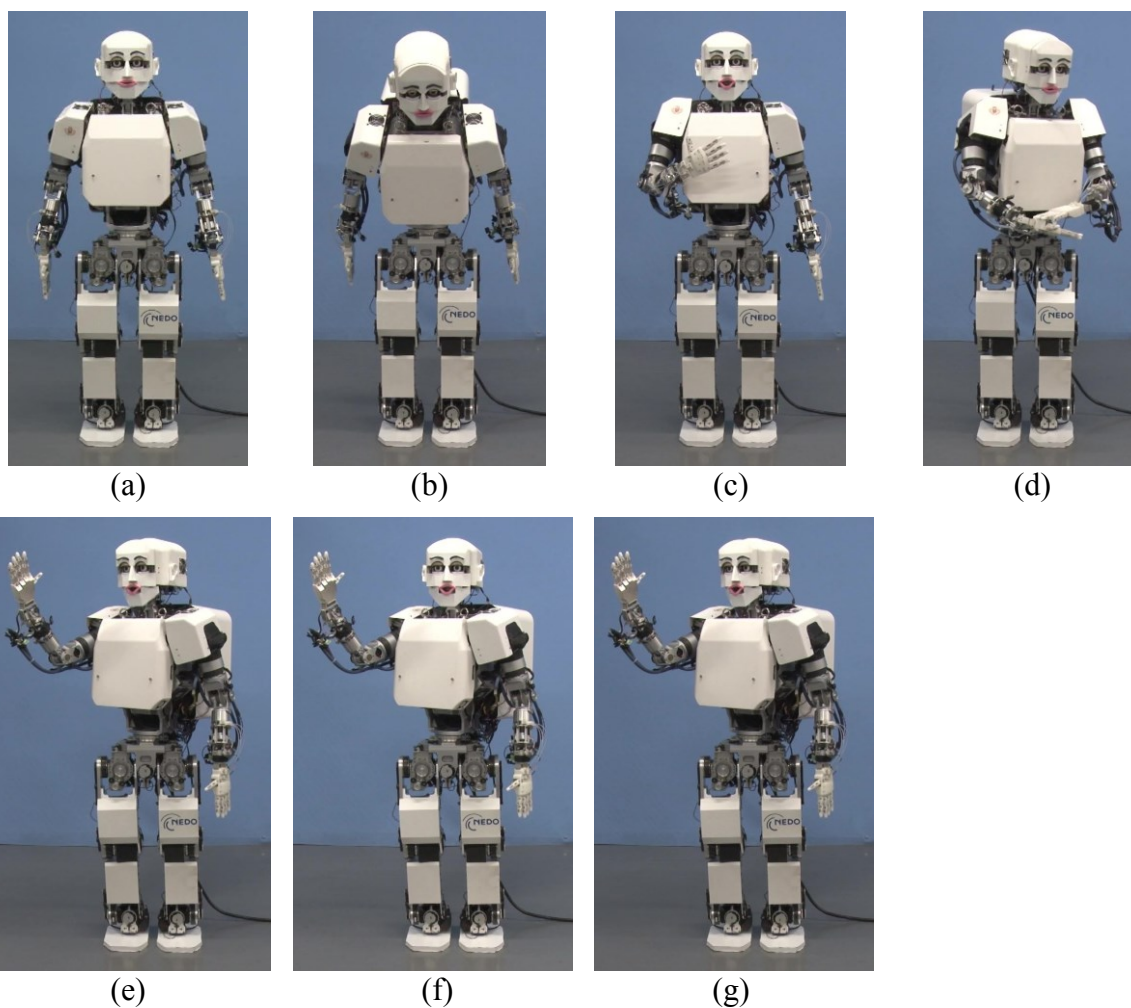


Fig. 2.8 Skit “Entering greeting”

※注2 言語 「だじゃれ」

媚^こびとK^こOBIのだじゃれにより，面白い印象を与えている．これは「だじゃれ方略」による言語的な笑い誘発刺激の生成であると説明できる．

※注3 言語 「行動生成」における「唐突な変化」

この発言までは飲みに行きましょうと誘うという人間に近いストーリーに従った行動を取っていた一方，この発言で唐突に自分がロボットであるというストーリーに変化させることで，面白い印象を与えている．これは「唐突な変化方略」による言語的な笑い誘発刺激の生成であると説明できる．

(b) まずおさんのものまね (Fig. 2.9)

「つづきまして，びっくりした瞬間のまずおさん」

「ええ～～！！」 (Fig. 2.9) ※注1 ※注2

「ええ～～！！」 ※注3

「ええ～～！！」 ※注3

「ええ～～！！」 ※注3

※注1 非言語 「動作生成」における「誇張」

「無感情」の表情と“気をつけ”の姿勢から，誇張した「驚き」の表情と腕の姿勢に変化し，大声で「ええ～～！！」と叫ぶ．この際の動作に速度は速く，声は大声である．このように，大げさな表現により面白い印象を与えており，これは「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものと説明できる．



Fig. 2.9 Skit “Surprised Masuo”

※注2 非言語 「動作生成」における「唐突な変化」

さらに、ロボットの声色や声の大きさが突然変化することでも面白い印象を与えている。これは「動作生成」段階で「唐突な変化方略」を適用したものであると説明できる。

※注3 非言語 「行動生成」または「動作生成」における「反復」

全く同じ行動を繰り返し行うことで面白い印象を与えている。これは非言語的な笑い誘発刺激の生成のため、「行動生成」または「動作生成」段階で「反復方略」を適用したものであると説明できる。

(c) いやがる (Fig. 2.10)

(全身で「嫌悪」のポーズを取り) (Fig. 2.10) ※注1

「やめて～ へビだけはやめて～」 ※注2

※注1 非言語 「動作生成」における「誇張」

全身で大げさに「嫌悪」の表現を行うことで面白い印象を与えている。これは「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものであると説明できる。

※注2 言語+非言語 「行動生成」における「矛盾」

ロボットであるにもかかわらず、へビを怖がることで面白い印象を与えている。これは非言語的な笑い誘発刺激の生成のため、外界からの「へビがいる」という入力に対しネガティブな行動生成を行うという「行動生成」段階で「矛盾方略」を適用したものであると説明できる。

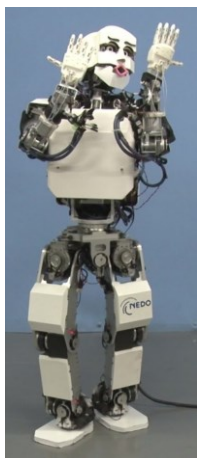


Fig. 2.10 Skit “Dislike”

(d) 当たり前体操 (Fig. 2.11)

(腰に手を置き、姿勢を前傾にして) (Fig. 2.11 (a))

「さあみんな、当たり前体操の時間だよ、今日も元気に行ってみよう」

♪体操を促す音楽♪

「あたりまえ～ あたりまえ～ 当たり前体操♪」 (Fig. 2.11 (b))

(右足から歩き始めて) (Fig. 2.11 (c)) ※注1

「右足を出して左足を出すと・・・」 (Fig.2.11 (d))

(4歩歩き、笑顔の表情になり、首をこちら側に向けて) (Fig. 2.11 (e))

「歩ける♪」 ※注2 ※注3

(元の位置に戻りながら) (Fig. 2.11 (f))

「当たり前体操♪」

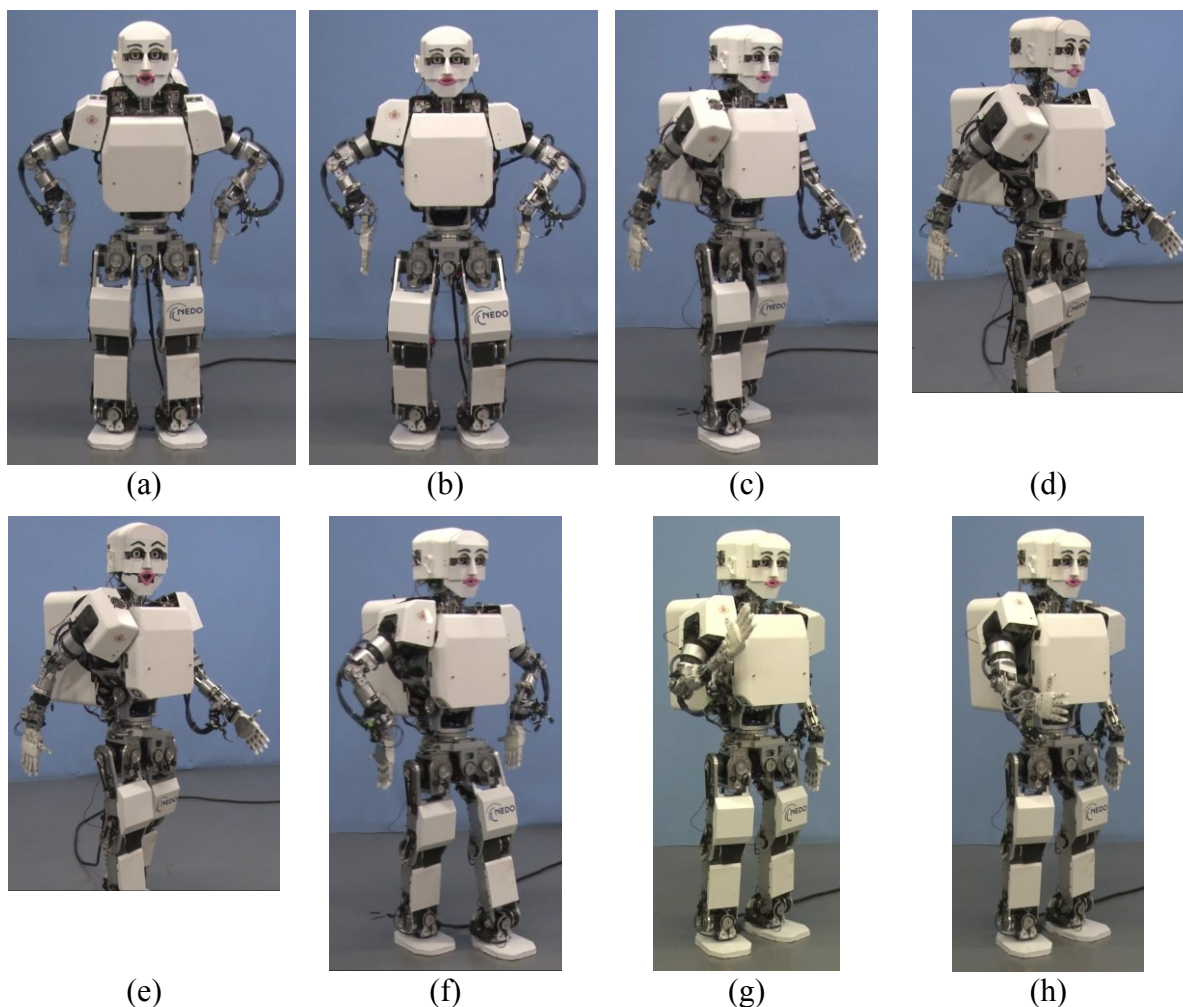


Fig. 2.11 Skit “No surprise exercise” - 1

(じゃんけんで手を出すふりをして) (Fig. 2.11 (g)) ※注1

「じゃんけんぽんで後から出すと・・・」 (Fig. 2.11 (h))

(テンポを遅らせて手を出し, 笑顔の表情になり, 首をこちら側に向けて)

「勝てるよ♪」 (「唐突な現実回帰」方略) (Fig. 2.11 (i)) ※注2 ※注3

(腰に手を置き, スクワットをしながら) (Fig. 2.11 (j))

「当たり前体操♪」

「後ろからひざをかつくんすると・・・」 (Fig. 2.11 (k)) ※注1

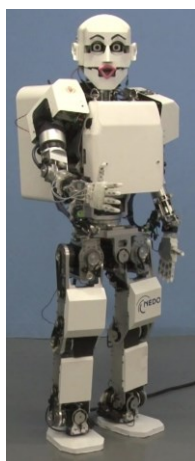
(膝を折り曲げて, 嫌悪の表情になり, 首をこちら側に向けて)

「膝かつくん♪」 (Fig. 2.11 (l)) ※注2 ※注3

(腰に手を置き, スクワットをしながら)

「当たり前体操♪」 (Fig. 2.11 (m))

(手を口の前にかざし, 横を向いて徐々に振り向きながら)



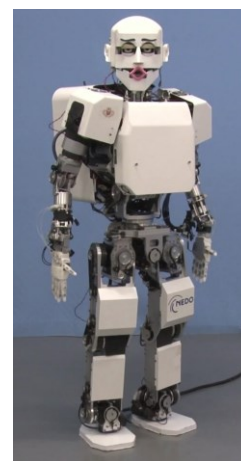
(i)



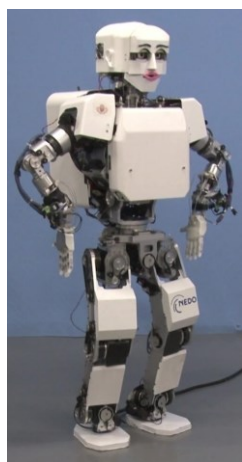
(j)



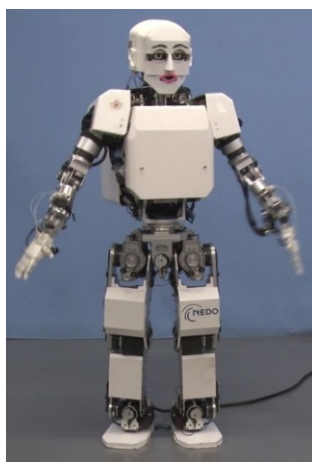
(k)



(l)



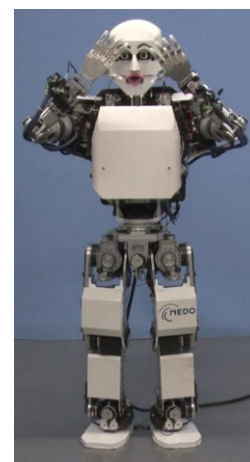
(m)



(n)



(o)



(p)

Fig. 2.11 Skit “No surprise exercise” -2

「あ〜い〜うえお〜♪ か〜き〜く〜〜〜」 (Fig. 2.11 (n),(o)) ※注 1

(手を口の前からどけ, 正面を向いて)

「けこ♪」 (Fig. 2.11 (p)) ※注 2 ※注 3

(腰に手を置き, スクワットをしながら)

「当たり前体操♪」

「あたりまえ〜〜 あたりまえ〜〜 当たり前体操♪」

※注 1 非言語 「行動生成」における「反復」

リズムに合わせて, 動作を行い, 最後にスクワットをするという一連の行動を反復して行う, 「行動生成」段階で「反復方略」を適用したものであるといえる.

※注 2 言語+非言語 「行動生成」における「唐突な変化」

このタイミングで, 突然動きを止め, 顔を正面に向けて表情を作る. これに合わせ, 音韻, BGM を変化させることで面白い印象を与えている. これらは, 「行動生成」段階で「唐突な変化方略」を適用したものであるといえる.

※注 3 非言語 「動作生成」における「誇張」

表情や動作を誇張して行うことで面白い印象を与えている. 「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものであるといえる.

(e) 変形 (Fig. 2.12)

「KOBIAN の変形！」

(目を見開き, しゃがんで) (Fig. 2.12 (a))

「いくぞ！」

(姿勢を前傾にし, 前へならえをして) (Fig. 2.12 (b))

「へ〜んけい！」 ※注 1

(首を正面に起こし, 悲しそうな顔をして) (Fig. 2.12 (c))

「までよ? よく考えたら」

「そんな機能無かったか・・・」 (Fig. 2.12 (d)) ※注 2 ※注 3

※注 1 非言語 「動作生成」における「誇張」

大げさに目を見開き，誇張した表情をすることで面白い印象を与えている。「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものといえる。

※注2 言語+非言語 「行動生成」における「唐突な変化」

言語表現としては，それまでは変形するぞ，というアピールを続けていたにもかかわらず，突然「そんな機能なかったか」と話を変えることで面白い印象を与えている。

非言語表現としては，それまでは体幹部を主体とし，流れるように動作を行っている一方，このタイミングで動作を一旦停止し，首を起こして表情を変えることで面白い印象を与えている。この前後での行動は連続性がない。

以上のように，「行動生成」段階で「矛盾方略」を適用したものといえる。

※注3 非言語 「動作生成」における「誇張」 表情

誇張した表情をすることで面白い印象を与えている。「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものといえる。

(f) 欲しがる (Fig. 2.13)

(右手を差し出して) (Fig. 2.13 (a))

「電池ちょうだい？」 ※注1

(右手をひっこめ，首を横に振って) (Fig. 2.13 (b))

「これは電池じゃないですよね」

(右手を再び差し出して) (Fig. 2.13 (c))

「電池くださいよお」 ※注1

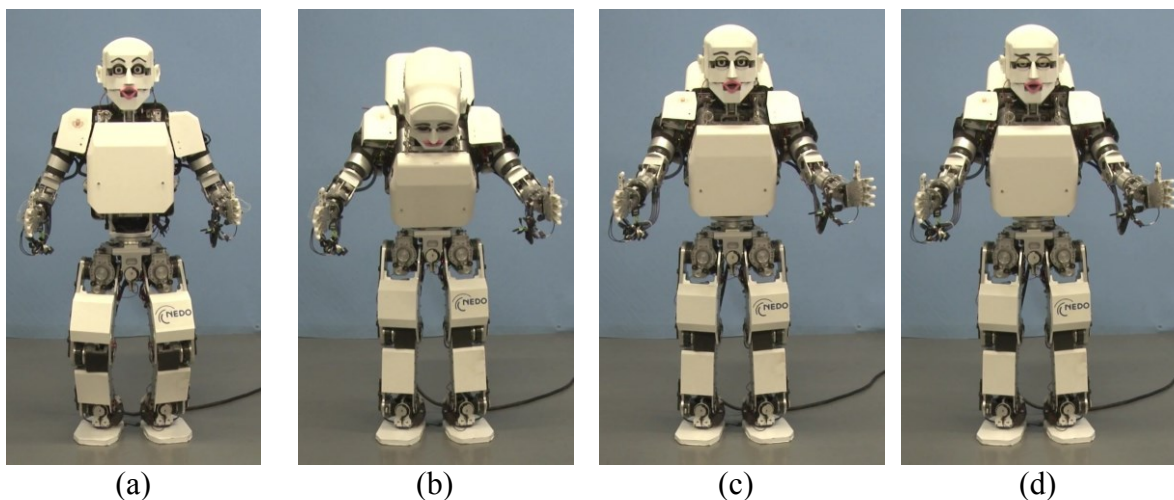


Fig. 2.12 Skit “Transformation”

(右手をひっこめ、首をうなだれて) (Fig. 2.13 (d))

「いや、これも電池じゃないじゃん しまいには怒るよお？」

(三度右手を差し出してひっこめ、首を上下に振って)

「これこれ これが欲しかったんですよ」

※注1 言語+非言語 「行動」生成における「反復」

電池を欲しがり、別の物を渡されて怒る行動を何度も繰り返すことで面白い印象を与えている。「行動生成」段階で「反復方略」を適用したものであるといえる。

(g) 面白い顔

(左右を見まわして) (Fig. 2.14)

「私の顔を見て、面白い顔だなあって、笑ってるけど」

「あなたも負けず劣らずの、面白い顔ですよ～」 ※注1

※注1 言語 「矛盾」

面白い顔のロボットが、相手の顔を面白いという言語的な「矛盾」の構造で面白い印象を与えている。

(h) 毒を吐く

(胸に手を置いて) (Fig. 2.15(a))

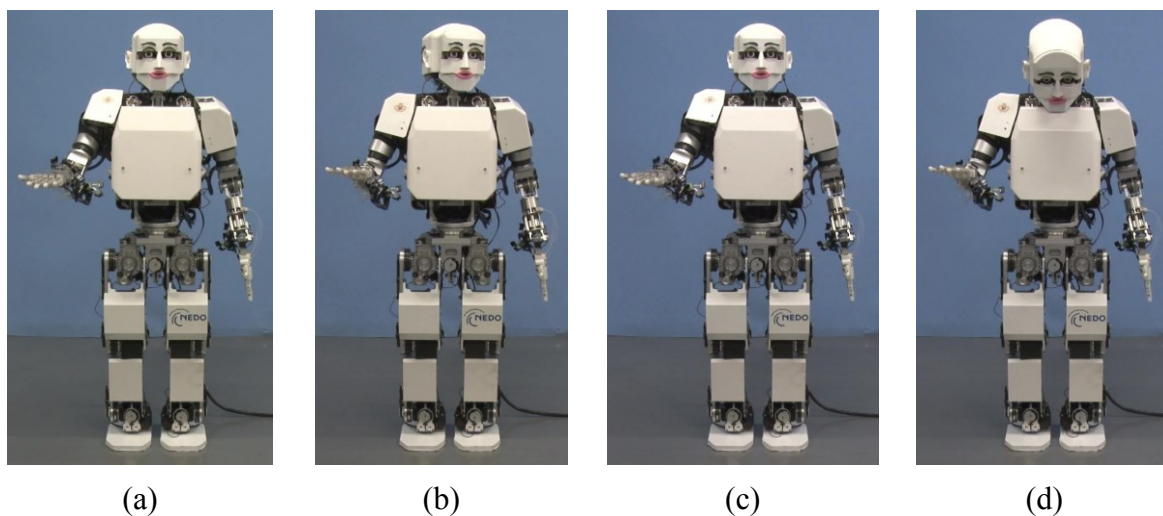


Fig. 2.13 Skit “Covet”

「僕，ASIMO より絶対イケメンだと思うんですけどね～」 ※注1

(腰に手を置いて) (Fig. 2.15(b))

「僕，ASIMO と戦ったら 絶対 勝てますよ～」

※注1 言語 「矛盾」

面白い顔のロボットが，自分の顔をイケメンだという言語的な「矛盾」の構造で面白い印象を与えている.

(i) ロボットの肩こり

「肩こってませんか？」

「僕はいつもカチコチですよ～」 (Fig. 2.16) ※注1

※注1 言語+非言語 「行動生成」における「矛盾」

肩をこるはずのないロボットが，肩をさすり，「肩をこった」と言うことで面白い印象を与えている. 「行動生成」段階で「矛盾方略」を適用したものであるといえる.

(j) ケインコスギのものまね (Fig. 2.17)

「つづきまして，日本語はあまりうまくないんだけど，英語の発音はすばらしいケイン=コスギ」

「ア～・・・フッキン」 (Fig. 2.17(a)) ※注1

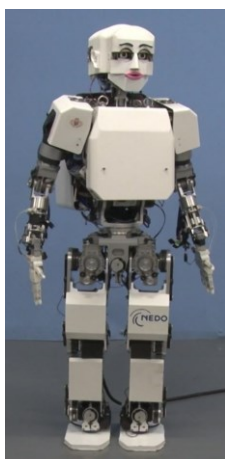
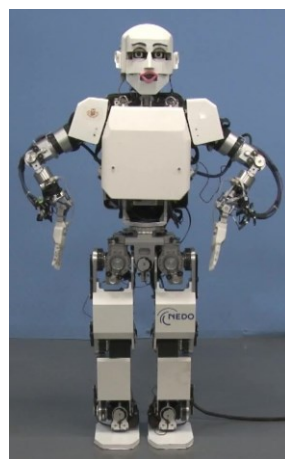


Fig. 2.14 Skit
“Funny face”



(a)

Fig. 2. 15 Skit “Malicious tongue”



(b)



Fig. 2. 16 Skit
“Shoulder pain”

「ア〜・・・キョウキン」 (Fig. 2.17(b)) ※注 2

「ア〜・・・ジョウワンキン」 (Fig. 2.17(c),(d)) ※注 2

「すべてエ, きたえればア, きみもオ」 (Fig. 2.17(e),(f))

「Perfect Body」 (Fig. 2.17(g)) ※注 3

※注 1 非言語 「動作生成」における「誇張」

音韻を大げさに外国人らしく言うことで面白い印象を与えている。「動作生成」段階で「誇張方略」を適用したものであるといえる。

※注 2 言語+非言語 「行動生成」における「反復」

「ア〜・・・〇〇」と言いながら手で体の部位を指し示すという同じ行動を何度も繰り返すことで面白い印象を与えている。「行動生成」段階で「反復方略」を適用したものであるといえる。

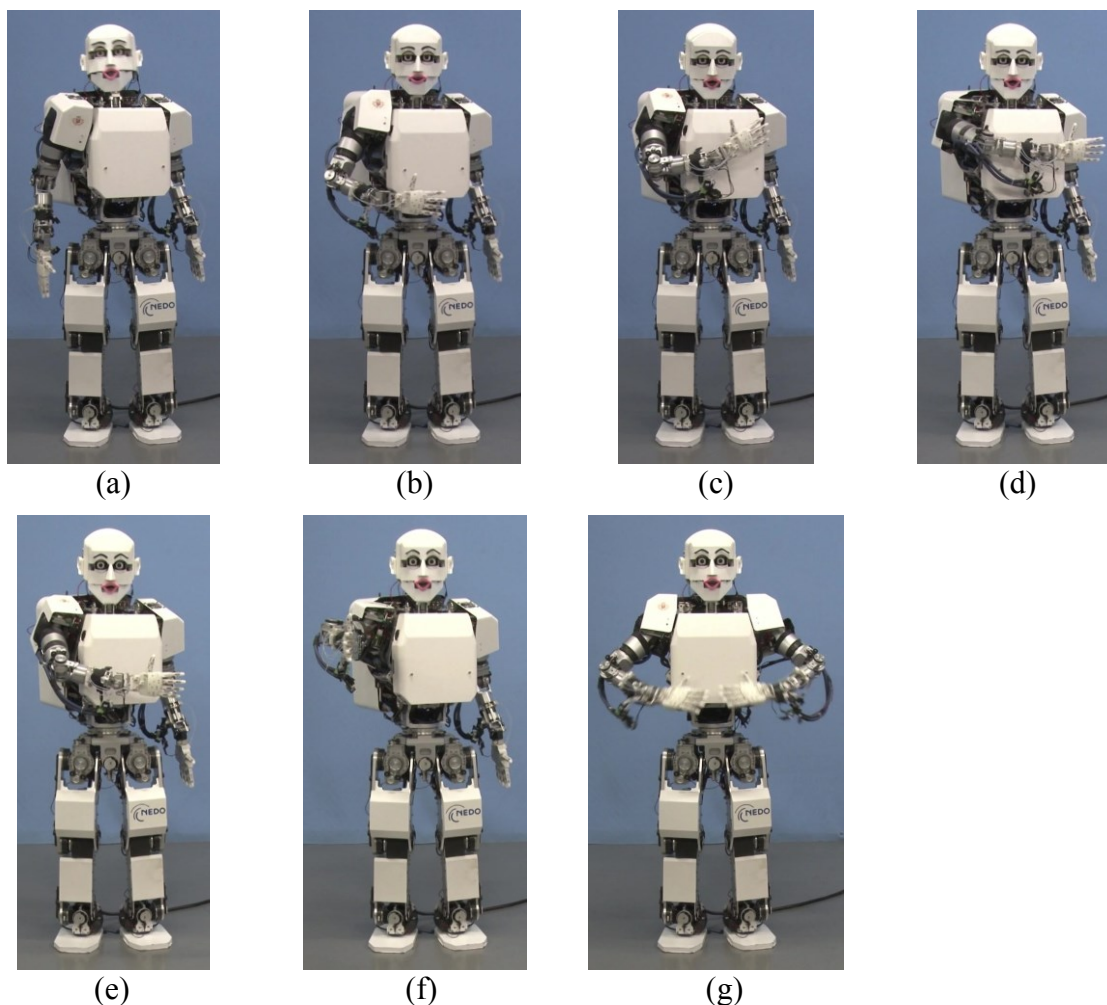


Fig. 2.17 Skit “Imitation of Kein Kosugi”

※注3 非言語 「動作生成」における「唐突な変化」 音韻

音韻を唐突に流暢にすることで面白い印象を与えている。「動作生成」段階で「唐突な変化方略」を適用したものであるといえる。

(k) ロボットダンス (Fig. 2.18)

(曲に合わせて簡単なロボットダンスをして) (Fig. 2.18 (a)-(c))

「どうです、すごいでしょ」 (Fig. 2.18 (d))

「これが本当のロボットダンスですよ」 ※1

「僕を買いませんか？安くしときますよ」 ※2

※注1 言語 「だじゃれ」

ロボットがロボットダンスをするという言語的な「だじゃれ」の構造により面白い印象を与えている。

※注2 言語+非言語 「行動生成」における「唐突な変化」

唐突に顔をこちらに向け、「僕を買いませんか？」と話を変えることで面白い印象を与えている。「行動生成」段階で「唐突な変化方略」を適用したものであるといえる。

(l) 終わりのあいさつ (Fig. 2.19)

「いけない、そろそろ帰らないと」 (Fig. 2.19 (a))

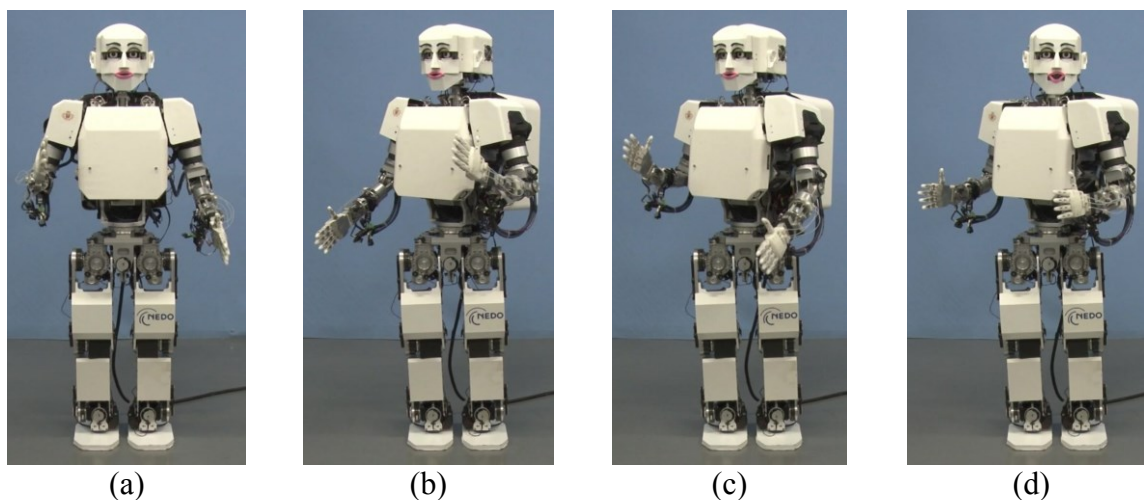


Fig. 2.18 Skit “Robot dance”

「そろそろファミマでバイトです」
「ロボットだけにね」
「言うてる場合か！」 (Fig. 2.19 (b)) ※注 1
「KOBIAN でした～」
「コマネチ！」 (Fig. 2.19 (c))

※注 1 言語＋非言語 「行動生成」における「唐突な変化」

唐突に自分にツッコミを入れることで面白い印象を与えている。「行動生成」段階で「唐突な変化方略」を適用したものであるといえる。

以上のそれぞれのねたに使用された「笑いの方略」をまとめると、Table 2.3 のようになる。この結果をみると、以下のことがわかる。

まず、お笑い芸人の作成したロボットの全身表現は言語表現、非言語表現またはこれらを組み合わせたものがあるが、事前にお笑い芸人に依頼する際にロボットの行動・動作を積極的に利用することを注文したこともあり、これらのねたの多くは非言語表現による面白さを含むものであった。

今回作成されたねたに含まれる行動・動作による非言語表現を通じた面白さは、提案した「笑いの方略」によって構造を説明できるものであった。ここで、今回のねたにおいては行動生成段階では「矛盾」、「唐突な変化」、「反復」の方略によって説明できるロボットの笑い誘発刺激がみられ、動作生成段階では「誇張」、「唐突な変化」の方略によって説明できるロボットの笑い誘発刺激がみられた。「唐突な変化」に関しては、これまでのストーリーを転じる「行動生成」における適用と、これまでの声色や動作の速度などを転じる「動作生成」における適用がみられた。

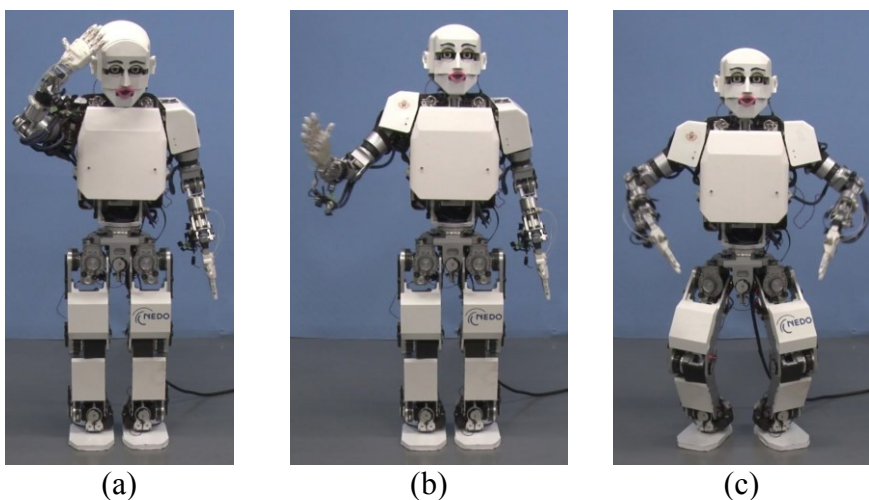


Fig. 2.19 Skit “Ending greeting”

2.6.2 笑いの方略により面白い刺激が生成されたことの実験を通じた検証

以上のようにお笑い芸人が作成したねたにおいて、ロボットの全身表現のうち行動・動作による面白さは「笑いの方略」によって説明できることが確認された。一方で、「笑いの方略」によってロボットの全身動作による笑い誘発刺激を作成できるかどうかを検証するためには、被験者が作成されたねたから面白さを感じ、実際に笑わせることができるのかを確認する必要があった。

このため、上記のねたを動画に撮影して被験者に見せ、その反応を記録する方法で実験を行った。被験者は合計21名（男性19名、女性2名）、平均年齢23.2歳であった。従来の笑いの研究において、複数の被験者に対し同室内で同時に実験を行った場合、被験者間の誘い笑いが発生することが確認されている。これはロボットの行動に対する個々の被験者の反応を観察することを阻害するため、被験者に対し一人ずつ個室で動画を見せた（Fig. 2.20）。

ねたの呈示順としては、「入りのあいさつ」を最初、「終わりのあいさつ」を最後のねたとし、それ以外のねたは被験者ごとにランダムな順としたねた動画セットを構成した。動画全体の長さは約10分であった。

ねた動画を3つの方法により評価した。まず、ねた動画セット呈示中の被験者の反応をビデオカメラで撮影し、表情変化や笑い反応を記録した。また、被験者が感じた個々のねた動画に対する主観的な面白さを評価した。実験の結果を以下に示す。

Table 2.3 Combinations of strategies of laughter that explain the funniness for each skit

表現手法	言語		非言語 または 言語+非言語				
			行動生成		動作生成		
方略	矛盾	だじゃれ	矛盾	唐突な変化	反復	誇張	唐突な変化
入りのあいさつ		○	○	○		○	
ますおさんのものまね					○	○	○
いやがる			○			○	
当たり前体操				○	○	○	
変形				○		○	
欲しがる					○		
面白い顔	○						
毒を吐く	○						
ロボットの肩こり			○				
ケインコスギのものまね					○	○	○
ロボットダンス		○		○			
終わりのあいさつ				○			

(a) 被験者の笑い反応

被験者の反応を記録した動画から、それぞれのねたが再生されている間に被験者が噴き出した場合は「笑い」、噴き出すまでの強い反応を示さないが、表情を笑顔に変化させた場合には「笑顔」として反応を記録した。それぞれのねたに対し被験者がみせた反応の分布を Fig. 2.21 に示す。この結果から特に「ますおさんのものまね」、「当たり前体操」、「入りのあいさつ」のねたは半分以上の被験者を笑わせたことがわかった。この結果は、ロボットが「笑いの方略」に基づいて面白さを説明できる行動・動作生成を行うことによって人間の笑い誘発刺激を生成することができる可能性が示されたものであると考えることができる。

一方で、全てのねたが多く数の被験者の笑いを誘発できたとはいえない。この原因の1つとして、本実験に使用した KOBIAN-R のハードウェアの制限によるロボットの表現能力の不足が考えられる。被験者の回答から、「動作が遅く不自然」「間が長い」などの回答が多くみられた。このように、特にロボットの動作速度が遅いことで、動作

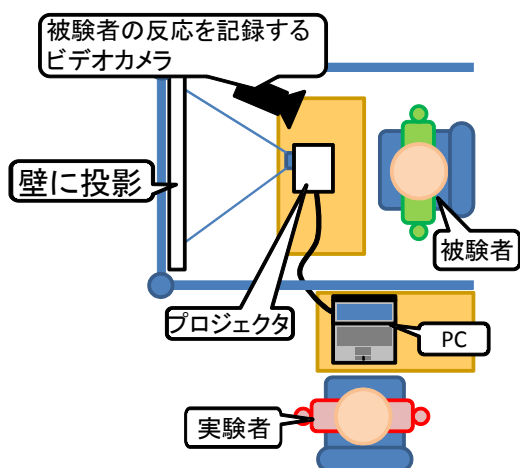


Fig. 2.20 Experimental condition

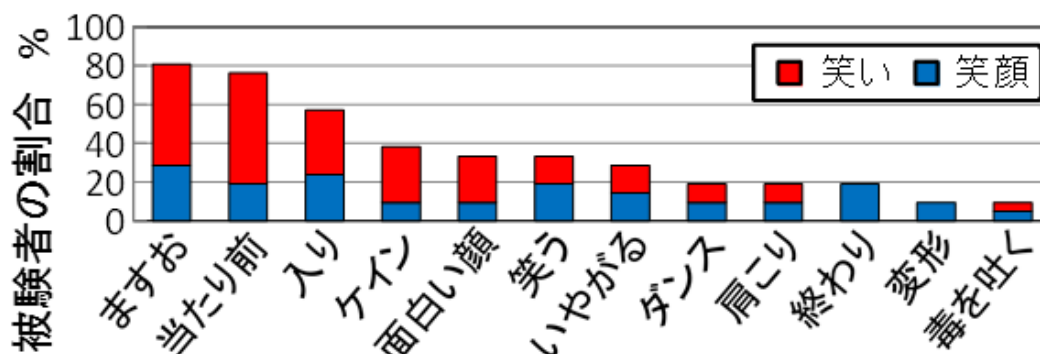


Fig. 2.21 Laughter response

そのものが遅いこと、また例えば腕を上を挙げる時間が長いためにこの動きを待つ間不自然な遅れが発生してしまうことが、印象に悪影響を与えていることが考えられた。ロボットの全身動作により人間を笑わせるためには予想を裏切ることが重要である。本研究で用いたロボットの外観はヒューマノイド型であるため、ロボットがある程度人間らしい動作を行って行けば、被験者はロボットが人間のようにふるまうことを予想し、そうでないふるまいを行ったとき、あるいは人間のようにねた表現を行う中で、ねたのオチが生じた時に、予想を裏切られる。一方で、ロボットがヒューマノイド型であるにもかかわらず動作が全体的に非人間的で不自然なものであると、人間らしいふるまい、お笑い芸人のようなふるまいは予想されず、ロボットは「生き物ではない初めて動きを見る何か」として観察されるため、動作やねたで予想を裏切ろうとしても、被験者がそもそも裏切りを導く予想を立てていないために裏切りが生まれず、結果として笑いが生じないと考えられる。

このように、ロボット実機を用いて動作による笑い誘発刺激を生成しようとする場合、ロボットのハードウェアの表現能力が十分でない、そもそも笑い誘発刺激として作用しないことがある。したがって、実機の動作によって人間の笑い誘発刺激を生成しようとするロボットには、ハードウェアに高い表現力が求められることがわかる。

(b) 面白さの主観的評価

被験者が感じた主観的な面白さを Fig. 2.22 に示すようにボードにそれぞれのねたのプレート面白さに応じた位置に貼り付けてもらうことで評価した。被験者がボードに貼りつけた各ねたのプレートの位置について左端を 0%、右端を 100%として主観的な面白さを算出し、被験者間の平均を求めた。この結果と被験者の笑い反応の結果を比較すると (Fig. 2.23)、ほとんどのねたにおいて被験者が笑い反応を見せた人数と被験者の回答した主観的な面白さの評価の傾向が一致した。一方、「ケインコスギのものまね」のねたは「毒を吐く」のねたのおよそ 4 倍の被験者を笑わせたにもかかわらず、面白さの評価では「毒を吐く」よりも低い評価を受けた。

これは、被験者がねたの内容の面白さ以外の要因が被験者の笑い反応に影響を与えていることを意味する。この要因の一つとして言語を主体としたねたと、動作を主体としたねたの違いが考えられる。「ケインコスギのものまね」のねたは、表情、体の動作の表現を主体としているのに対し、「毒を吐く」のねたは言語が主体である。被験者はマグネットを貼る際、ここに簡単なねた中の台詞が書かれていたため、言語的な面白さを再確認し、言語表現によるねたの面白さの評価が上昇した可能性がある。一方で、「ケインコスギのものまね」のように動作を主体とするねたは、ビデオを見

ている際には面白さを感じ笑いが誘発された一方、マグネットには写真しか掲載されておらず、動作を直接見ることができないため、評価を下げたのではないかと考えることができる。

以上のように、この実験では笑い誘発への有効性を笑いの有無に加え、被験者が感じた主観的な面白さの高さで評価した。人間の笑いの先行研究において、笑いとは「人の心にユーモアを感じさせる行為」[43]であるとされている。このため、人の心に生じた「面白い」という気分を定量的に測定することは、笑い誘発への有効性を検証することにつながると考えられる。実際に、本実験においても笑い反応の発生と主観的な面白さの間には相関関係が示唆された。本研究の本章以降の実験では、ロボットの動作を面白く変化させる要因を調査するため、ロボットの同種の動作のうち、特定のパラメータのみを変化させた近似の刺激を繰り返し被験者に呈示し、この刺激の印象を取得して比較する必要がある。このような実験において、「笑い」反応そのものを評価に用いることは難しい。これは、「笑い」の発生は慣れによる影響が大きく、発生の有無しか検出できないため、検証したいパラメータによる笑い誘発刺激の印象の

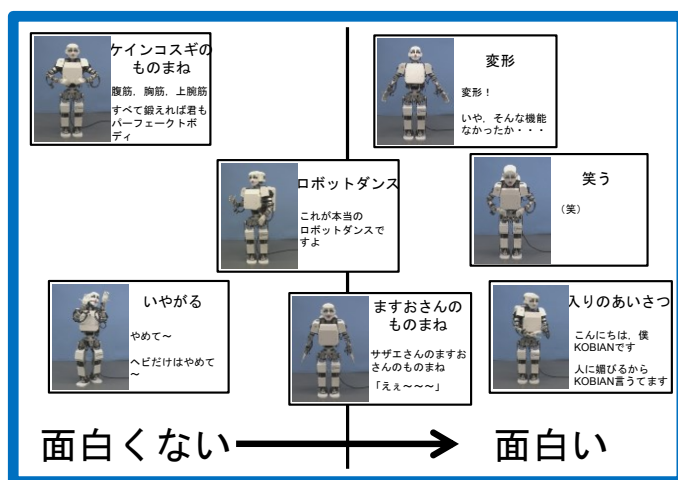


Fig. 2.22 Method to evaluate the subjective funniness

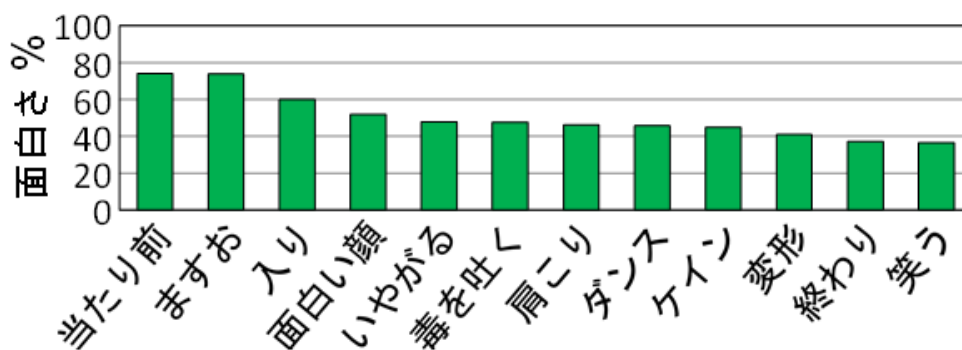


Fig. 2.23 Subjective funniness

変化を定量的に検証することが難しくなるためである。したがって、本章以降の実験では「笑い」反応ではなく、主観的な面白さを、ロボットの動作の笑い誘発への有効性の評価に用いることとした。

2.7 まとめ

本章における研究は、以下の2点を目的として実施された。

1点目はロボットの行動や動作を面白く変化させる要因を特定することである。

2点目はこの要因をもとにロボットの行動・動作による非言語表現を面白く変化させるためのモデルを構築することである。

まず、1点目のロボットの行動や動作を面白く変化させる要因の特定に関してまとめる。まず、人間が笑いを生じる状況に関し、文献から調査した(2.2節)。この結果、人間は予想と現実にギャップを感じ、これが解消された際に笑いが誘発されることがわかった。この基本原則に従うと、ロボットが行動・動作により面白い非言語表現を実現させることは、行動・動作の特徴を変化させることで人間の予想を裏切ることでありとらえることができる。刺激を変化させ、笑いを導く予想の裏切りを実現させる手法を調査するため、日常会話や漫才・コント、文学作品など幅広い表現手法において人間が刺激から面白さを感じる要因をまとめた書籍を調査した。この結果、これらは幅広い表現手法を対象としたものであったにも関わらず、「誇張」、「矛盾」、「反復」、「唐突な変化」、「だじゃれ」の5つの構造には高い共通性がみられた。これらは表現手法によらず、笑い誘発のための刺激を生成するための根源的な構造といえと考へ、「笑いの方略」と名付けた(2.3・2.4節)。

次に、2点目の人間が刺激から面白さを感じる要因をもとにしたロボットの行動・動作による非言語表現を面白く変化させるためのモデルの構築に関してまとめる。まず、2.3・2.4節でまとめた「笑いの方略」に基づいてロボットの行動・動作を面白いものへと変化させる手法を検討した。まず、「笑いの方略」に含まれる方略はそれ自体が行動や動作を面白く変化させるために提唱されたものではなかった。このため、これらが行動や動作に面白い印象を与えるために適用することが可能であるか、検討を行った(2.5.1節)すると、「だじゃれ」をのぞく「誇張」「矛盾」「反復」「唐突な変化」は行動や動作を変化させる要因としても適用できる構造を持つことがわかった。ここで、ロボットの行動・動作生成は、一般的に「環境認識」・「行動生成」・「動作生成」により説明できるが、この「行動生成」・「動作生成」の段階に対し「笑いの方略」を適用することで、ロボットの非言語的な行動・動作を自然な印象を与えるものから予想を裏切り、面白い印象を与えるものへと変化させるロボットの面白い行動・動作

生成のモデルを提案した。(2.5.2 節) さらに, 提案したモデルの有効性を 2 段階で検証した。第 1 段階として, お笑い芸人が作成したロボットの全身表現によるねた動作の面白さがこのモデルにより説明できることを示した (2.6.1 節)。さらに, 第 2 段階としてこれらのねたが被験者の笑いを誘発し, 主観的な面白さを感じさせたことから, これら「笑いの方略」によって実際にロボットの面白い行動や動作を生成することの可能性が示唆された (2.6.2 節)

本章において, ロボットの行動や動作による非言語表現を通じた刺激を面白く変化させるためのモデルを構築した。一方で, 本章の研究はこのモデルですでに作成されたロボットのネタ中の行動や動作の面白さを説明できることを示すまでにとどまっている。次章以降で, 「笑いの方略」のうち第 3 章において「誇張」方略を利用した動作生成を, 第 4 章において「矛盾」方略を用いた行動生成を実際に行い, このモデルを利用してロボットの定量的な笑い誘発刺激を生成することができるかを検証する。

第3章 「誇張」方略に基づく動作生成と評価

- 3.1 はじめに
- 3.2 全身情動表出2足ヒューマノイドロボット KOBIAN-R
- 3.3 ロボットの全身動作において「誇張」した表現能力を持たせる部位
- 3.4 誇張した表現が可能なロボット腕部の開発
- 3.5 誇張した感情表現が可能なロボット頭部の開発
- 3.6 「誇張」方略に基づくロボットの動作生成と評価
- 3.7 まとめ

3.1 はじめに

本章では第2章で提案した「笑いの方略」に基づいたロボットの行動・動作の印象を面白く変化させるモデルのうち、ロボットの「動作生成」段階で「誇張」の方略に従った特徴を与えることで、定量的な笑い誘発刺激を生成できるかを検証する。また、本研究を通し臨場感を伴ったロボット実機による笑い誘発刺激の呈示を提案しているが、「誇張」方略に基づく動作はロボットのハードウェアに誇張した表現能力というこれまでにない仕様を求めるもので、これらを実機で表出するためには対応したハードウェアが必要となる(Fig. 3.1)。

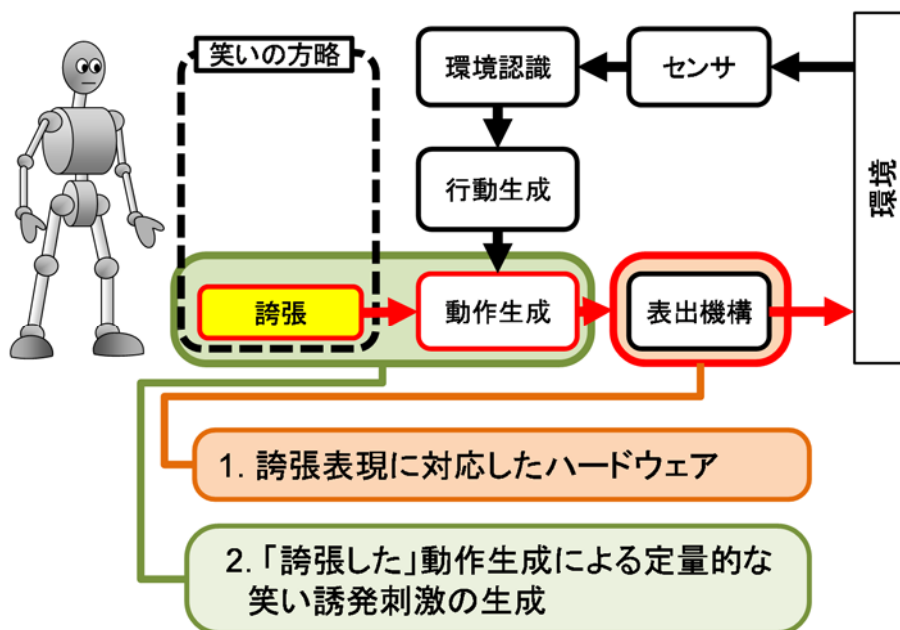


Fig. 3.1 Points to be solved in order to achieve “Exaggerated” motion generation

したがって、本章における研究の目的は以下の2点である。

1 点目は「誇張」した表現に対応したロボットのハードウェアの開発である。

2 点目は「誇張」方略に基づくロボットの動作生成による定量的な笑い誘発刺激の生成と評価である。

3.2 全身情動表出2足ヒューマノイドロボット KOBIAN-R

まず、この研究が実施された高西淳夫研究室における情動表現能力を持つロボットの研究の歴史を振り返る(Fig. 3.2)。この研究は、当初ロボットに視覚機能を持たせようとする WE (Waseda Eye) シリーズとして開発が始められた。WE-2 では単眼の前庭動眼反射を用いた頭部・眼部の協調動作、WE-3 では2眼を用いた奥行き知覚、WE-3R では瞼を用いた光強度への適用という流れで研究が続けられ、1997年までにロボットによる基本的な人間の視覚機能の再現を実現した。さらに、1998年に開発された WE-3RII からは眉、唇、顎の機構を設け、表情表出を可能とした。2002年には眼球・瞼を一体化することでロボット頭部の外観を小型化した WE-4 が開発され、これに腕部を搭載することで2004年までに片側9自由度の腕・2自由度の手部と22自由度の表情表出機構を用い、上半身で情動を表現することが可能なヒューマノイドロボット WE-4RII が開発された[44]。

さらに、高西淳夫研究室および前身である加藤一郎研究室では長く2足歩行ロボッ

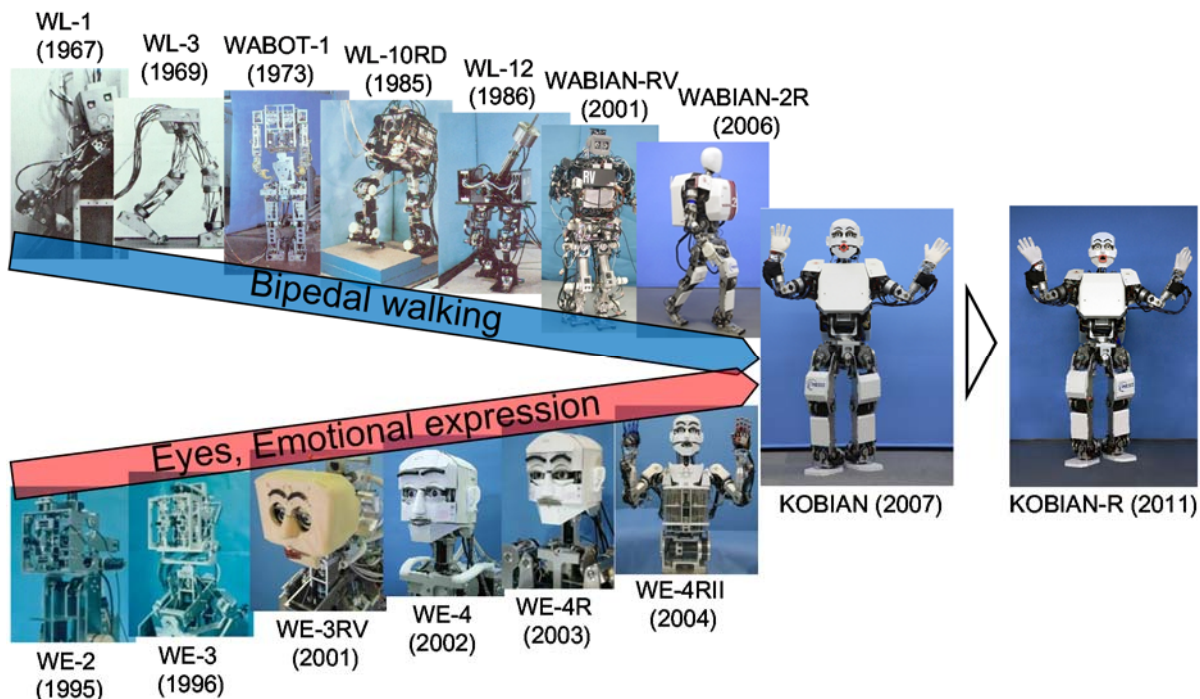


Fig. 3.2 Flow of hardware development to KOBIAN-R

トの研究が行われてきた。2002年からは成人女性の関節間リンク長・質量に準拠し、骨盤の Roll 方向の運動に相当する自由度を設けることで膝を伸ばしたままでの歩行を実現させた WABIAN-2 の下肢構造を開発し、2004年までに上肢を開発、全身型の2足ヒューマノイド WABIAN-2R が実現され、人体運動シミュレータとしての活用が提案されてきた[45]。

2007年度に、これらの情動表出ロボットの研究成果と2足歩行ロボットの研究成果を統合し、表情表現が可能な頭部を持ち表情、腕部・手部、脚部を含む全身での情動表現を可能としたのが KOBIAN である[46]。さらに、KOBIAN は2011年に頭部の表情表現能力を向上させ、頭部に24自由度、全身に65自由度を持ち、静的な全身での高い感情表現能力を持つ KOBIAN-R へと改良された[47] (Fig. 3.3, Fig. 3.4)。

本研究は、この KOBIAN-R に誇張した表現能力を付加することで誇張した動作生成による人間の笑い誘発刺激の生成に対応したハードウェアを開発した。本節では KOBIAN-R の基本的な仕様と、人間の笑い誘発のためのプラットフォームとしてみた際の問題点をまとめる。

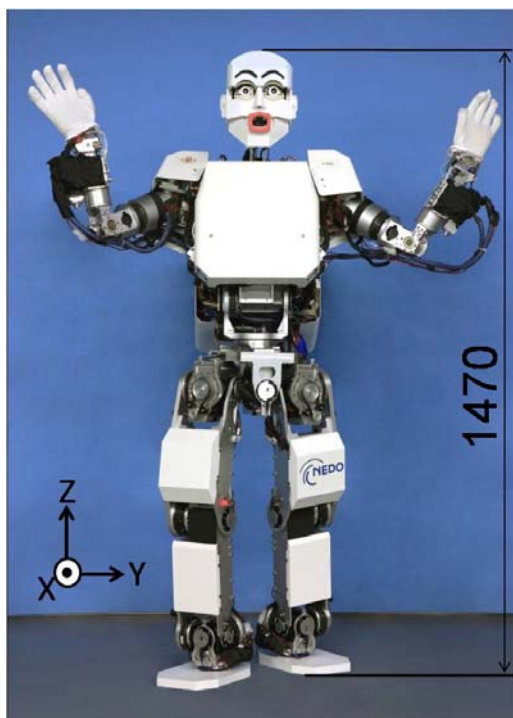


Fig. 3.3 Appearance of KOBIAN-R

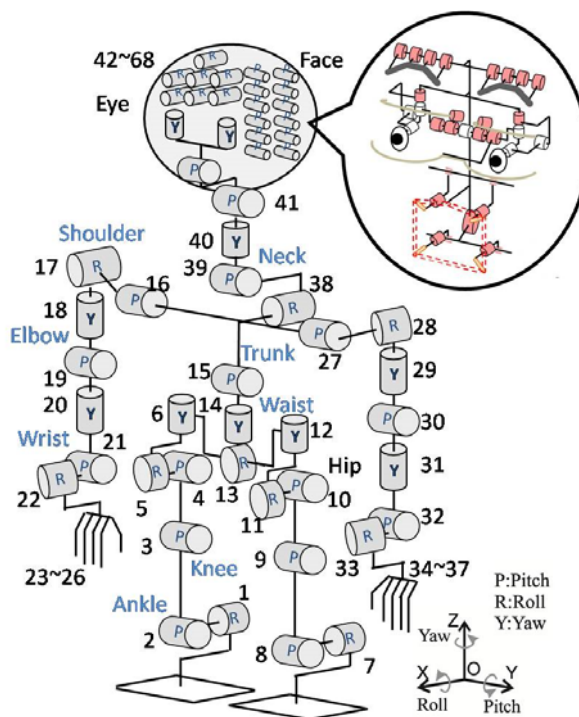


Fig. 3.4 DoF configuration of KOBAN-R

3.2.1 ハードウェア開発のベースとした KOBIAN-R の仕様と問題点

(a) 脚部・体幹部・腕部の仕様[46]

上述のように，KOBIAN は，体幹部・腕部において WABIAN-2R の基本構成設計を踏襲し，これに WE シリーズの開発を通して得られた知見をもとに開発された頭部を搭載することで開発された．KOBIAN は両脚に足首 2 自由度，膝 1 自由度，股関節 3 自由度の合計 12 自由度，腰に人間の骨盤に相当する Roll と Yaw の 2 自由度を持つ．この構成により，WABIAN-2 と同様に膝を伸ばした 2 足歩行が可能である．さらに，体幹に Pitch 1 自由度を持ち，前傾・後傾が可能である．腕部には片腕で肩 3 自由度，肘 1 自由度，手首 3 自由度の 7 自由度の両腕で 14 自由度をもつ．手には(i)第 1 指・第 4 指・第 5 指の屈曲伸展，(ii)第 2 指の屈曲伸展，(iii)第 3 指の屈曲伸展，(iv)第 1 指の内外転の 4 自由度を持つ．

(b) 頭部の仕様

KOBIAN-R 頭部(Fig. 3.5)は漫画家が作成した表情を網羅的に再現できる広範囲の可動角を伴う 24 自由度を持つ．頭部の自由度配置を Fig. 3.6 に示す．表情各部を動作させる自由度として，片側の眉に 4 自由度，両眉 8 自由度，片側の上瞼に 2 自由度，両上瞼 4 自由度，下瞼 1 自由度，唇 7 自由度を持つ．さらに，「恐れ」を表現するための青色の顔色の表現能力を持つ．

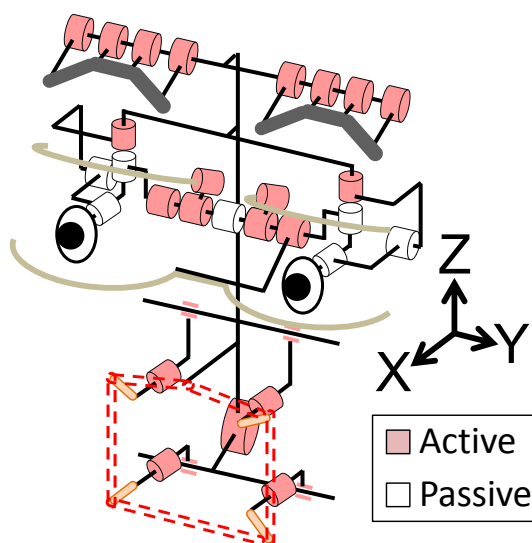
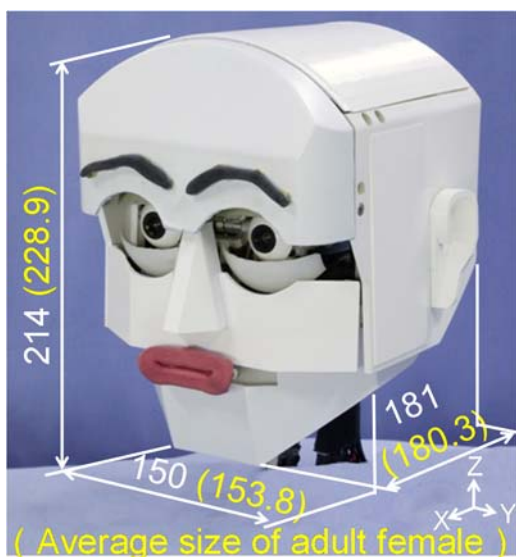


Fig. 3.5 Appearance of KOBIAN-R head Fig. 3.6 DoF configuration of KOBAN-R head

(c) KOBIAN-R のハードウェアの問題点

KOBIAN-R は主に人間らしい全身での自然な感情表出を静的に実現するために開発されたロボットであった。このため、KOBIAN-R は人間の笑い誘発のためのプラットフォームとしてとらえると、以下の問題点があることがわかっている。

まず、第1点目に各部の可動範囲が狭く、動作速度が遅いことが挙げられる。笑い誘発を考慮すると人間のお笑い芸人は日常動作の範囲を超えた異常といえるほど高速な動作や大きな動作を積極的に利用することで、受け手の予想を裏切った「誇張」した動作によって「面白い」印象を与えている。これらの広可動域・高速動作を伴う各部位の動作をロボットにおいても積極的に利用することが有効であると考えられる。一方、KOBIAN-R の開発時の要求動作は主に静的な感情表現であった。このため、動的な表現は十分に考慮されず、腕部や脚部の動作速度・可動範囲は KOBIAN 開発のベースであり、主に人間の歩行能力の再現を目的に開発されたロボットである WABIAN-2 の開発時から変更されていなかった。まず、腕部については歩行支援機に体重を預けることで歩行支援機を評価することを主な目的として開発されたものであった。このため、腕部は体重を支えるための大きなトルクが要求されたものの、速度については十分な考慮がなされていなかった。また、可動範囲に関しても、歩行動作時に伴う腕を振る動作、歩行支援機によりかかる動作などを行うことを前提として設計されていた。このため、腕部の可動域はこれらの動作には十分なものであるが人間に比べて狭く、表現力を狭めていた。脚部についても人間の日常的な歩行動作を達成しているものの、速度・可動域の問題により飛び跳ねたり、大げさに足を上げ下げしたりするといった動作には対応していなかった。

第2点目に頭部の感情表現能力が不十分であることが挙げられる。著者らが開発した KOBIAN-R 頭部は漫画家の協力により表情各部の「誇張」した変形を伴う漫画調の表情を実現させた。これにより、主に人間の表情を参考にした KOBIAN 頭部の表情表現に比べ大幅に感情認識率が上昇し、Ekman の提唱する基本6感情のうち、「恐れ」を除く5つの感情を表情により認識させられたことが確認された。しかし、「恐れ」は依然として認識させることができなかった。ここで、ロボットの全身表現により人間の笑い誘発を達成するためにも、表情による感情表現の果たす役割は大きい。本研究においては KOBIAN-R 開発時に有効性が示唆された漫画調の表現という特徴をさらに活用し、眉・瞼・唇の変形量の誇張だけでなく、漫画にみられるマークの表現も取り入れることでさらに「誇張」の程度を上げた感情表現を実現させ、これによって感情認識率の向上を図ることとした。

3.3 ロボットの全身動作において「誇張」した表現能力を持たせる部位

本研究では2足ヒューマノイドロボットを研究に用いる。これは以下のようなことを考慮したためである。まず、第2章で述べたとおり人間の笑いを誘発するためには予想を裏切ることが重要である。このためには裏切るべき予想が必要であり、人間がロボットの動作を可能な限り明確に予想することが必要である。これを考えると、ロボットはその見た目である程度動作の内容を予想させるものでなくてはならない。ここで、2足ヒューマノイドロボットは表情・体の動作を構成するための各部のリンク数・リンク長など大枠において人間と同じ構成で設計されている。このため、その動作の内容は人間をもとにしたものであると想像できる。これらを考えると、本研究のように動作による人間の笑い誘発を目指した場合、ロボットが2足ヒューマノイド型であることは大きなメリットであるといえる。

ただし、人間が予想するロボットの行動の範囲は、それぞれの人々がそれまでどのようなロボットに触れ、ロボットの動作にどのような期待を持っているかに左右される。この「笑い誘発刺激を生成する演技者がロボットであること」による影響に関しては、第5章で議論する。

次に、全身動作による笑い誘発のために2足ヒューマノイドロボットに必要な機能を考えると、まずロボットの表情表現能力が挙げられる。第1章で示した Birdwhistell や Ekman らの研究にみられるように、人間同士のコミュニケーションにおいて非言語表現は重要な意味を持ち、特に表情は最も大きな役割を果たすとされる。次に、全身表現において腕部は重要な役割を果たす。たとえば、全身動作による非言語コミュニケーションの代表例であるボディランゲージはほとんどすべてが腕または手の表現を含む[48]。

実際に、人間の笑い誘発において、国内外を問わず、お笑い芸人は表情や腕の大きな動作を積極的に利用し、人間の笑いを誘発していることは、笑い誘発のための全身表現にこれらの動作が重要であることを示していると考えられる。

以上を踏まえ、本研究では「誇張した」表現能力を持たせる部位としてロボットの頭部の表情と腕部に特に注目することとした。以降、3.3節で「誇張した」表現に対応したロボットの腕部、3.4節で「誇張した」感情表現に対応したロボットの頭部の開発について述べる。

3.4 誇張した表現が可能なロボット腕部の開発

3.4.1 高速動作が可能な肩付け根・上腕を持つ KOBIAN-RIII の開発

前述のように、ロボットが人間の笑いを誘発するためにはお笑い芸人と同様、「誇張した」腕部の動作を生成するため高速で、大きな可動域を伴う動作が必要であると考えられる。一方で、本研究で開発するロボットのベースとなった KOBIAN-R の腕部は動的な表現のための仕様が十分考慮されておらず、このままでは速度・可動域の不足により人間の笑い誘発を効率的に実現できるものではなかった。実際に、第2章の実験においては KOBIAN-R の全身表現によるねたを作成する際、腕部を大きく動かすことが必要なねたにおいて、腕部の動作が追い付かず、全体の動作が遅くなったり、腕部の動作の完了を待つための間が生じてしまう問題があった。このねたを見た被験者の回答からも、「動作が遅く不自然」「間が長い」といった回答があり、印象に問題を与えていることがわかっていた。

まず、笑い誘発に必要な動作を実現するための腕部の関節構造・各関節の仕様に関する要求仕様を求める必要があった。しかし、先行研究においてロボットや人間を問わず、腕部の動作の速度や大きさと笑い誘発や面白い印象の関係を調査したものはなかった。さらに、ロボットの実機を開発するためには腕部の関節配置と、各関節が満たすべき可動角・速度・加速度などを具体的な数値として定めることが必要になる。

これまでにヒューマノイドロボットの腕部に関しては多くの先行研究が実施されてきた。例えば、多くの研究者が人間の複雑な肩の構造に着目しており、これを再現するハードウェアの開発に挑戦してきた。例えば、Okada らは固定された回転中心を持たないという人間の肩の構造をハードウェアによって再現した[49]。Sakai らは人間の肩の骨の構造に着目し、ボールジョイントによって構成され、これを取り囲む筋肉に相当する部品を引き合う力のつり合いによって向きを制御する関節を開発した[50]。しかし、ほとんどのヒューマノイドロボットの腕部は動的な表現を意識した要求仕様の設定が行われておらず、特に人間を笑わせるための速度・加速度を検討したものは見つけることができなかった。また、人間とロボットは関節の構造・配置が異なるため、人体計測を実施し、得られた結果をロボットに直接適用することは難しかった。これらのことから、本研究ではまず CG によりロボットの腕部と同等の自由度配置を実現し、これにお笑い芸人のねたを再現させ、各部の自由度における要求仕様を設定することとした。

この結果、「誇張」した全身表現のためには既存の2足ヒューマノイドロボットの範囲を超えた腕部の広い可動域と速度が必要であることがわかった。本節ではこの高

速な動作速度・広い可動範囲を伴う腕部のプロトタイプとして開発された、肩付け根関節から肘関節までを高速に動作させることが可能な腕部ハードウェアが搭載された2足ヒューマノイドロボット KOBIAN-RIII の開発および評価についてまとめる。

(a) 腕部の要求仕様の設定

人間とロボットは関節構造・配置が異なるため、人間の動作を解析した数値からロボットの関節の要求仕様を直接算出することは難しい。このため、本研究ではCGアニメーション作成ソフト上にロボットのモデルを作成し、このロボットに笑い誘発動作を演技させ、必要な仕様を算出することとした。このため、まずCGアニメーションソフトウェア Blender 上に、KOBIAN のモデルを作成、実機の関節構造に合ったボーン（ロボットのリンクに相当する）を定義した (Fig. 3.8)。

ここで、まず先行研究においてロボットの肩付け根部に人間の鎖骨に相当するリンクの動作を加えることで、手先位置の到達可能範囲が拡大することが指摘されていた。たとえば、Ito らは災害対応用のヒューマノイドロボットに鎖骨の Yaw 軸の動作に相当する関節を持たせることで、エンドエフェクタの到達範囲を拡大した[51]。また、

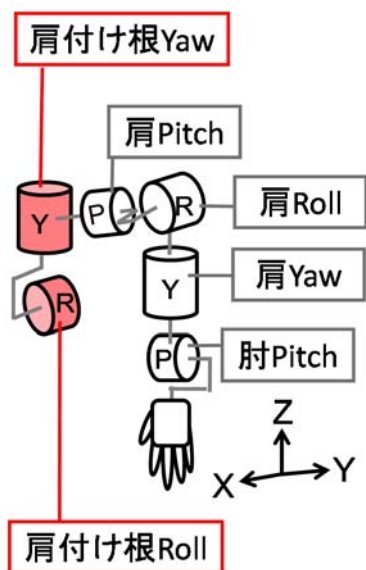


Fig. 3.7 DoF configuration on arm

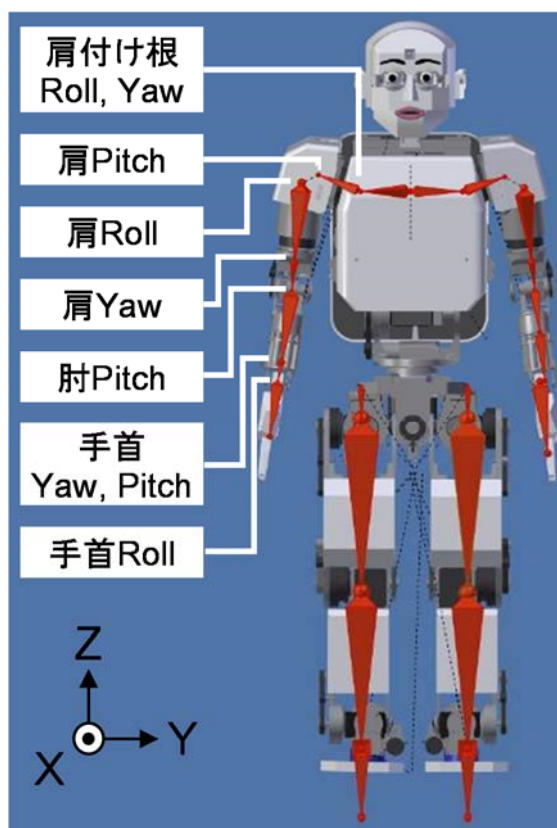


Fig. 3.8 Placement of bone on CG software

Lenarcic らは鎖骨の動作を含んだモデルにより，人間の手先の到達範囲をシミュレーションし，鎖骨があることで手先の到達範囲が拡大されることを示した[52].

また，人間は特に腕を大きく動かし，手先を体から大きく離す動作をする際，また右腕であれば左腕の向き，左腕であれば右腕の向きに腕を動かす際，肩付け根部を積極的に動作させている．このため，本研究において腕を大きく「誇張」して動かす際に，鎖骨のリンクがあることで腕部全体の動作の印象が自然になることが期待された．これらを考慮し，本研究ではCG上のロボットに人間の鎖骨に相当するリンクと肩付け根にYawとRollの2自由度を加えた9自由度のアーム (Fig. 3.7) を設定し，これに笑い誘発動作をさせた．

具体的にCG上のロボットに演技させる笑い誘発動作として，お笑い芸人のねたから，腕部を高速に動作させている下記のネタを選定した．

1. 原西孝幸 “なるほど” (株式会社よしもとクリエイティブエージェンシー)
2. パッション屋良 “じゃんけん” ((株)マセキ芸能社)
3. エド・はるみ “グー” (株式会社よしもとクリエイティブエージェンシー)
4. 小島よしお “そんなの関係ねえ” (株式会社サンミュージックプロダクション)
5. 2700 “右ひじ左肘を交互に見て” (株式会社よしもとクリエイティブエージェンシー)

CG作成ソフトウェアでは，動画のフレーム (本研究では10[ms]おきに設定) ごとに関節角度の定義が可能である．動作を作成する手順としては，任意のフレームに，キーポーズを構成する全身の関節角を設定，キーポーズ間のフレームの関節角度はベジエ補間により計算される．これらのねたから各関節の速度・加速度の要求仕様を定めた．この際，ねたによって高速に動作する部位は異なるため，各関節の要求仕様はその関節を最も高速に動作させるねたから取得することで，網羅的にネタの再現が可能な要求仕様を求めた．たとえば，肩 Pitch 軸，肘 Pitch 軸は原西孝幸 “なるほど” において最も高速に動作していた (Fig. 3.9, Fig. 3.10)

以上のように算出された各関節の速度・加速度の要求仕様をまとめ，旧ハードウェアである KOBAN-R の物と比較すると，Table 3.1 のようになった．このように，全関節の平均値で考えると，関節角速度の要求仕様は旧ハードウェアの4.5倍，関節角加

速度の要求仕様は旧ハードウェアの 2.2 倍となった。

また、各関節の可動角については、これらのねたに必要な可動角または人間の腕の可動角のうち、広い方を実現できるものとして、各関節の可動角の要求仕様を Fig. 3.11

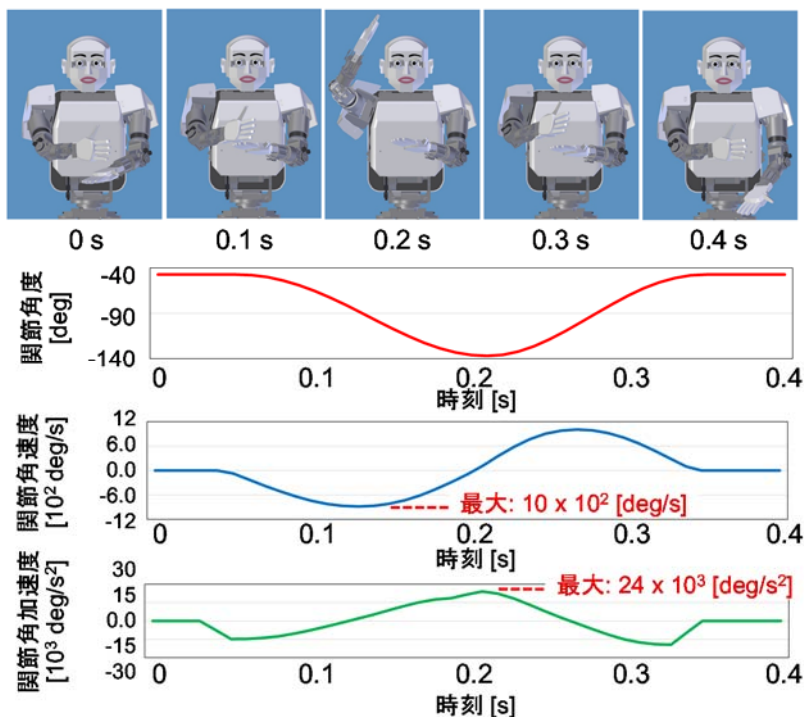


Fig. 3.9 The motion with fastest shoulder Pitch joint in skit “Naruhodo”

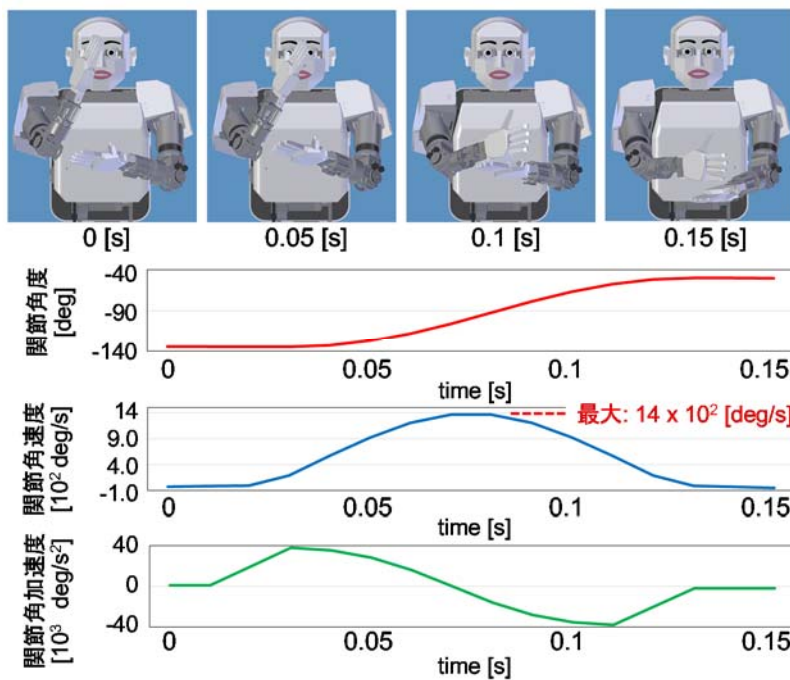


Fig. 3.10 The motion with fastest elbow Pitch joint in skit “Naruhodo”

のように定めた. これも, 比較のために KOBIAN-R の仕様を Fig. 3.12. に示す.

(b) 腕部ハードウェアの開発

上述のように, ロボット腕部に「誇張」した動作表現を実現させるためには,

1. 可動範囲の増加による動作の大きさを誇張した表現
2. 速度・加速度の増加による動作の速さを誇張した表現

Table 3.1 Required specification on shoulder joints

関節名称	関節角速度 $\times 10^2 \text{ deg/s}$		関節角加速度 $\times 10^3 \text{ deg/s}^2$	
	KOBIAN-R	要求仕様	KOBIAN-R	要求仕様
肩付け根 Roll	-	7.6	-	13
肩付け根 Yaw	-	4.6	-	4.9
肩 Pitch	3.2	10	26	24
肩 Roll	3.2	9.2	27	18
肩 Yaw	11	8.7	27	23
肘 Pitch	3.2	14	68	70

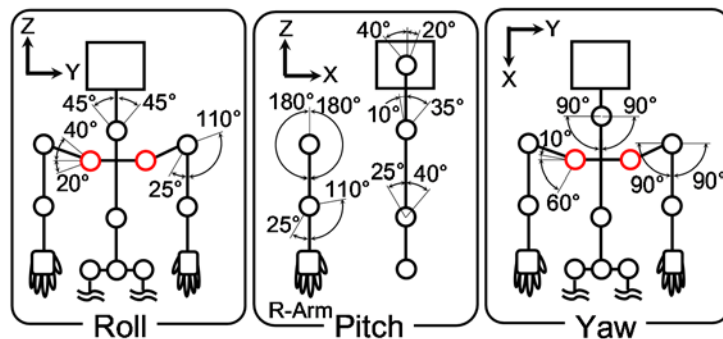


Fig. 3.11. Required movable range of each joint.

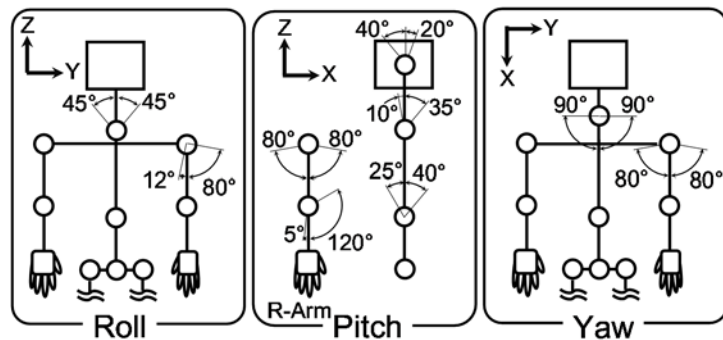


Fig. 3.12. Movable range of each joint on KOBIAN-R (previous hardware)

という 2 つの特徴を兼ね備えたハードウェアの開発が必要となった。本研究では、まず大きな動作を実現する可動範囲の増加を肩付け根関節の追加，各関節の可動域の増加の 2 つの取り組みから実現させた。また，高速な動作を実現させるために軽量かつ高出力化な関節機構を開発した。

(i) 可動範囲の増加による動作の大きさを誇張した表現

KOBIAN-RIII の開発においては

1. 肩付け根関節の追加
2. 関節可動域の増加

という 2 つの取り組みにより，広い可動範囲を持つロボット腕部を実現させた。これらによる効果を以下に述べる。Fig. 3.13 に，KOBIAN-RIII のリンク長においてハードウェアの条件をいくつかに変化させた場合の手先の到達可能範囲を示す。ハードウェアの条件は Table 3.2 のように設定されている。まず，赤の範囲は肩付け根関節が無く，旧ハードウェア KOBIAN-R と同等の関節可動角による可動範囲，青の範囲は肩付け根関節が無く，関節可動域を Fig. 3.11 のように増加させた場合の可動範囲，緑の範囲は肩付け根関節の動作を含み，関節可動域を Fig. 3.11 のように増加させた場合の可動範囲である。改良後のハードウェアを意味する緑の可動範囲は，青の可動範囲の 1.5 倍の体積を持ち，青の可動範囲は改良前のハードウェアを意味する赤の可動範囲の 1.5 倍の体積を持つ。合計すると，緑の可動範囲は赤の可動範囲の 2.3 倍の体積を持つ。これらは，関節可動角の増加，肩付け根関節の追加はどちらも腕部全体の可動範囲を増加させ，大きな動作による「誇張」した動作を実現させるために効果的であることを意味している。

Table 3.2 Condition to calculate the movable range of arm

条件	肩付け根関節の動作	関節可動角	条件赤を1.0とした手先の可動範囲の比率
	有り	改良後	2.3
	無し	改良後	1.5
	無し	KOBIAN-R	1.0

(ii) 速度・加速度の増加による動作の速さを誇張した表現

前述のように、腕部の各関節は角速度で4.5倍の高速化が求められた。さらに、角加速度で2.2倍の高速化が要求された。本研究ではこれらの角速度・角加速度を満たしつつ、考えられる限り全てのねたを高速に実現させるため、各関節に関する慣性モーメントは、それぞれの最大値に固定した。例えば、肩付け根 Roll 軸に関しては、これより手先側にある関節をすべて真っ直ぐに伸ばした場合が慣性モーメントを最大

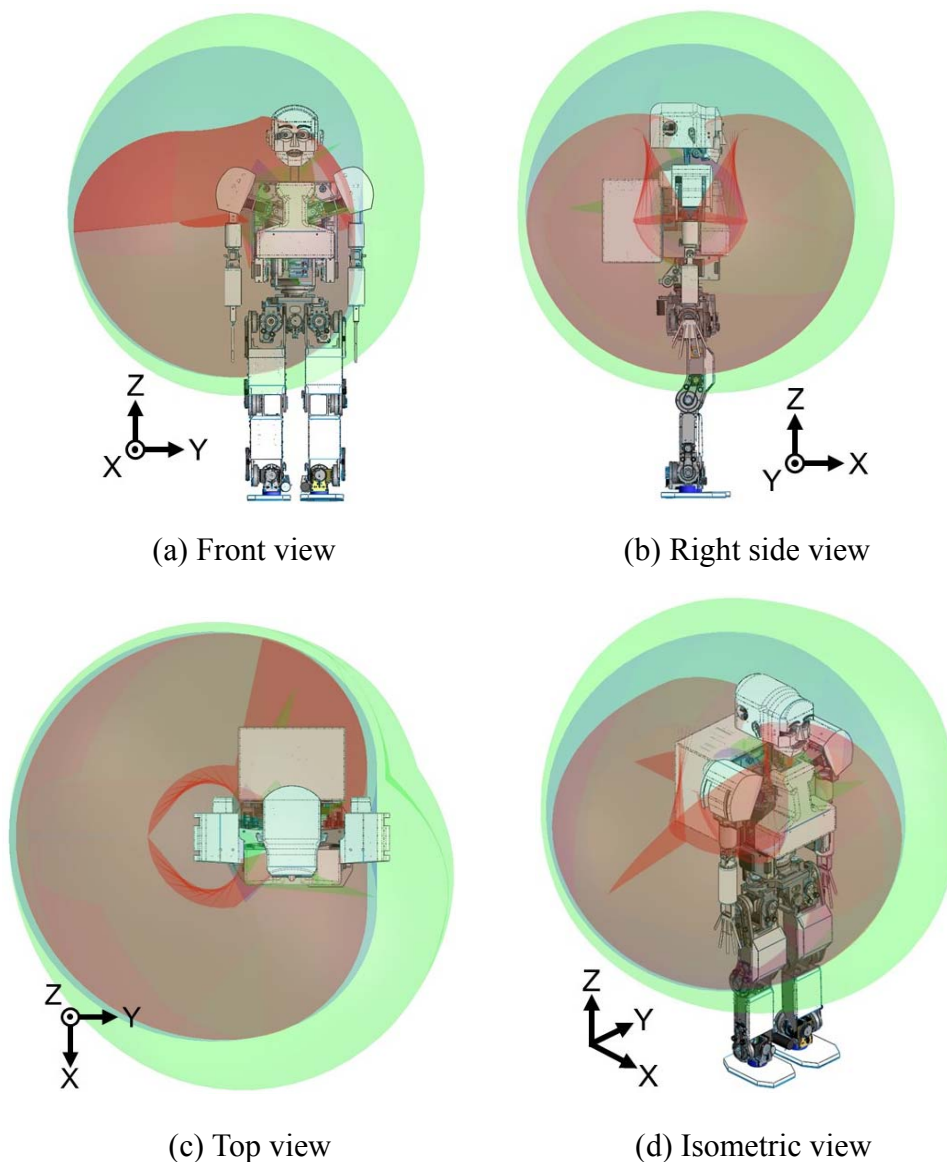


Fig. 3.13. Comparison of the reachable area of right arm between green (developed hardware with shoulder base part), blue (developed hardware without shoulder base part) and red (limited movable joint angles same as previous hardware).

化する。これらにより，各関節には大きな速度・トルクが要求され，要求仕様を満たすためには，改良前に比べ腕部全体の大幅な軽量化・高出力化が必要であった。特に肩付け根 Roll 軸には腕部全体を支える大きなトルクを出力することが求められたので，2つのモータを並列に接続して1つの自由度を駆動する「ダブルモータ」機構を採用した。腕先に近い上腕 Yaw 軸，肘 Pitch 軸は腕部全体の慣性モーメントを抑えるため，特に軽量化が求められた。このため，これらの関節を駆動するモータは体幹に設置し，「フレキシブルシャフト」により各関節までトルクを伝達することで，関節部の軽量化を図る方式を用いた。最終的に，旧ハードウェアとの比較で腕部の重量は45%削減されたことがわかった。また，KOBIAN-RIII の開発においては腕部の大きな動作のみに注目するため，肩付け根および上腕部の性能を優先させ，動作させる部位の小さい手首・手は軽量化を目的に自由度のない樹脂製の軽量な剛体とした。

① ダブルモータ機構による関節駆動

腕部の中で最も根元側にあり，ねた動作中にも高速な動作を求められる肩付け根

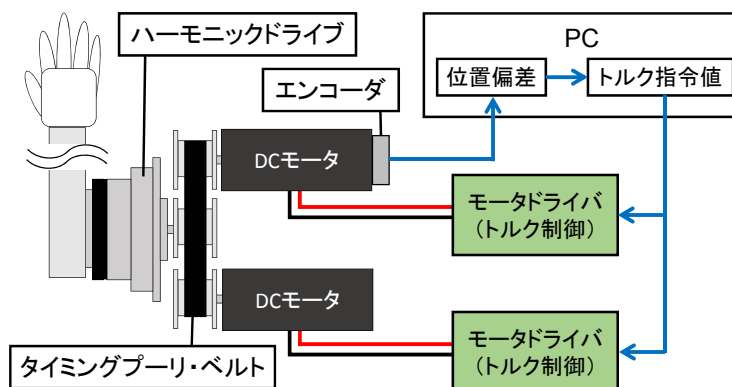


Fig. 3.14 Control system of the joint with “Double motor”

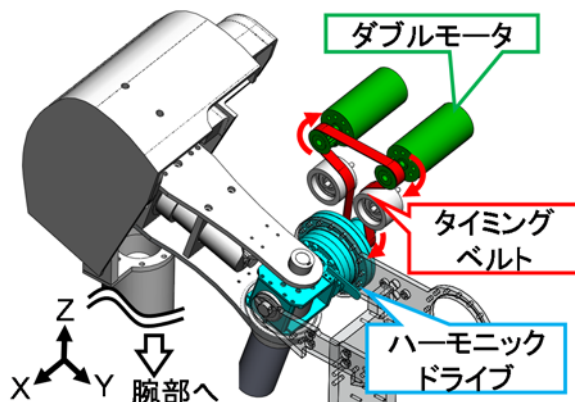


Figure 3.15 Mechanism of the joint with “Double motor”

Roll の関節にかかるトルクは最大で 39.6[Nm], 速度は最大で 125[rpm]であった. しかし, モータ 1 つでこの仕様を満たすためには大型のモータに大きなトルクを発揮させる必要があり, 必要なモータおよびモータドライバが肥大化する. このため, 出力 80[W]のモータ 2 台を並列に接続し, 2 台のモータの出力を 1 本のタイミングベルトで統合して 1 つの関節に入力する「ダブルモータ」駆動 (Fig. 3.14, Figure 3.15) を用いた. それぞれのモータには最大瞬間出力が 1200[W]のサーボモータドライバ (特殊電装株式会社製 TD12770 - 48W10) を接続した. 関節の制御は片方のモータのエンコーダの値から関節の位置を取得, 目標位置に対する偏差からモータが出力すべき速度, トルクを計算し, 2 つのモータに同じトルク指令値を入力することで行った.

② フレキシブルシャフトによる関節駆動

腕先に近い上腕 Yaw 軸, 肘 Pitch 軸の関節は腕部全体の慣性モーメントを抑えるため, 特に軽量化が求められた. 軽量化のためには, 要素部品のうち特に重量がかさむモータを関節付近に配置せず, 腕部のより根元側または腕部の外に配置し, 関節まで何らかの手段によりトルクを伝達することが効果的である. このような場合, 最も一般的な手段はワイヤやベルトによるトルク伝達である. 例えば, iCub は肩関節をワイヤにより駆動している[53]. ただし, ワイヤには厳しい伝達トルクの制約があり, 今回の仕様を満たさないため使用できなかった. また, リンク機構によるトルク伝達も一般に利用されている. 例えば, HRP-4C の足首関節はリンク機構によるトルク伝達によって駆動されている[54]. しかし, リンク機構は中間の経路が複雑かつ要求された可動角が大きいため今回の用途では使用できなかった.

したがって, 本研究では経路を自由に設定でき, 比較的大きなトルクを伝達できる要素部品である「フレキシブルシャフト」に注目した. しかし, フレキシブルシャフトは弾性体によるトルク伝達によって自由な屈曲を実現しているため, 構造上入力部と出力部の間にねじれが発生し, 伝達角度の誤差が発生する問題があった. このため

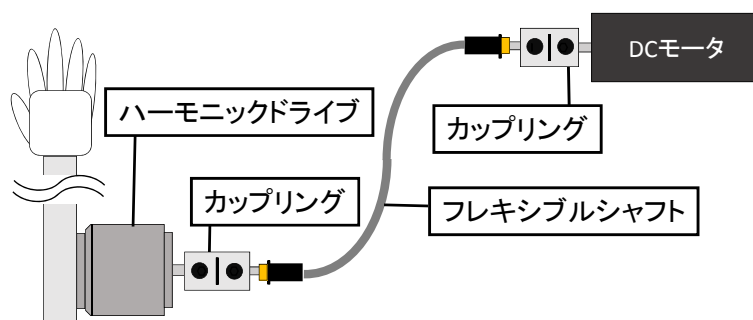


Figure 3.16 Mechanism of the joint with flexible shaft

フレキシブルシャフトの出力後にハーモニックドライブによる減速を行い伝達角度の誤差を縮小した (Figure 3.16). 必要なトルクから直径 4[mm]のフレキシブルシャフトと外径 8.4[mm]のアウタチューブ (株式会社新亀製作所製) を選定した.

③ 4 節リンク機構による関節駆動

肩 Pitch 軸と肩 Roll 軸は回転軸が直交する. しかし, 肩の内部にはこれら 2 つのモータを置く空間はない. このため, より可動角の大きい肩 Pitch 軸はモータを関節に直接接続し, 肩 Roll 軸は動力を外部から伝達して入力し, モータ同士の干渉を避けることとした. 肩 Roll 軸には大きなトルクの伝達が求められたため, 4 節リンク機構によって動力を伝達した. 要求された可動角を満たすため, リンクの形状を工夫した (Fig. 3.17).

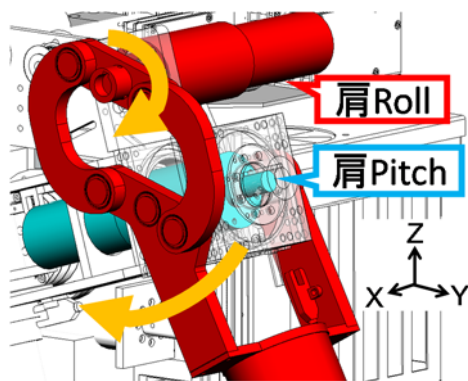


Fig. 3.17 Mechanism of the joint with 4-link arm

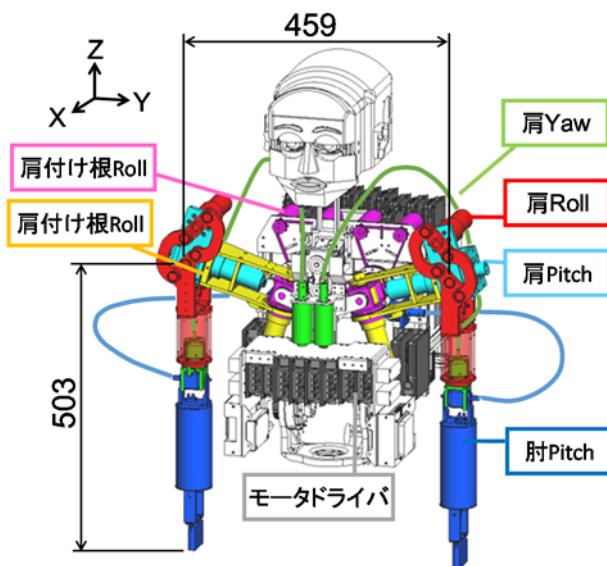


Fig. 3.18 Appearance of upper-body of KOBIAN-RIII

(c) KOBIAN-RIII の全体像

以上のようにして開発された KOBIAN-RIII の上肢の全体像と、各関節に使用されている減速機・トルク伝達機構を Fig. 3.19, Table 3.3 に示す. さらに, 外観, 全身の自由度配置図, 自由度配置の表を以下に示す. このように, KOBIAN-RIII は手首に自

Table 3.3 Transmission for the arm joints on KOBIAN-RIII

自由度	動力伝達機構 (一段階目)	動力伝達機構 (二段階目)
肩付け根 Roll (モータ 2 つ)	タイミングベルト (減速比 1:1)	ハーモニックドライブ (減速比 80:1)
肩付け根 Yaw	ギアヘッド (減速比 81:1)	なし
肩 Pitch	ギアヘッド (減速比 66:1)	なし
肩 Roll	ギアヘッド (減速比 66:1)	4 節リンク機構
上腕 Yaw	フレキシブルシャフト	ハーモニックドライブ (減速比 30:1)
肘 Pitch	フレキシブルシャフト	ハーモニックドライブ (減速比 30:1)

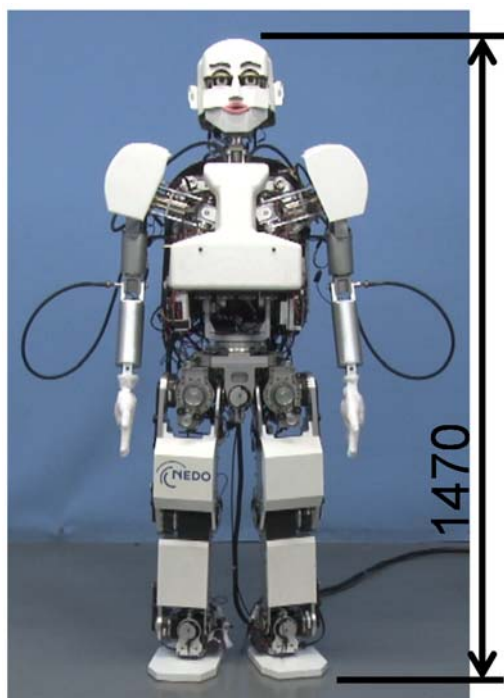


Fig. 3.19 Appearance of KOBIAN-RIII

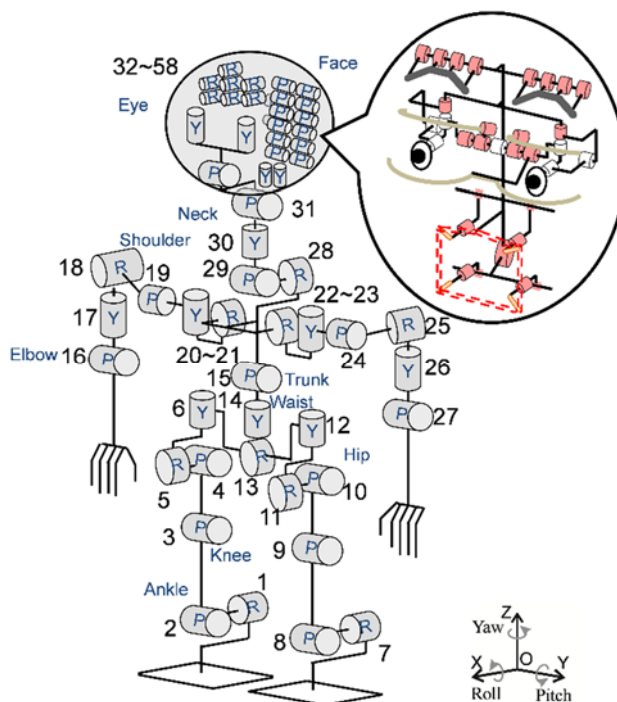


Fig. 3.20 DoF configuration of KOBIAN-RIII

自由度を持たないが、肩付け根に2自由度を持ち、腕部全体で6自由度を持つ。全身では58自由度を持ち、身長は1470mm、重量は67kgである。

さらに、KOBIAN-RIIIの制御システム構成図を Fig. 3.21 に示す。このように、KOBIAN-RIIIはPentium Mの搭載されたCPUボードを主体としている。腕部を例に位置制御を説明すると、Maxon モータ付属のエンコーダのパルスはCPUボードとPCIバスで接続されたHRP Interface Board上のカウンタで読み取られる。次に目標位置との偏差から制御量を計算して同Interface Board上のD/Aコンバータから速度制御のリファレンス電圧を特殊電装製モータドライバへと送信し、特殊電装製モータドライバ上で速度制御を行うことで、各モータの1ms周期の位置制御が実現される。

Table 3.4 DoF configuration of KOBIAN-RIII

部位	DoF
頭部	27
首部	4
体幹部	1
腰部	2
肩付け根部	2×2
腕部	4×2
脚部	6×2
合計	58

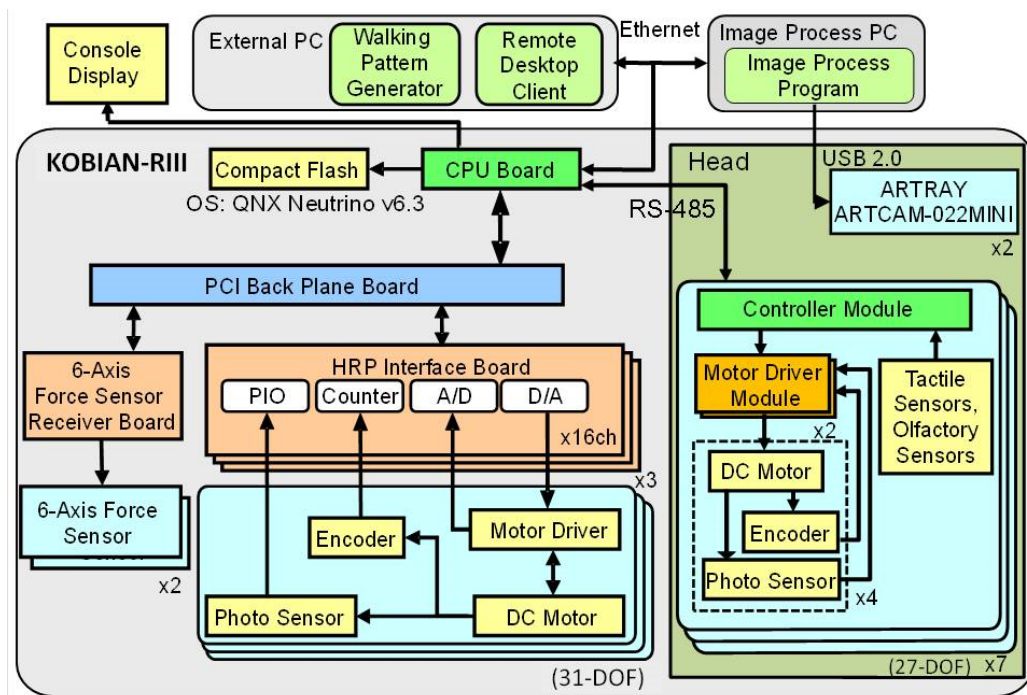


Fig. 3.21 Control system of KOBIAN-RIII

3.4.2 腕部全体での高速動作を可能とした KOBIAN-RIV の開発

前節で述べたように腕部の「誇張」した表現能力を持つ2足ヒューマノイドロボットのプロトタイプとして開発された KOBIANR-III は肩付け根から肘までの鎖骨・上腕部において「早く、大きな」動きを達成した。しかし、手首部に能動自由度をもたないため、動作によっては手先の向きが不自然になっていた。これは腕部全体を使った表現力を制限し、効率的な笑い誘発に支障をきたす。また、KOBIAN-RIII 腕部は肩付け根から肘までの関節を用いた高速動作に特化したため前腕部の制限質量が約150gと著しく低いものとなっており、このままでは手首部に能動自由度が搭載できなかった。さらに、KOBIAN-RIII はアクチュエータの配置が原因で肩付け根のリンク長が不自然に長く、動力伝達のためのフレキシブルシャフトが外に向かって伸びており、これらがロボットの外見を不自然にしていた。実際に、KOBIAN-R と KOBIAN-RIII におなじネタ（第2章で示したねたのうち、「ますおさんのものまね」および「あ

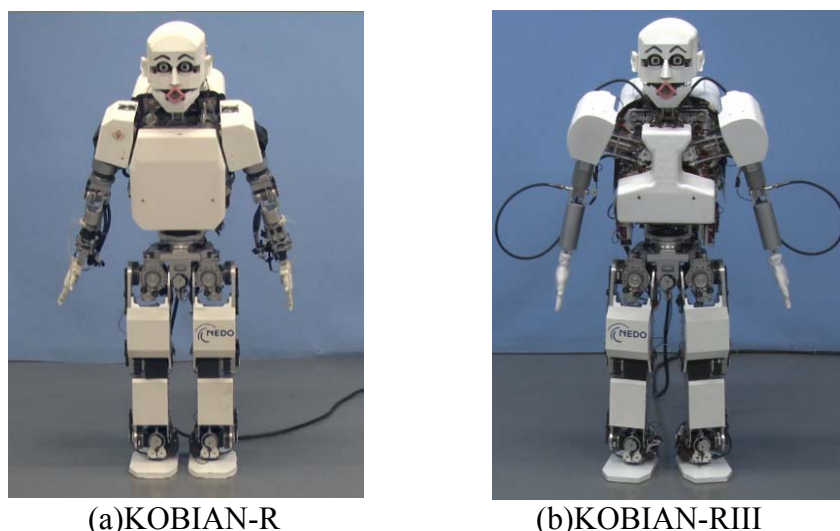


Fig. 3.22 Same skit “Imitation of Masuo-san” performed by different robots

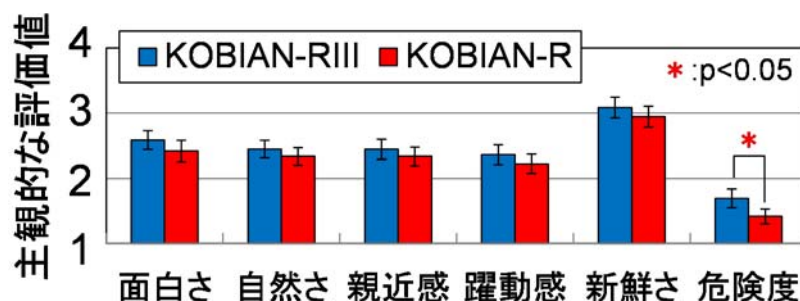


Fig. 3.23 Comparison of the impression of same skit performed by different robots. The difference of the scores were statistically analyzed by paired t-test.

たりまえ体操)を演技させたビデオの印象を比較する実験(Fig. 3.22) (被験者 18 人, 男性 9 人, 女性 9 人, S.D.2.75 歳, 2014 年実施)の結果(Fig. 3.23)をみると, KOBIAN-RIII のねた演技は「危険」な印象を与えてしまっていることがわかる.

したがって, 改良型の KOBIAN-RIV の開発の目標を以下の 3 点と定めた.

1. 上腕部の改良により可搬重量を増加させ, 手首部に能動自由度を設けること
2. 手首機構には軽量かつ高速・高可動範囲を持たせること
3. 印象に悪影響を与えないよう, 外観を KOBIAN-RIII と比較して自然にすること

本節では上記の 3 点の目的に基づく KOBIAN-RIV の開発に関してまとめる.

(a) 上腕部の改良による可搬重量の増加

上述のように, KOBIAN-RIII の上腕部は, 考えられうる全てのねた動作を高速に実現するため, 各関節の要求加速度から各関節に必要なトルクを求める際, 慣性モーメントを各関節に関する最大値に固定していた. 例えば, 肩付け根 Roll 軸に関してはそれより先の 8 関節全てを真っ直ぐに伸ばす姿勢が慣性モーメントを最大にする.

この手法では, 要求仕様とする加速度条件が, 全ての腕の姿勢に対応することを保証する一方で, 実際のねた動作中に上記のように肩付け根 Roll 関節以降全ての関節を真っ直ぐに伸ばした状態にすること, さらにこの状態で最大の加速度を与えることは考えづらい. このため, 算出された要求トルクは過剰なものとなっていた. これが, 前腕部の制限質量を減少させてしまう大きな要因となっていたため, KOBIAN-RIV において要求トルクの算出方法を変更した.

KOBIAN-RIV の各関節の要求トルク算出のためには, 各関節に対応した関節モーメントの値を最大値に固定せず, ねた動作中の腕部の姿勢に従って動的に変化させた. この手法の詳細を下記に示す.

(i) 質点分割数の検討

厳密に慣性モーメントを計算しようとする積分計算を行うことになるが, 本研究で求める要求仕様は概算値でよいため, 簡易的に, 各関節間のリンクを有限個の等しい質量の質点に分割し慣性モーメントを求めることとした. まず, 慣性モーメントを求めるにあたって質点の分割数を検討した. 質点に関する慣性モーメントは微小質量と回転中心からの距離の 2 乗の積の総和で表される.

$$I = \sum m_a r_a^2$$

I: 慣性モーメント, m_a : 微小質量, r_a : 回転中心からの距離

質点の分割数に関してはまず Fig. 3.24 のような一様な質量 M のリンクと回転中心からなるモデルを考え, リンクをいくつかの質点に分割して求めた慣性モーメントと積分計算により解析的に得られた慣性モーメントの値と比較し, 分割数を決定することとした. 回転中心から剛体棒の重心までの距離は

$$R' = R + \frac{1}{2}L$$

R: 回転中心から剛体棒までの距離, R' : 回転中心から剛体棒の重心までの距離

L: 剛体棒の長さ

で与えられ, 質点に関する慣性モーメントの理論値は

$$\begin{aligned} I_{ideal} &= MR'^2 \\ &= M\left(\frac{1}{4}L^2 + RL + R^2\right) \end{aligned}$$

I_{ideal} : 慣性モーメント, M : 剛体棒の質量

で与えられる.

同様に質点を2個としたとき (Fig. 3.25) 回転中心から剛体棒の各質点までの距離を

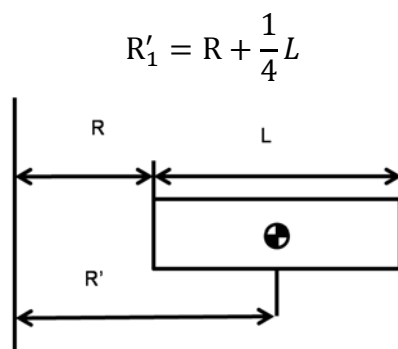


Fig. 3.24 Single-mass model of a link

$$R'_2 = R + \frac{3}{4}L$$

として質点の質量は $\frac{1}{2}M$ と表されるので、回転軸周りの慣性モーメントは

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{1}{2}M(R_1'^2 + R_2'^2) \\ &= M(2R^2 + RL + \frac{5}{32}L^2) \end{aligned}$$

で与えられる。同様に質点を n 個としたときの慣性モーメントは

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{1}{n}M \sum_{k=1}^n \left(\frac{L(2k-1)}{2n} + r \right)^2 \\ &= M \left(\frac{L^2(4n^2-1)}{12n^2} + LR + R^2 \right) \end{aligned}$$

で与えられる。以上の計算により、 I_{ideal} と I_n の関係は R , L に依存することがわかった。ここで、Fig. 3.26 に $R = 1$, $L = 100$ とし n を 1 から 20 まで変化させたとき I_{ideal} に対する I_n の割合を示す。分割数を増やすことで I_n が急速に I_{ideal} に収束していることが確認された。ここで、質点が 4 つ以上になると、どの R と L の組み合わせに対しても I_{ideal} に対する I_n の誤差が 2% 以内に収まることがわかった。これは今回の目的を考えると十分な精度であると考えられたため、今回は各リンクを 4 質点でモデル化し、各関節の動作に従い動的に腕部の慣性モーメントを求めることとした。

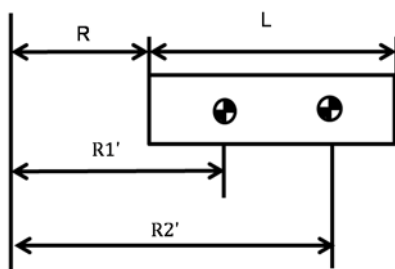


Fig. 3.25 Two-mass model of a link

(ii) 腕部各関節に対する慣性モーメントの算出

任意の姿勢における任意軸まわりの慣性モーメントを求めるには、各関節及び質点の位置を求めることが必要である。順運動学にもとづき各関節と12個の各質点の座標を決定する。これによって各関節の座標が与えられるので、幾何学的に腕部の12個の質点位置を決定することができる。

(iii) 腕部各関節に対する慣性モーメントの算出

以上から、各関節に関する慣性モーメントをねた動作中の腕部姿勢を考慮し動的に算出することができた。各関節の要求トルクは、ねた動作中の各瞬間の慣性モーメン

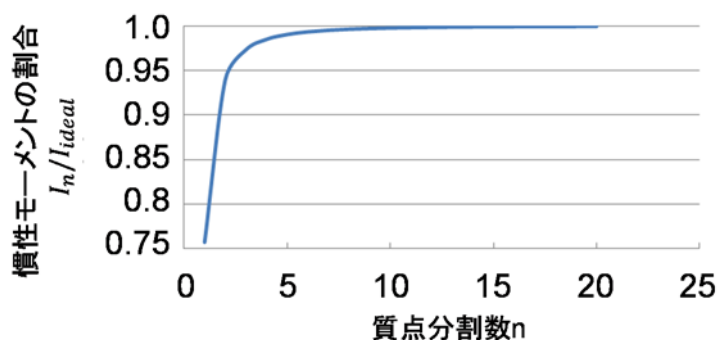


Fig. 3.26 Change of inertia moment depending on the number of mass

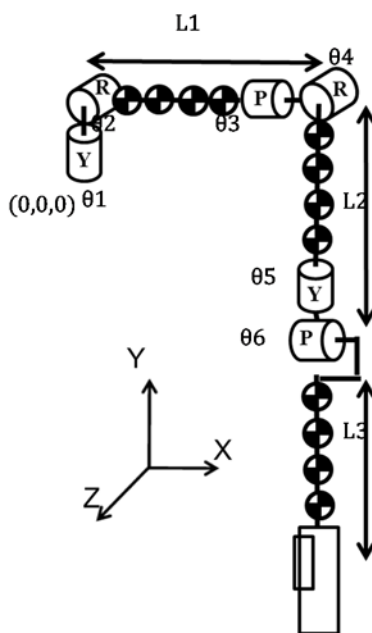


Fig. 3.27 Placement of mass points on whole arm

トにその瞬間の加速度を乗じたものと、各リンクの回転中心からの重心距離から算出される自重を支えるトルクを加えたものとして算出できる。

以上のように慣性モーメントの計算方法を変更することで、各関節への要求トルクを最適化するとともに、肩 Pitch 軸のアクチュエータ配置を再検討することで、KOBIAN-RIII において不自然に長かった肩付け根のリンク長を短縮した。これにより、腕部全体の慣性モーメントが削減され、質量の制限が緩和された。このため、上腕 Yaw と肘 Pitch 軸の動力伝達に使用されていた低効率なフレキシブルシャフトを廃止し、これらを駆動するアクチュエータを軽量なものに変更した。これらにより前腕の質量制限を 1.0kg まで増加させた。

(b) 軽量かつ広可動域・高速動作が可能な手首部の開発

(i) 要求仕様の算出

KOBIAN-RIII の腕部の各関節に関する要求仕様の算出と同様、KOBIAN-RIV の手首の各関節の要求仕様も CG 上にロボットを再現し、このロボットに手首を含むお笑い芸人のねた動作を行わせることを通じて決定した。手首の 3 軸に関して要求仕様決定のための手首の動作が速く特徴のあるねたを以下のように定め、Blender で CG 動画を作成した。

1. IKKO “どんだけ～” (アトリエ IKKO) : 手首 Yaw
2. ダンディ坂野 “ゲッツ” (株式会社サンミュージックプロダクション) : 手首 pitch

芸人のねたの中で適切なものがみつからなかったため、手首 Roll の要求仕様は手首 Pitch のものと揃えた。また手の部分を質量 300g で重心が中央にある直方体と仮定し、必要なトルクと回転数を計算。手首部要求仕様を決定した。手首の可動範囲に関しては、人間の関節の可動範囲に準拠することとした。Table 3.5 に要求仕様を示す。

(ii) ハードウェアの開発

腕部全体の素早い動作の実現のために、手部を含めた前腕部の軽量化は必須である。またできるだけその重心が肘側(体幹側)にある方が、慣性モーメントを小さくすることができるため、腕部全体に必要なアクチュエータの出力を小さくすることができる。そこで、軽量でかつ肘側に重心が位置する機構を検討した。

検討したのは、シリアルリンクと直動アクチュエータを用いたパラレルリンク機構、回転アクチュエータを用いたパラレルリンク機構である。シリアルリンク機構は各関節に回転型のアクチュエータを直接搭載している機構で、可動域を大きくとることが可能である。一方で、付け根側のリンクは先端側のリンク上に搭載したアクチュエータも負荷となるため、同じ動作を行おうとするとアクチュエータが肥大化するデメリットがある。これに対しパラレルリンク機構は、各アクチュエータに負荷が分散するため、一つ一つのアクチュエータの大きさを小さくすることが出来る機構である。またアクチュエータがリンクの中間やベース部分にあるため、重心を駆動部側に位置させやすい。一方デメリットはリンク同士の干渉によりシリアルリンク機構に比べ可動範囲が小さくなってしまうことである。

アクチュエータを出来るだけ軽くし、なおかつ重心を体幹側に位置させるため、開発した手首の Pitch 軸, Roll 軸にはパラレルリンク機構を用いた。Yaw 軸に関しては、必要な可動角が広いため、独立したシリアルリンク機構により駆動することとした (Fig. 3.28)。また、パラレルリンク機構の中でも比較的可動範囲を大きくとることが

Table 3.5 Required specification for wrist joints

	手首 Pitch	手首 Roll	手首 Yaw
角速度 deg/s	320	320	360
角加速度 deg/s ²	4800	4800	17000
可動角 (人間) [11] deg	-30~15	-85~85	-90~90

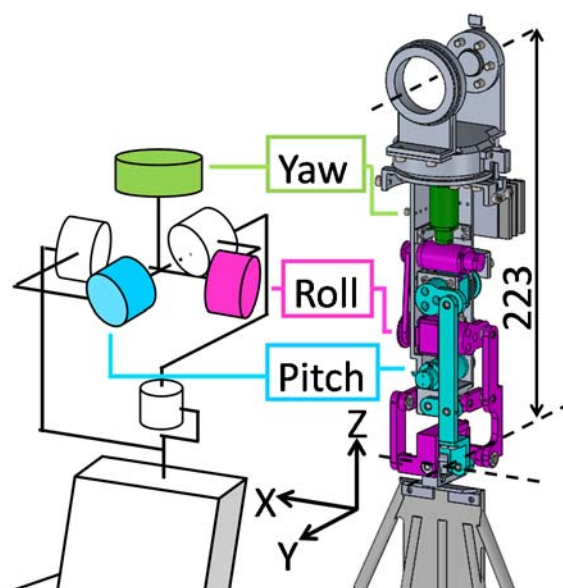


Fig. 3.28 DoF configuration and mechanism of wrist joint

可能な回転アクチュエータを用いた平行リンク機構を採用した。各モータからの回転をタイミングベルトで減速してハーモニックドライブへ入力，さらにハーモニックドライブの出力側にリンクを配置し，回転を伝達する機構とした。

(c)外観の自然さの改善

KOBIAN-RIII に比べ，KOBIAN-RIV は以下の点から外観の自然さを改善させた (Figure 3.29)。まず，肩 Pitch 軸のモータの配置を変更することで，不自然に長かった鎖骨のリンク長を短縮した。また，これによって露出していた鎖骨リンクを覆う外装も搭載可能になった。さらに，フレキシブルシャフトを用いた機構を廃止したことで，特に肘 Pitch 軸から横方向に伸びていたフレキシブルシャフトが無くなった。

これらにより，外観の自然さが改善したかを調査する実験を行った。実験には 14 人 (男性 10 名，女性 4 名，平均年齢 22.0 歳，S.D. 1.66 歳) が参加した。被験者は KOBIAN-RIII と KOBIAN-RIV の正面から全身を撮影した写真 (Fig. 3.30) を見て，印象を VAS (Visual Analog Scale) 上に回答した。実験の結果を Fig. 3.31 に示す。KOBIAN-RIII に比べ，KOBIAN-RIV の外観は有意に自然で，親近感があり，危険でなく見えることがわかった。これにより，KOBIAN-RIII に比べ，KOBIAN-RIV の外観の印象が自然に見えるよう改善されたことがわかる。

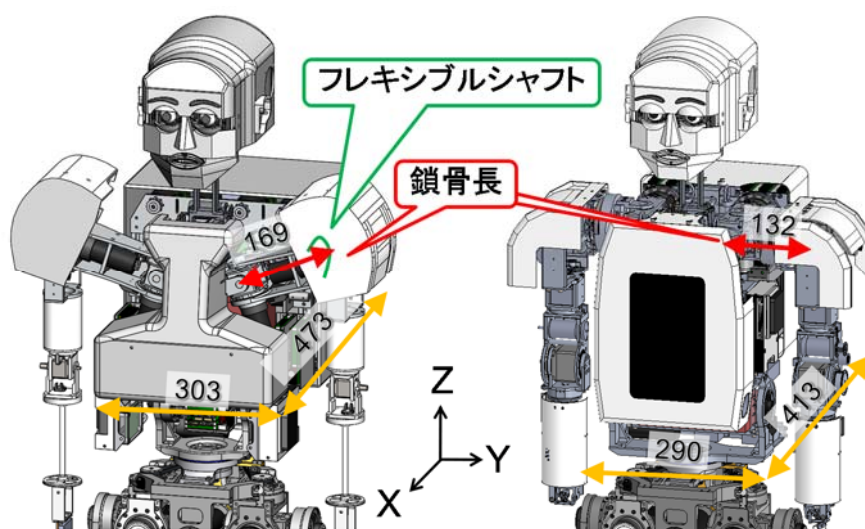


Figure 3.29 Comparison of appearance of KOBIAN-RIII and KOBIAN-RIV

(d) KOBIAN-RIV の全体像

以上のようにして開発された KOBIAN-RV の外観，全身の自由度配置図，自由度配置の表を Fig. 3.32, Fig. 3.33, Table 3.6 に示す．このように，KOBIAN-RIV は腕部に手首を加え，肩付け根に 2 自由度，上腕 2 自由度，肘 1 自由度，手首 3 自由度の合計 9 自由度を持つ．全身では 64 自由度を持ち，身長は 1440mm，重量は 63kg である．また，胸外装にはディスプレイを搭載し表現手法を多様化させた．

さらに，KOBIAN-RIV の制御システム構成図を Fig. 3.33 に示す．このように，KOBIAN-RIV は基本的な制御システムは KOBIAN-RIII と同様であり，多くのモータは HRP Interface Board および特殊電装製モータドライバにより位置制御が行われる

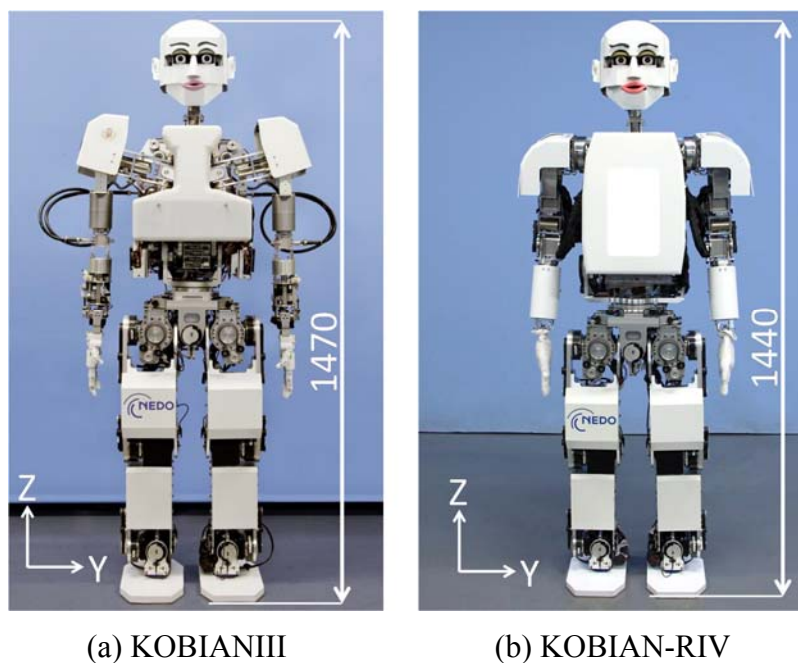


Fig. 3.30 Comparison of the impression of the appearance of two different robot

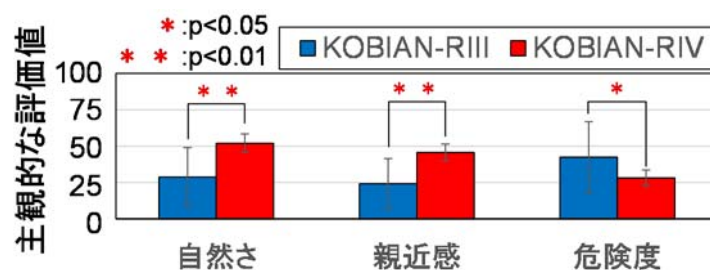


Fig. 3.31 Comparison of the impression of appearance on different robots. The difference of the scores were statistically analyzed by paired t-test.

が、手首部は、高西研究室で開発された STMicroelectronics 社製の ARM マイコンをベースとしたマイコンモジュールと、同様に高西研究室で開発された STMicroelectronics 社製のモータドライバ IC を搭載したモータドライバモジュールを組み合わせたモータコントローラによる分散制御により 1[ms]周期でモータの位置制御が実現される。このモータコントローラは1つで4軸のモータの位置制御が可能である。このモータコントローラには CPU ボードから 30[ms]周期で位置制御の指令値が RS-422 通信により送られる。

また、腕部の軽量化を考えると、肘 Pitch 軸，肩 Roll 軸のモータはブラシ付モータ

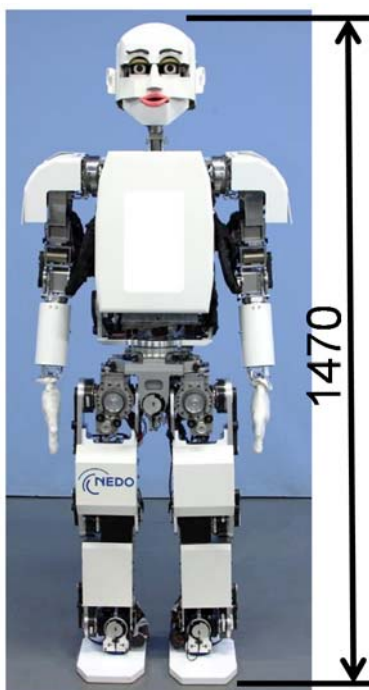


Fig. 3.32 Appearance of KOBIAN-RIV

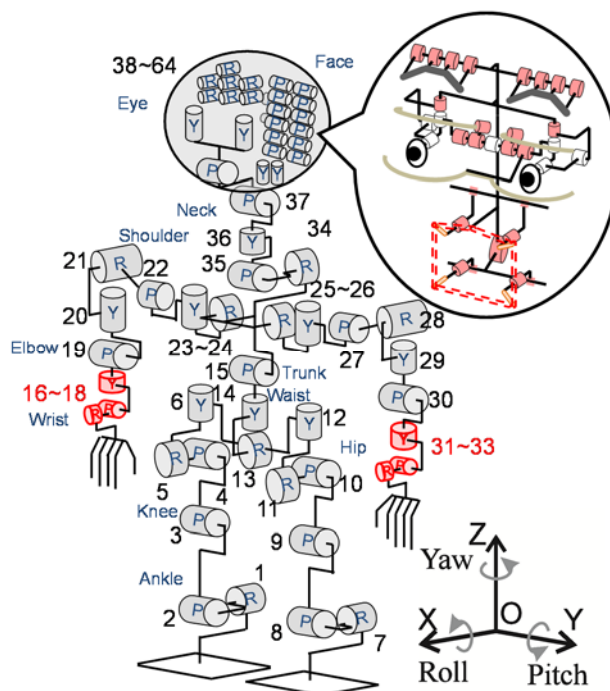


Fig. 3.33 DoF configuration of KOBIAN-RIV

Table 3.6 DoF configuration of KOBIAN-RIV

部位	DoF
頭部	27
首部	4
体幹部	1
腰部	2
肩付け根部	2×2
腕部	7×2
脚部	6×2
合計	58

よりもブラシレスモータの方がモータの重量を軽減できることがわかったため、これらの軸はブラシレスモータにより駆動されている。ブラシレスモータは前述の高西研究室で開発されたマイコンモジュールに、株式会社ハイボット社製のブラシレスモータ用小型モータドライバモジュール(1BLDC Power Module)を接続し、分散制御によって1[ms]周期でモータの位置制御が実現される。

3.5 誇張した感情表現が可能なロボット頭部の開発

本研究で開発する頭部のベースとなった KOBIAN-R 頭部を著者らが開発した際には、万人にわかりやすい表情を探索する目的で、複数人のアマチュア漫画家に描画してもらった漫画調の表情をもとに設計を行った[55]。表情表出能力の評価基準として、Ekman の提唱した文化的普遍性を持つといわれる基本 6 感情の表情（怒り，悲しみ，喜び，驚き，嫌悪，恐れ） [56] (Fig. 3.35) を用い，評価実験を行った結果，人間の表情部位の変形を超え，漫画調の誇張された表情部位の形状を伴う表現の有効性が確認でき，「恐れ」「嫌悪」を除くすべての表情で感情認識率の向上がみられた。しかしながらまだ「悲しみ」「喜び」「恐れ」「嫌悪」の 4 表情は万人に通用するといえる認識率

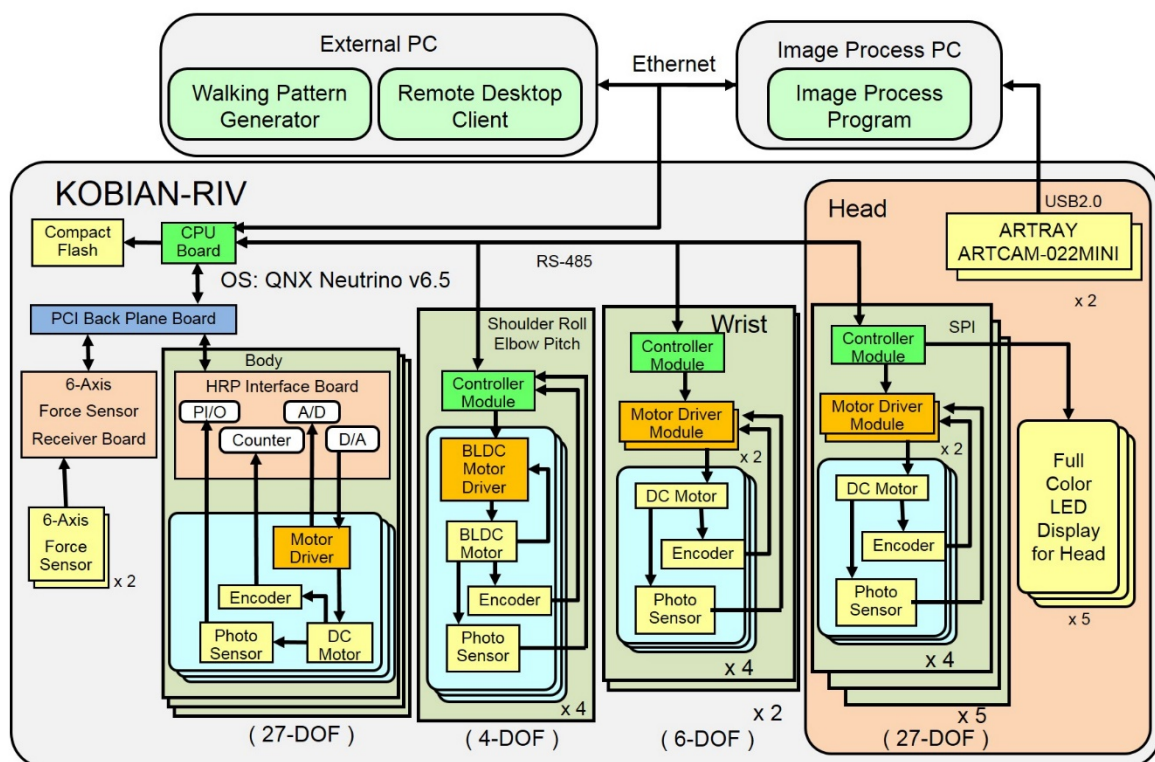


Fig. 3.34 Control system of KOBIAN-RIV

をもっているとはいえ、特に恐れ表情は、認識率が19%であり、誤解答として悲しみ19%、喜び19%といったように、恐れ表情として認識されているとはいえなかった (Fig. 3.36)。全身表現のなかで表情の果たす役割は大きく、特に感情表現には不可欠なものである。全身表現を誇張して行うためには、表情においてもさらなる誇張表現の導入により、誇張した感情表現を表現することが必要であると考えた。

そこで本研究では KOBIAN-R の頭部開発時に有効性が示唆された漫画調の誇張した表現という特徴をさらに積極的に適用することで、わかりやすい感情表現を実現することとした。まず、ハードウェア開発により実現すべき表情を決定するため、高い認識率をもつモデル表情の選定が行われた。モデル表情の選定は2段階により実施さ



Fig. 3.35 Facial expressions by combining facial parts shapes.

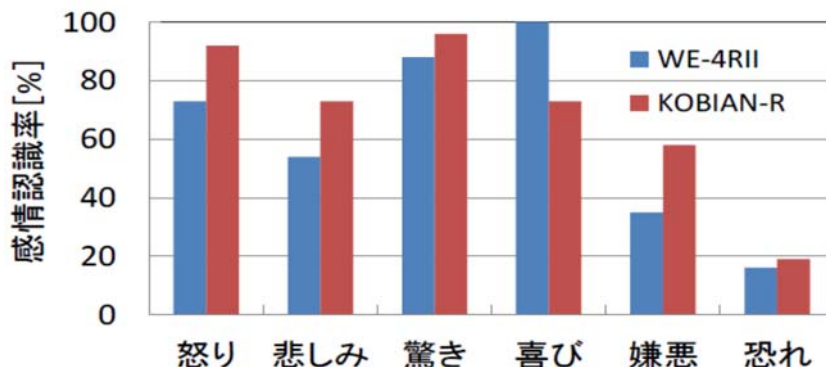


Fig. 3.36 Facial expressions by combining facial parts shapes.

れた。

まず、第1段階として KOBIAN-R 頭部の表情と同様、表情各部の形状の誇張のみで実現されるモデル表情を探索した。ここで、Ekman らの研究により人間の表情に関しては感情と表情各部の動作の関連を定義した Action Unit という概念が提唱されている[56]が、KOBIAN-R 頭部開発時に漫画家に依頼して作成された表情は各感情において必ずしもこの Action Unit に一致しない特徴を持つ表情各部の形状を持っており、これらの表情が高い感情認識率を達成したため、誇張した表情表現においてはこれらの人間の表情の特徴を利用することはできないことがわかっていった。さらに、KOBIAN-R 頭部には 24 自由度が搭載されており、これらの自由度による表情各部の変形および組合せを網羅した表情全てに対し評価を行うことは現実的ではなかった。このため、眉、眼・瞼、口唇の各部位の誇張した形状を網羅的に作成し、これらをそれぞれ別々に無感情表情に合成し、一部位のみで感情を表現した部位別表情群を作成した。この表情群を用いて表情評価実験を行い、各感情を表現するために有効な表情各部の形状を探索し、これらの部位を組み合わせることで認識率の高い表情を選定した。ここで作成した表情を部位合成表情と呼ぶこととする (Fig. 3.37)。しかしながらこの段階ではまだ十分な認識率を持っているモデル表情を見つけることは出来なかった。以上の結果から、表情各部の変形を誇張するという、動作の特徴のみを操作することで実現される誇張表現には限界があり、十分に感情認識率の高いモデル表情は達成できないと考えられた。

そこで、第2段階として表情各部の動作そのものを誇張する手法ではなく、別の表現手法を組み合わせることによる誇張表現として、漫画表現に特有な「漫符」に着目した。漫符とは漫画の中で用いられる表現技法であり、感情をわかりやすく伝える表

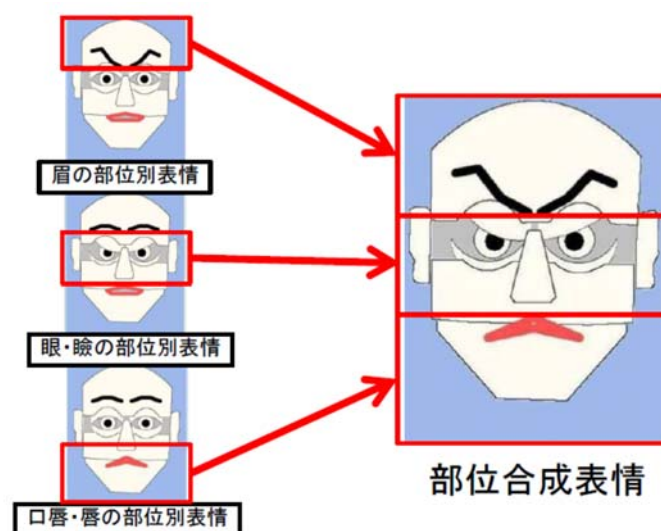


Fig. 3.37 Facial expressions by combining facial parts shapes.

現記号である。漫画家に基本6感情に対する漫符を複数描画してもらい、評価実験により感情認識に有効な漫符を特定した。この漫符と、第1段階で得られた中で最も認識率の高かった表情の中から、評価実験により最適な組み合わせを見つけ、認識率の高いモデル表情を得た。この表情をもとに漫符の表出機能を備えた新頭部を開発した。

3.5.1 モデル表情の探索

(a) 漫符なし表情の探索

人間が表情から感情を判別する際、注視点が眼や口などの物理的特徴をもつ部位に

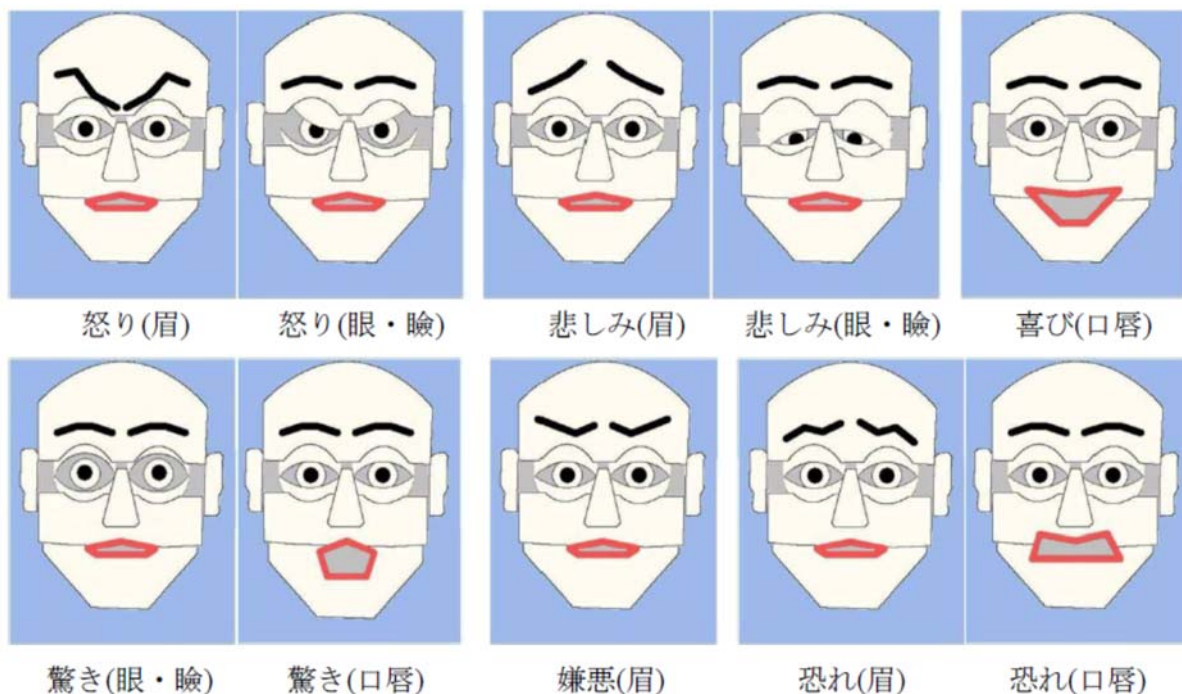


Fig. 3.38 Facial expressions by combining facial parts shapes.

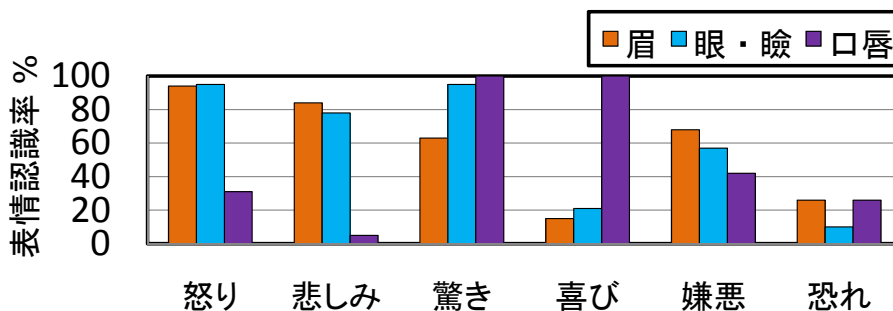


Fig. 3.39 Facial expressions by combining facial parts shapes.

集中すること[57], 表情認識のために最も重要な部位 (眉・眼・脛, 口唇) は, 感情ごとに異なること[58]が報告されていることから. 表情の部位ごとに高認識率のもの, つまり感情を表現するために有効な表情各部の形状をみつけることができれば, これらを組み合わせることで高い認識率を得る表情が実現されると考えた. 眉, 眼・脛, 口唇の各部位の誇張した形状を網羅的に作成し, 無感情表情の各部位の形状をこれらの形状と一部位のみ入れ替え, 1 部位のみで感情を表現した「部位別表情」を 136 個作成した (眉について 61 個, 眼・脛について 30 個, 口唇について 45 個). これらの部位別表情についての感情認識率を調査する予備実験を行った. 被験者は 19 名 (男性 15 名, 女性 4 名, 平均年齢は 20.2 歳) であった.

Fig. 3.38 に各感情で認識率が高かった部位別 表情を示す. Fig. 3.39 に各感情における部位ごとに最も高かった「部位別表情」の認識率を示す.

この結果から「怒り」, 「悲しみ」は眉と眼・脛の形状, 「驚き」は眼・脛と口唇の形状, 「喜び」は口唇の形状が感情認識により影響を与えることがわかった. また, 各感情において認識率の高い各部位の形状が特定された. さらに, これらの各部位において感情認識に有効であると考えられる形状を一つの表情に組み合わせた「部位合成表情」を作成し, 認識率を調査した. ただし, 「悲しみ」における口唇, 「喜び」と「恐れ」における眼・脛は高い認識率を得た形状がみつからなかったため, 無感情表情の形状を用いた. これらの「部位合成表情」の感情認識率を調査する予備実験を行った.

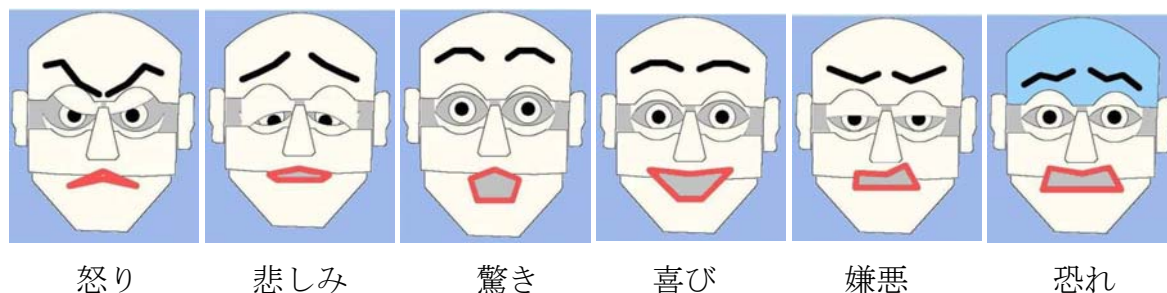


Figure 3.40 "Part Combined Face" that has high emotion recognition rates.

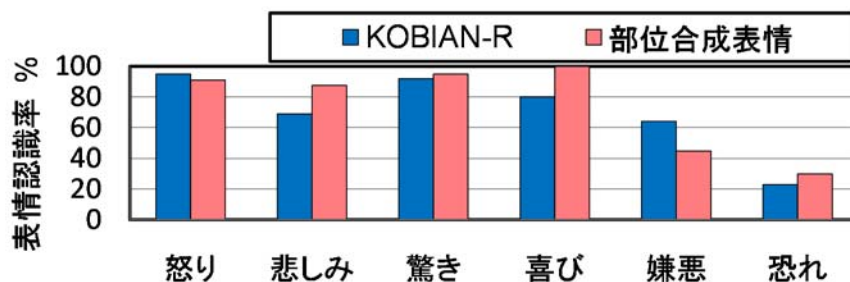


Figure 3.41 Emotion recognition rates by “Part-Combined Face” for each emotion

被験者は 25 名（男性 15 名，女性 10 名，平均年齢は 20.2 歳）であった。Figure 3.40 に各感情の「部位合成表情」を示し，これらの表情の認識率を Figure 3.41 に示す。この実験から「悲しみ」，「喜び」と「恐れ」においては KOBIAN-R 頭部の感情認識率を上回る表情が得られた。

(b) 漫符付き表情の探索

「部位合成表情」から「嫌悪」と「恐れ」の認識率を十分に向上させる表情はみつけることができなかつたため，表情各部位の誇張した形状の表現のみでの感情認識率の向上は限界であると考えた。そこで，表情各部の変形に別の表現手法を付加することで，感情をより誇張して表現する手法として，漫画表現に特有なマークによる表現である漫符に注目した。まず，作画能力の高さを期待して，9 人の漫画家に感情表現に効果的と考えられる漫符を，KOBIAN-R 表情 CG の上に描画してもらった。Fig. 3.42 に漫画家の描画を基に作成した漫符を示す。

これらの漫符と，前節で得られた「部位合成表情」および KOBIAN-R 頭部の表情の組み合わせの中から，最も高い認識率を有する表情を特定する実験を行った。また，同じ感情に対する漫符を複数個組み合わせることが認識率にどのような影響を及ぼすかもあわせて調査した。KOBIAN-R 頭部においては，完成した頭部写真の認識率がモデル表情の表情 CG よりも低くなった。新頭部とモデル表情の認識率の差異を減少させるため，この実験では，KOBIAN-R 頭部実機で表情を表出させ撮影した写真に漫

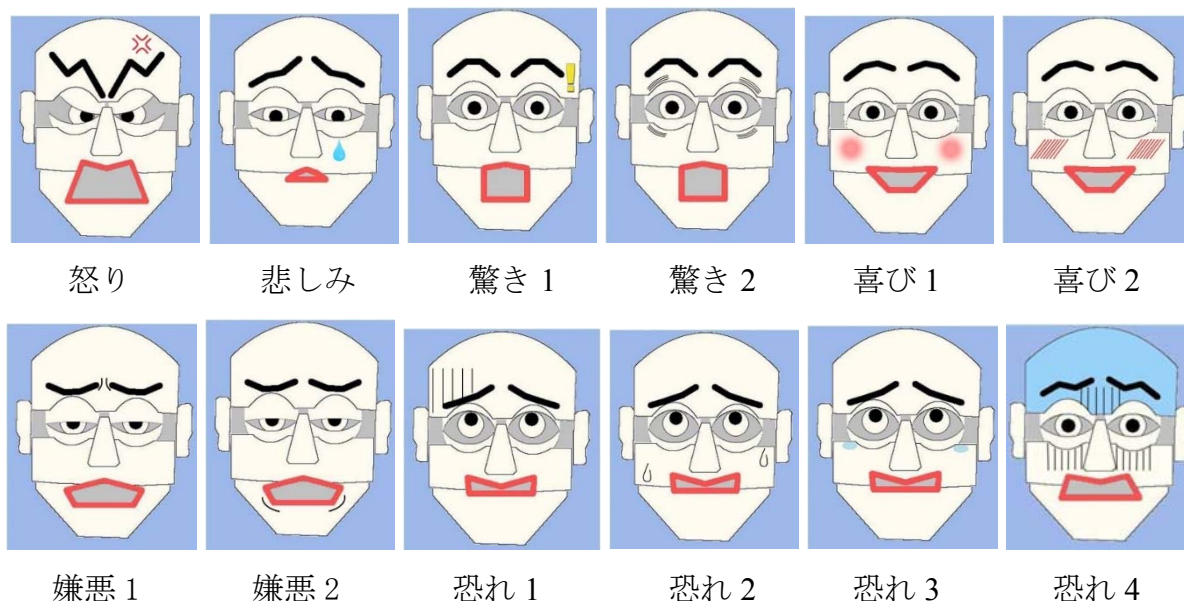


Fig. 3.42 Comic marks drawn by cartoonists.

符を画像編集により合成することで実験用のモデル表情を作成した。この実験の被験者は56名（男性35名，女性21名，平均年齢20.9歳）であった。

この実験で最も認識率の高かった表情を Fig. 3.43 に，それらの感情認識率を Fig. 3.44 に示す。この結果をみると，「怒り」，「悲しみ」と「嫌悪」の表情は漫符がある表情の認識率が最も高く，漫符による誇張表現の感情表現への有効性が示された。「怒り」は血管が浮き出る漫符，「悲しみ」は涙の漫符，「嫌悪」はしわの漫符，「恐れ」には気分の落ち込みを表す垂れ線と顔色の漫符の組み合わせが最も感情認識率向上に有効であった。「喜び」と「驚き」について最も高い認識率を得た表情は漫符を含まない表情であった。この実験で得られた各表情を新頭部設計のモデル表情とした。

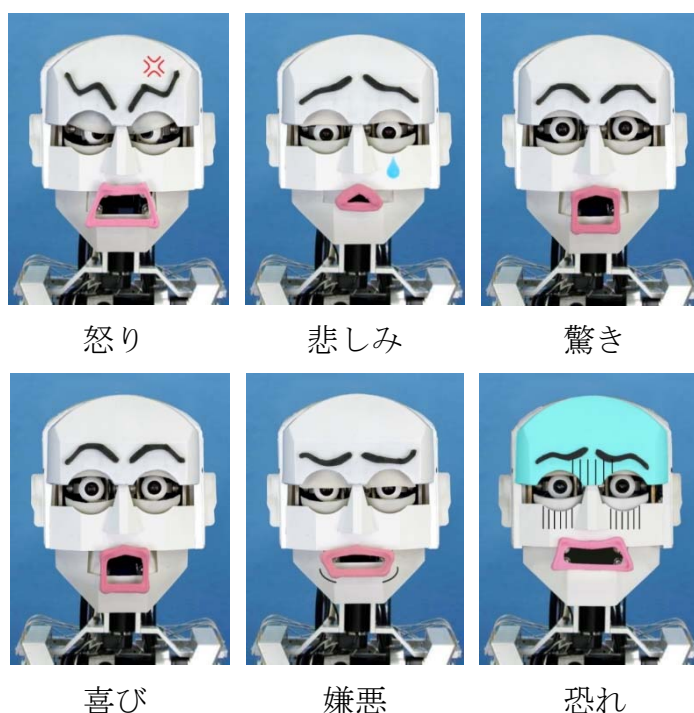


Fig. 3.43 Model expressions.

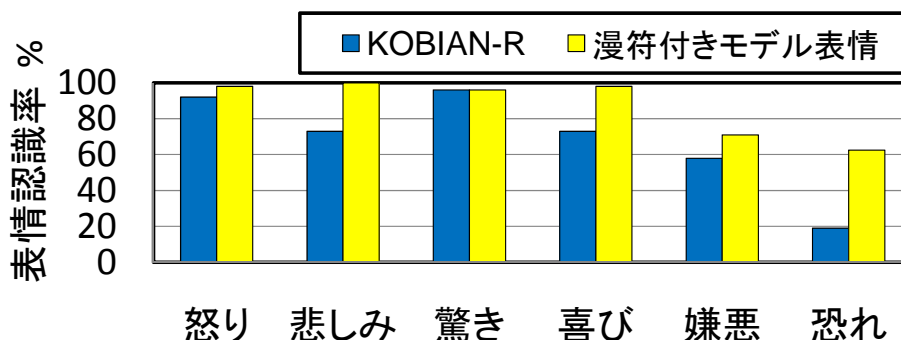


Fig. 3.44 Emotion recognition rate of model expressions.

3.5.2 ハードウェア開発

前節で得られたモデル表情を実機で表出するためには、額外装に「怒り」の赤色の血管，頬外装に「悲しみ」の青い涙，額，頬外装に「恐れ」の垂れ線，顎外装にしわの漫符を表出する必要があった。「怒り」と「悲しみ」のカラーの漫符はフレキシブル基板を用いたフルカラーLEDマトリクスディスプレイを開発し、「恐れ」、「嫌悪」の垂れ線としわの表出機構は外装曲面上に沿って変形するシートを出し入れする機構によって実現した。額は5層の構造とし，眉を駆動するための磁石の間の1層目から5層目に，LEDの光を拡散するシート，漫符表示のためのLEDディスプレイ，顔色表出のためのELシートを収めた。頭部の寸法は縦170mm，横150mm，高さ186mm，全体の重量は2.3kgとなった。額の多層構造を Fig. 3.45 に示す。ディスプレイと漫符表出機構の搭載位置を Fig. 3.46 に示す。

(a) 血管・涙の漫符の表出機構

カラーの漫符はフレキシブル基板を用いたフルカラーLEDマトリクスディスプレイ (Fig. 3.47) の開発により実現された。LEDディスプレイの要求寸法は表示部35mm×48mmであり，頬の搭載スペースからデバイス全体で35mm×110mm以内に収める必要があった。さらに，額外装への搭載時には外装の表裏に張り付けた眉駆動用の磁石の間隔をできるだけ短くしなければならないため，厚さを1mm以下に収める必要

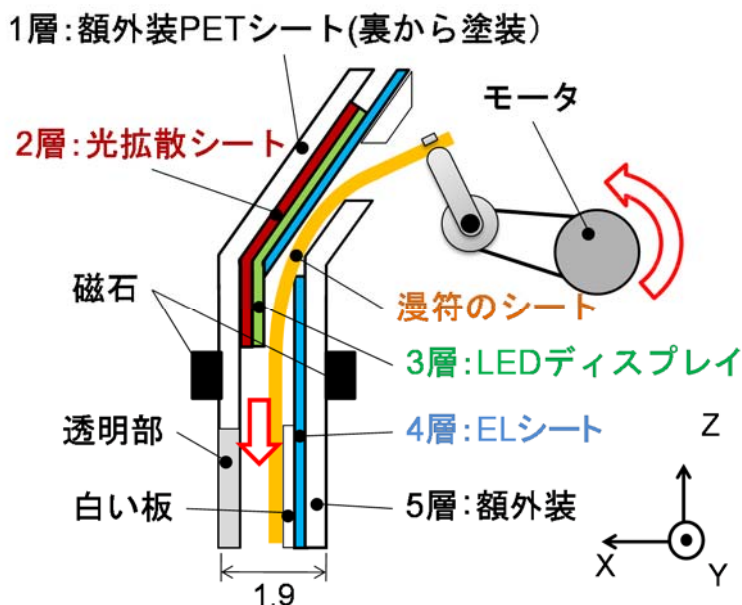


Fig. 3.45 Layer structure of forehead.

があった。また LED ディスプレイでは、LED の間隔と大きさが解像度に直接影響するため、 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ の世界最小フルカラーLED（ローム製 SMLP34RGB2W）を要求寸法内に 2mm の間隔で並べ、 24 行 \times 16 列の解像度とした。デバイスのサイズを可能な限り小さくするため、表示の制御には素子の数が少なくできるアクティブマトリクス方式を用いた (Fig. 3.48)。表示内容は 10ms おきに更新が可能である。この LED ディスプレイを額に 3 台、左右の頬に 1 台ずつ、計 5 台搭載した。

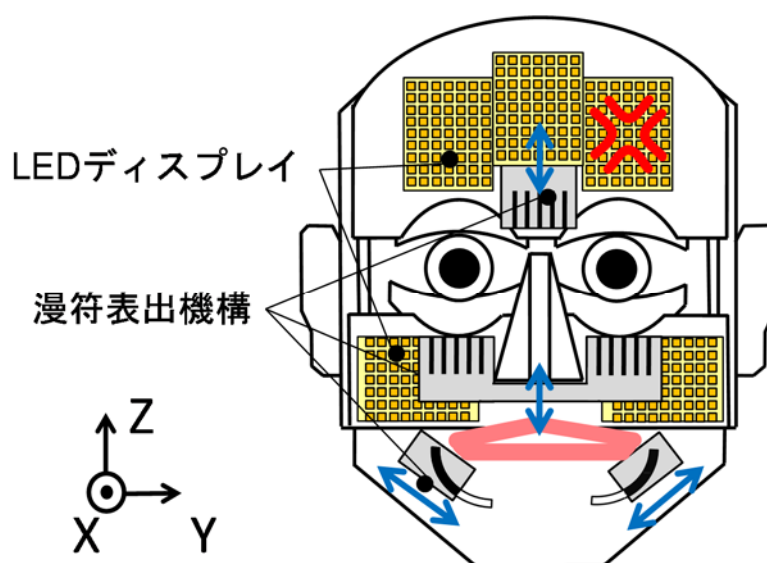


Fig. 3.46 Placement of the devices to display comic marks

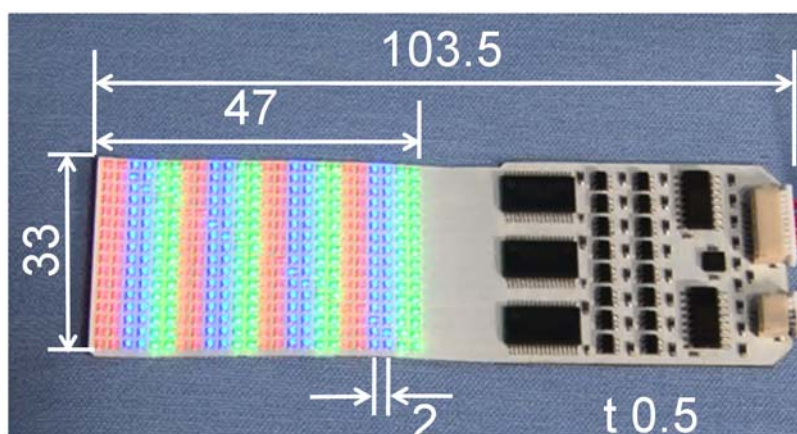


Fig. 3.47 Full color LED matrix display

(b) 垂れ線・しわの漫符の表出機構

「恐れ」の垂れ線は額と頬に表出する必要がある。これらは透明な PET のシートに描いた垂れ線 (Fig. 3.49) の出し入れにより実現した。額の垂れ線のシートは、プッシュプル動作により、LED ディスプレイの裏側から一部透明になった 1 層目の表面外装の裏側にシートが滑り込むことで表出される。「嫌悪」の顎の黒いしわは、顎外装に塗装せず透明な部分を残し、この部分に裏側から黒いシートを出し入れすることで表示を実現させた。

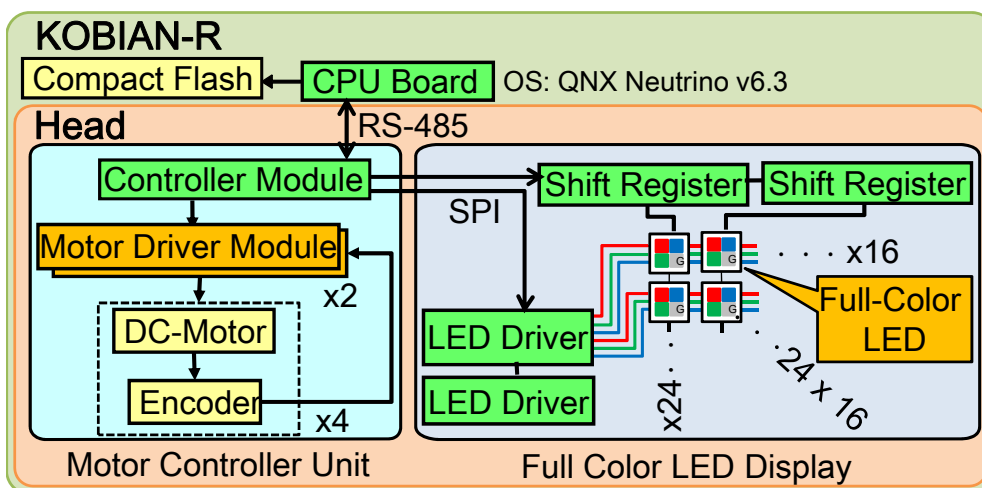


Fig. 3.48 Control system of the LED matrix display.

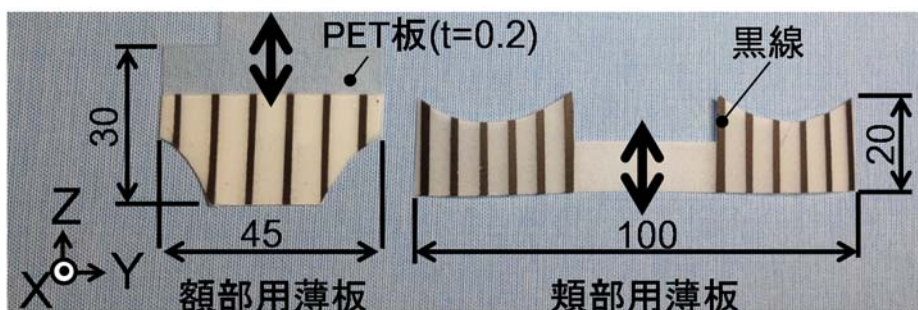


Fig. 3.49 Sheet with black line.

3.5.3 頭部の表情表現能力の評価

開発した KOBIAN-RII 頭部 (Fig. 3.50) の静止画による評価実験を行った。被験者は 30 名 (男性 15 名, 女性 15 名, 平均年齢は 20.9 歳) であった。KOBIAN-RII 頭部の表情表出写真を Fig. 3.51 に, 評価実験の結果を Fig. 3.52 に示す。実験より, すべての表情の感情認識率が 80%以上へと向上したこと, 全体の感情認識率は基本 6 感情平均で 90%を超えたことがわかった。高い特に「怒り」, 「悲しみ」, 「驚き」の 3 表情は認識率が 100%であり, 「恐れ」は KOBIAN-R の認識率 27%に対し, KOBIAN-RII では 80%と大幅に向上した。また「怒り」の漫符は有無に関わらず認識率が 100%だったため効果が確認できなかったが, 涙の漫符により「悲しみ」の認識率が 83%から 100%へ, しわの漫符により「嫌悪」の認識率が 70%から 80%へ上昇し, 漫符による認識率の向上が確認された。また「恐れ」の表情における漫符の有無による感情認識率の違いを Fig. 3.53 に示す。漫符なしの表情の感情認識率が 37%であるのに対し, 青い顔色の漫符を表出すると 57%, 垂れ線の漫符を表出すると 73%になり, 顔色より垂れ線の漫符の効果が大きかった。さらに顔色と垂れ線を両方表出させた場合は認識率が 80%となったことから, 漫符の組み合わせの効果も確認された。

以上の結果から, KOBIAN-R の開発時に確認されていた表情各部の誇張した形状による表現に加え, 別の表現手段である「漫符」の表現を加えることでより誇張した感情表現が可能となり, この結果感情認識率が向上したことが確認されたといえる。

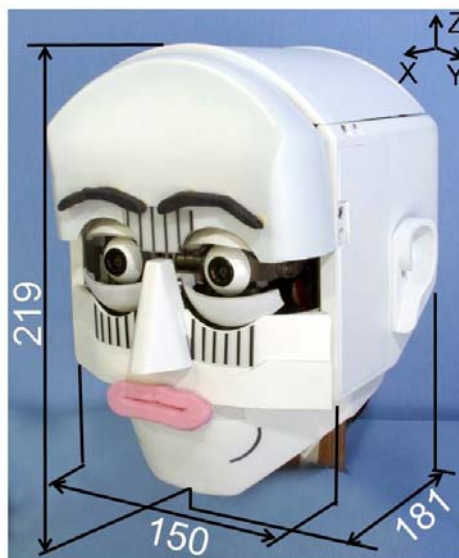


Fig. 3.50 Appearance of the robot head



Fig. 3.51 Facial expressions by KOBIAN-R11

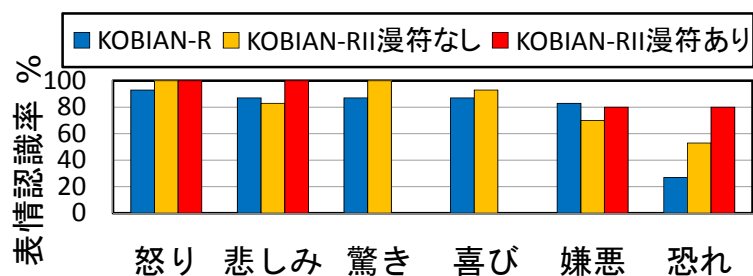


Fig. 3.52 Emotion recognition rates of KOBIAN-R11. For “Surprise” and “Happiness”, we couldn’t find effective comic marks.

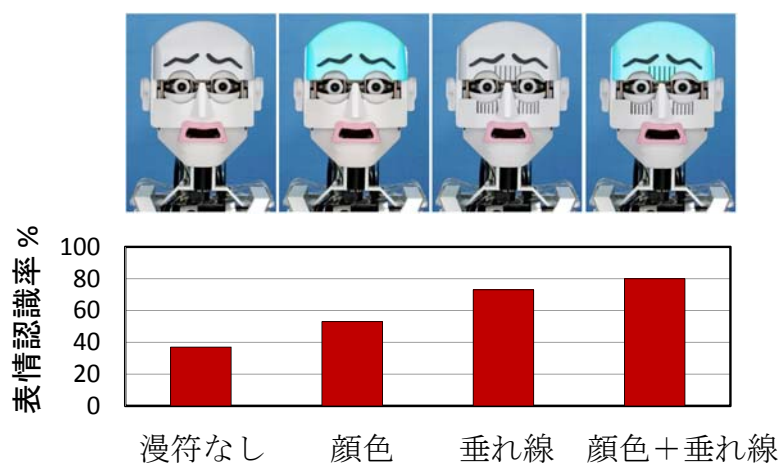


Fig. 3.53 Difference of emotion recognition rate for “Fear” depends on the comic marks

3.6 「誇張」方略に基づくロボットの動作生成と評価

「誇張」方略の概念に基づき、ロボットが誇張した動作生成を行うことで、動作の印象を面白く変化させることができるかを確認する。

ここで、本章の実験では動作の特徴のみを変化させたことによる印象の変化を調査するため、「誇張」した特徴を持たせる対象となる行動・動作が必要となった。本研究では、基準となる面白さを確保するため、この「誇張」方略によって動作の特徴を変化させる対象の動作をお笑い芸人のねたから取得した。そして、お笑い芸人のねたの行動中に含まれる動作を「誇張」して行うことで、印象がどのように変化するかを調査することとした。

本研究では、2つの段階で「誇張」方略に基づく動作生成の評価を行った。第1段階としては、ロボットが人間のお笑い芸人と同等程度の動作の速さ・大きさにより「誇張」した動作を生成することで、印象を面白く変化させることができるかの評価である。第2段階としては、人間のお笑い芸人を超えた程度でロボットが「誇張」した動作を生成することで、印象をさらに面白く変化させることができるかの評価である。

3.6.1 動作生成の流れ

実験の説明の前に、本研究におけるロボットの動作生成の流れについて腕部を例に

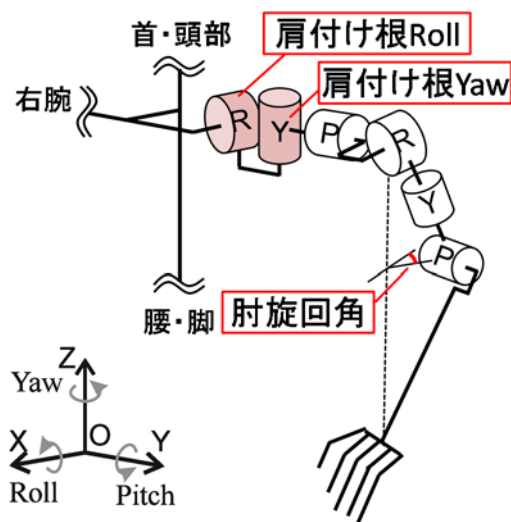


Fig. 3.54 DoF configuration on arm of KOBIAN-RIII

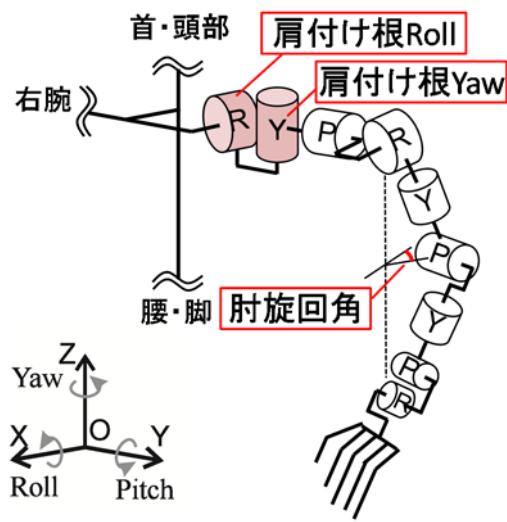


Fig. 3.55 DoF configuration on arm of KOBIAN-RIV

して説明する. まず, ロボットの腕部の形状は, ロボットの手先のエンドエフェクタの位置・姿勢, 冗長自由度の角度によって計算される各関節の角度によって決定される. ただし, 本論文の研究を通じ, 全ての手先位置・姿勢は体幹 Pitch 軸中央部を原点としている. ここで, 本研究で開発された KOBIAN-RIII は腕部に 6 自由度 (Fig. 3.54), KOBIAN-RIV は腕部に 9 自由度 (Fig. 3.55) を持つ. 手先のエンドエフェクタの位置・姿勢が 6 自由度で表現されることを考えると, KOBIAN-RIII には冗長自由度が無く, KOBIAN-RIV には 3 つの冗長自由度がある. しかし, KOBIAN-RIII の腕部のすべての関節の角度を手先のエンドエフェクタの位置・姿勢から決定してしまうと, 肘の向きが不自然になる問題があった. このため, 本研究では KOBIAN-RIII においては肩付け根の 2 自由度と肘旋回角を冗長自由度とし, 手先の姿勢を制御せず, 手先の位置から逆運動学を解いて残りの 3 自由度の関節角度を決定した. KOBIAN-RIV においても肩付け根の 2 自由度と肘旋回角を冗長自由度としたが, 手首に 3 自由度が加わったことで手先の姿勢も制御できるようになった.

また, ロボットの動作のタイミングは phase の概念で定義される. phase は一定周期で移行されるものであり, 1 つの phase が持つ長さは任意に決定することが可能であるが, 本研究ではすべて 30ms の周期に定義されている.

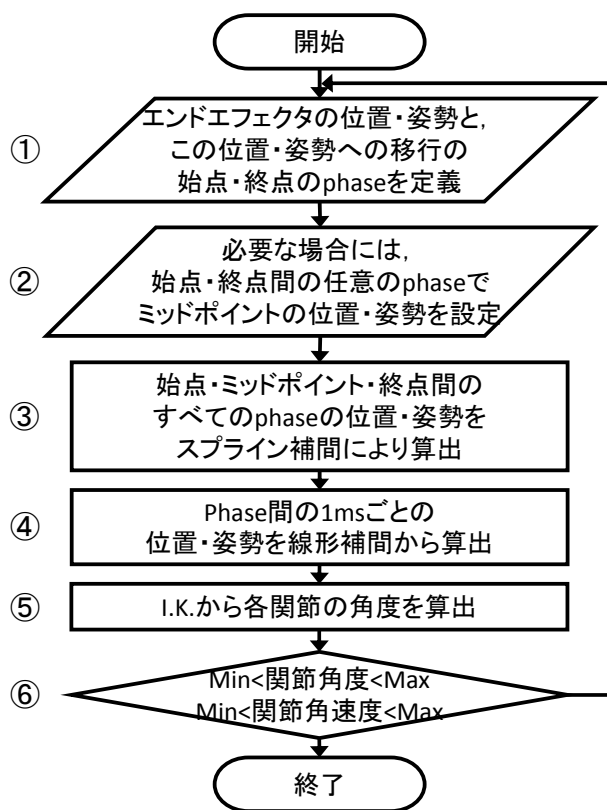


Figure 3.56 Flow of motion planning and calculation of joint angle for each joint

本研究において、ロボットの動作は Figure 3.56 のような 6 つの段階から生成される。

第1段階として、任意の phase を始点・終点とし、動作の始点・終点におけるロボットの手先の位置・姿勢、冗長自由度の角度を定義する。

第2段階として、必要に応じて第1段階で動作を定義した始点・終点の phase 間の任意の phase に、ミッドポイントと呼ばれる中間的な形状を挿入する。

第3段階として、これらの始点・ミッドポイント・終点の間の全ての phase におけるロボットのエンドエフェクタの位置・姿勢、冗長自由度の角度をスプライン補間によって算出する。

第4段階として1つの phase 内の 1ms ごとのロボットのエンドエフェクタの位置・姿勢、冗長自由度の角度を線形補間によって決定する。

第5段階として、逆運動学によって 1ms ごとのエンドエフェクタの位置・姿勢、冗長自由度の角度から腕部の各関節の角度を決定する。

第6段階として、計算された関節の角度・角速度がハードウェアの制限を超えていないかを確認し、ハードウェアの制限を超えていた場合にはエンドエフェクタの位置・姿勢と、冗長自由度角を再設定するという流れである。

3.6.2 人間のお笑い芸人と同等の「誇張」表現が面白さに与える影響

一般的に、2足ヒューマノイドロボットの各部は可動域や動作速度の制限により小さく・遅くしか動作できず、人間のように大きく、高速な表現はできない。ここで、ロボットが人間のお笑い芸人と同等の「誇張」した全身動作を行うことで、動作の印象を面白く変化させ、人間の笑いを誘発する刺激を生成することができるかを調査する実験を行った。

この実験は、同じお笑い芸人のねたを一般的な可動域が狭く、動作の遅い腕部の性能を持つ2足ヒューマノイドロボットに演じさせた動作が小さく・遅いねたの演技と、本研究で開発された広可動域・高速動作を実現する性能を持つ腕部をもつ2足ヒューマノイドロボットに演じさせた動作がお笑い芸人と同等に大きく・速いねたの演技の間で印象を比較する方法で行われた。

ロボットの外観の印象を揃えるため、本実験ではこの動作の大きさ・速さの異なる演技をすべて KOBAN-RIII 上で、関節可動域や動作速度の制限を変更することで実現させた。また、一般的な性能の腕部を持つロボットの性能として、本研究の開発のベースとなった KOBAN-R の腕部の関節可動域・動作速度の仕様 (Fig. 3.12, Table 3.1) を利用した。速度・可動域をそれぞれ2段階 (芸人のねた通りの速度・可動域、

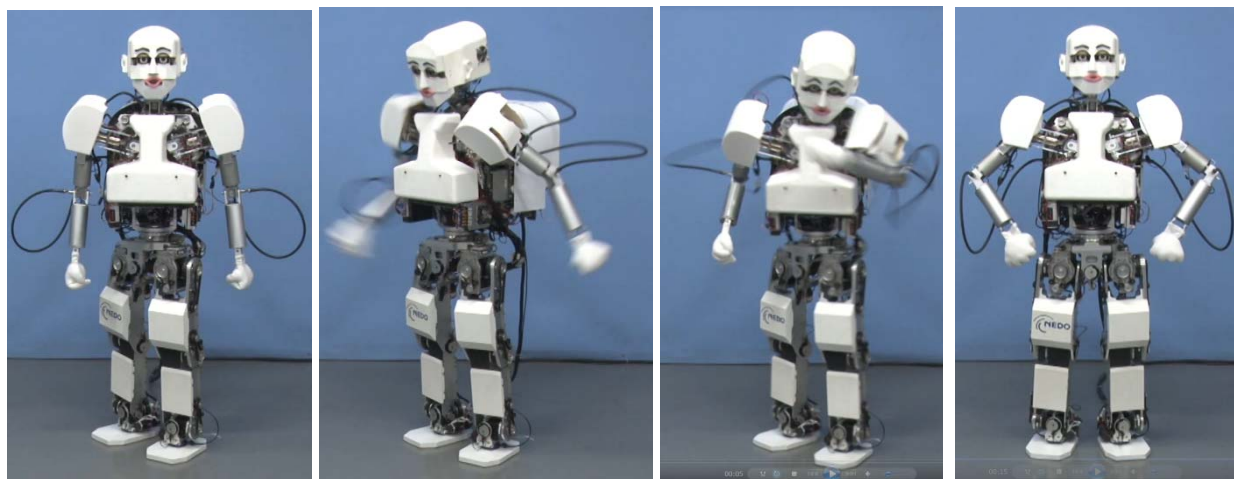
KOBIAN-R のハードウェアの制約を受けた速度・可動域) に変化させ、これらの組み合わせから合計 4 つの条件でロボットにねたの演技を行わせ、印象の違いを調べた。本実験には以下の 3 つのお笑い芸人のねたを使用した。

1. パッション屋良 “じゃんけん” ((株) マセキ芸能社)
2. 原西孝幸 “なるほど” (株式会社よしもとクリエイティブエージェンシー)
3. 前田敦子さんのものまね “キンタロー” (松竹芸能株式会社)

これら 3 つのねたについて、上記の 4 つの条件 (可動域の大小 (芸人のねた通り, KOBIAN-R の仕様により制限), 速度の大小 (芸人のねた通り, KOBIAN-R の仕様により制限) の組み合わせ) によるロボットの演技 (Table 3.7) を作成した。このうち、可動域が芸人と同等であるの条件の演技の流れを Fig. 3.57, Fig. 3.59, Fig. 3.61 に示す。さらに、それぞれのねたに関し、可動域の変化で動作の大きさがどのように変化したかを示すため、腰を原点とした手先のエンドエフェクタの軌跡を Fig. 3.58, Fig. 3.60, Fig. 3.62 に示す。これらを見ると、Fig. 3.13 に示したような可動域の変化の影響を受け、KOBIAN-R の可動域の条件では、特に Z 軸方向 (上下方向) への動作が制限を受け、動作の印象を小さく見せていることがわかる。

Table 3.7 Condition of the robot in the experiment

条件	速度	可動域
A	お笑い芸人と同等	お笑い芸人と同等
B		KOBIAN-R の仕様により制限 (Fig. 3.12)
C	KOBIAN-R の仕様により制限 (“なるほど” : お笑い芸人の 1/9 倍速) (“じゃんけん” : お笑い芸人の 1/8 倍速) (“前田敦子さんのものまね” : お笑い芸人の 1/6 倍速)	お笑い芸人と同等
D		KOBIAN-R の仕様により制限 (Fig. 3.12)

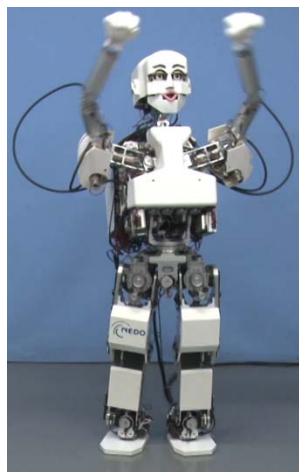


「お兄さんとジャン
ケンしようか」

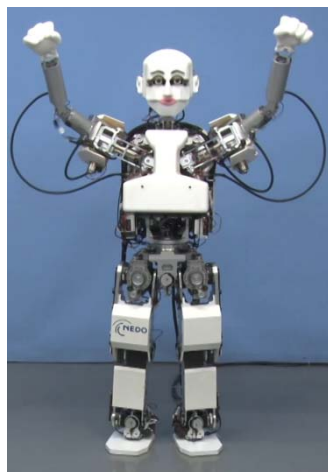
「いくぞ、せーの」

「んー！！」

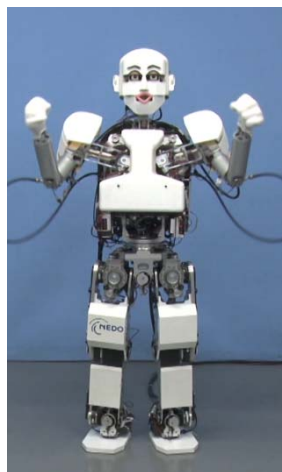
「お兄さんの勝ち
だね」



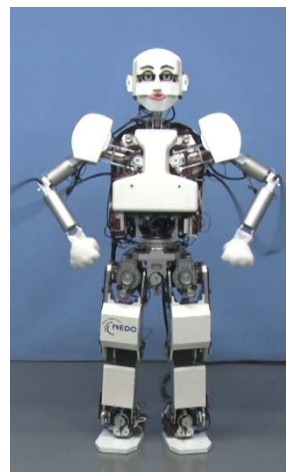
「アーイ、アアー
イ」



「Every」



「Body」



「Passion！」

Fig. 3.57 Example of the skit “Janken”

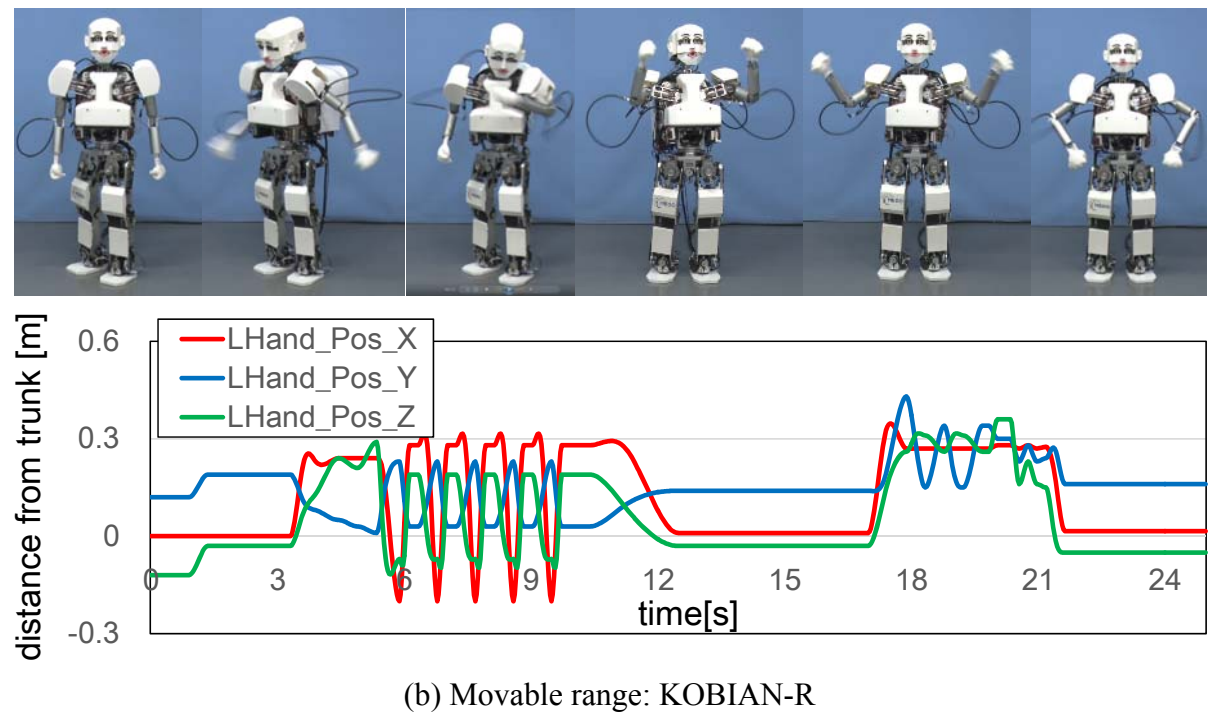
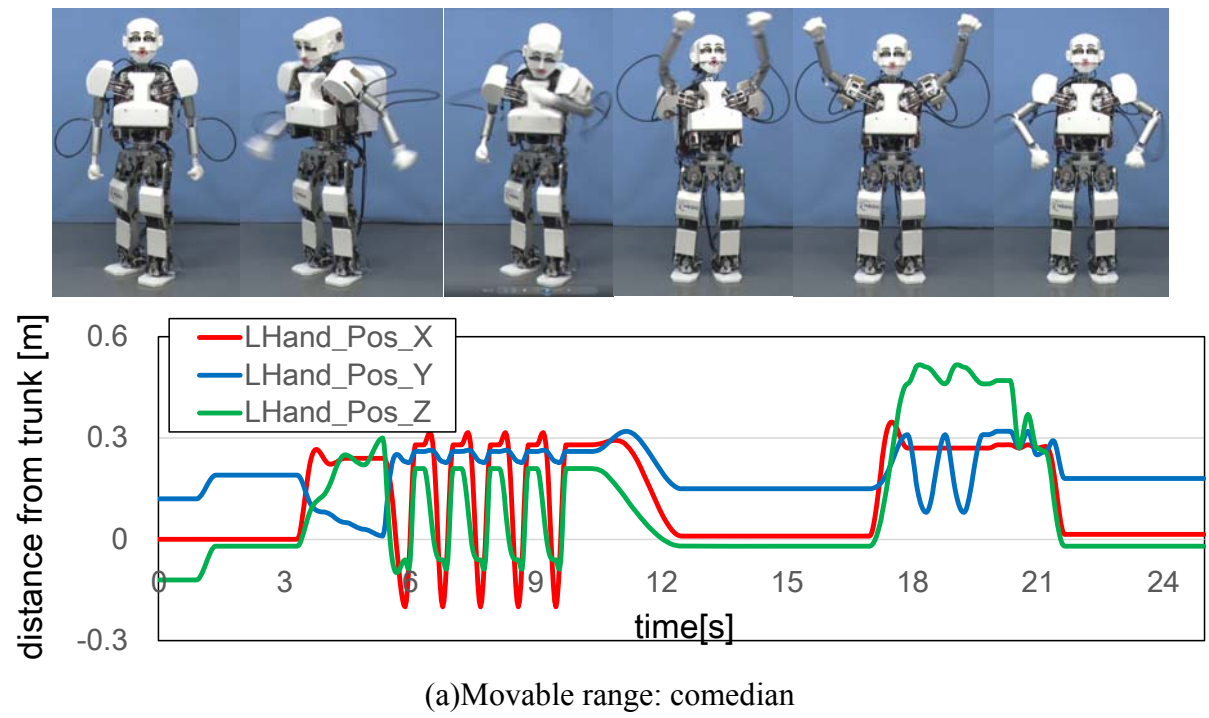
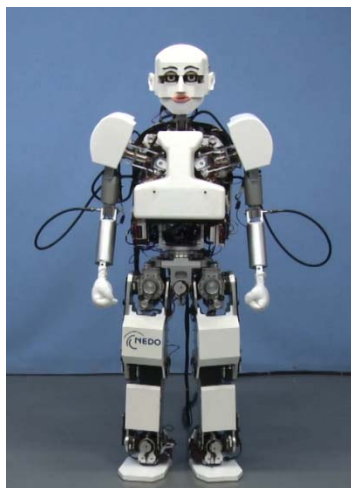
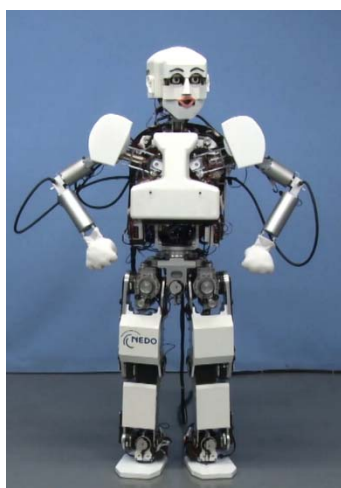


Fig. 3.58 Left hand trajectory on the skit “Janken”



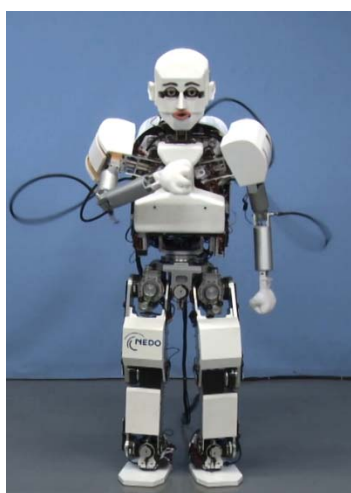
「あ、ああ」



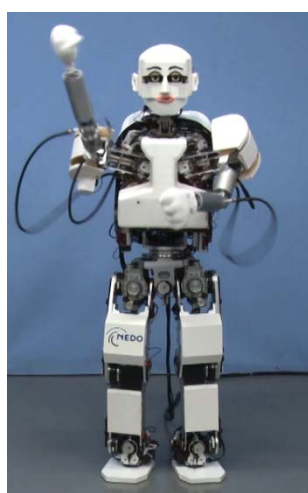
「そういうことか、
なるほどなあ」



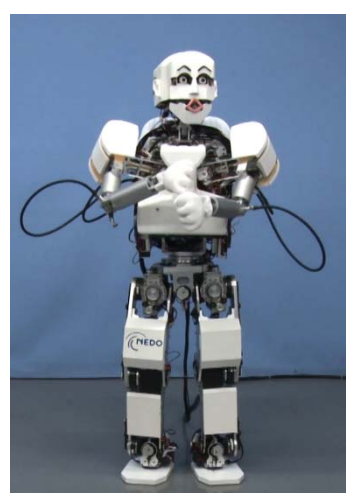
「なるほどな」



「なるほど」

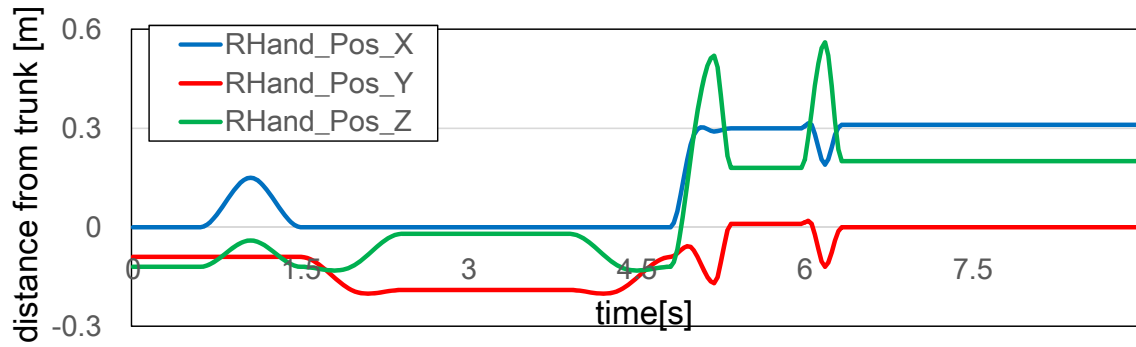
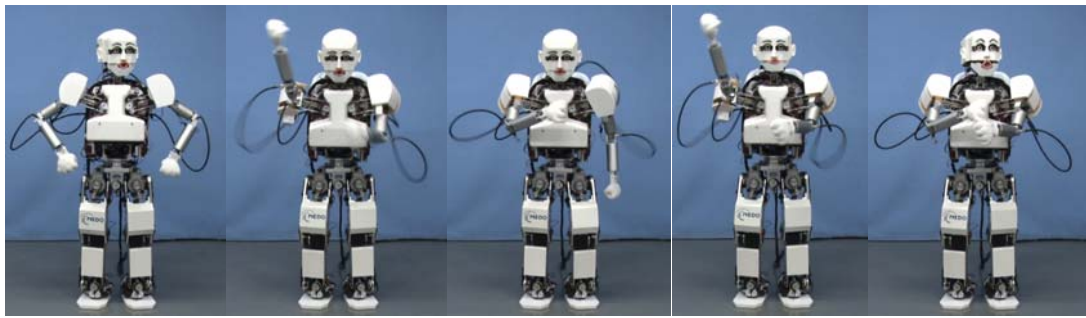


「なるほど」

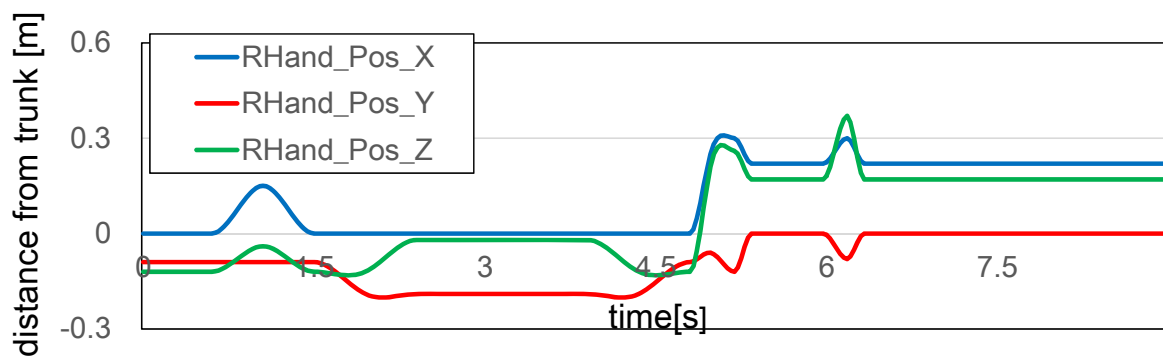


「なるほどな」

Fig. 3.59 Example of the skit “Naruhodo”

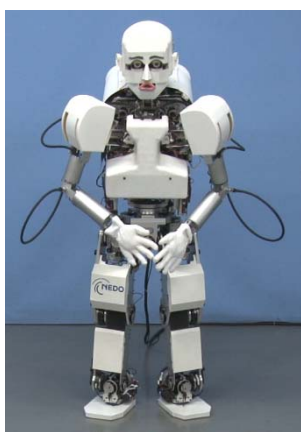


(a) Movable range: comedian

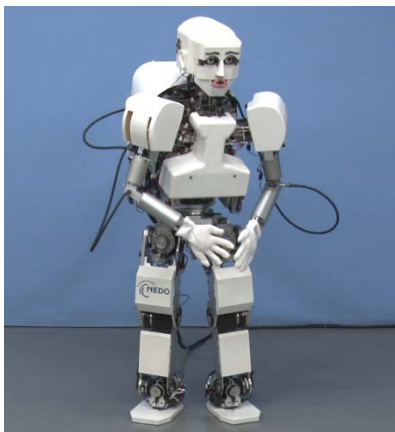


(b) Movable range: KOBIAN-R

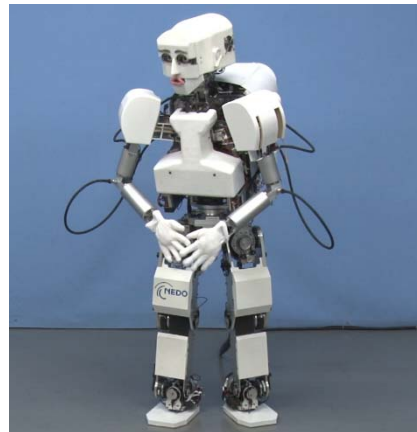
Fig. 3.60 Right hand trajectory on the skit "Naruhodo"



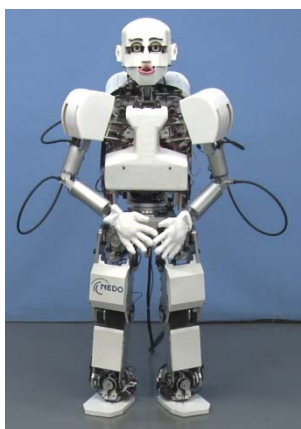
「こんにちは」



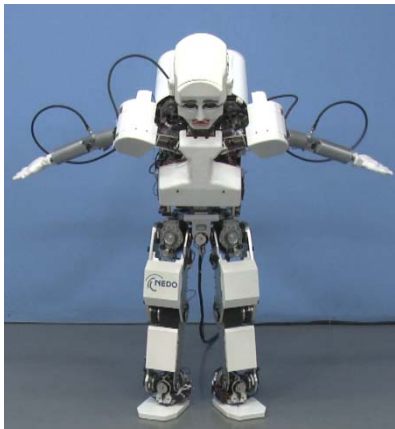
「元 AKB48 の前田敦子
です」



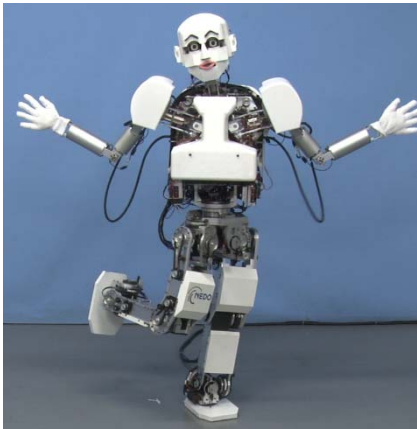
「大丈夫？真理子」



「皆さんに
お願いがあります」

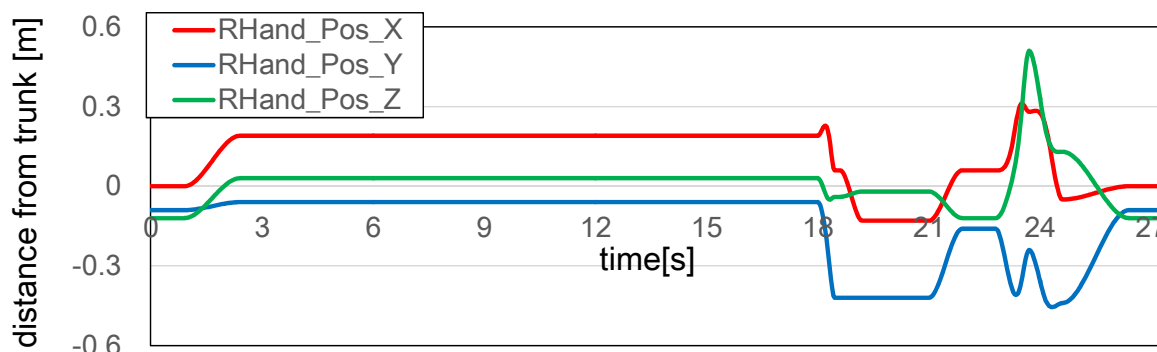
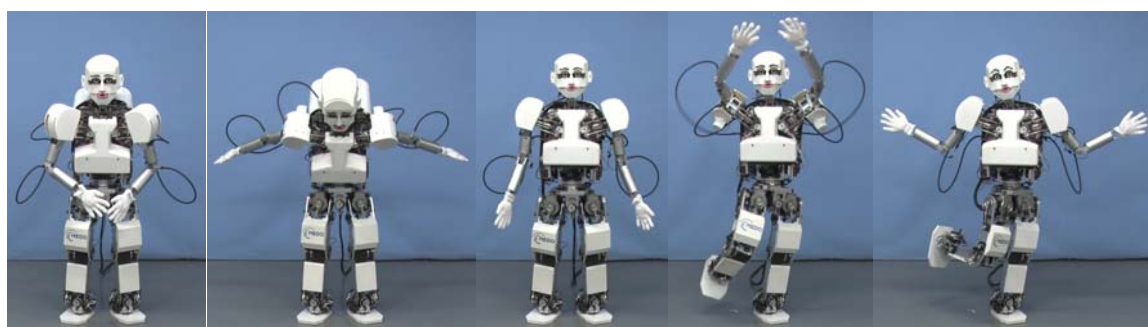


「本物の前田敦子は嫌い
に
ならないでください」

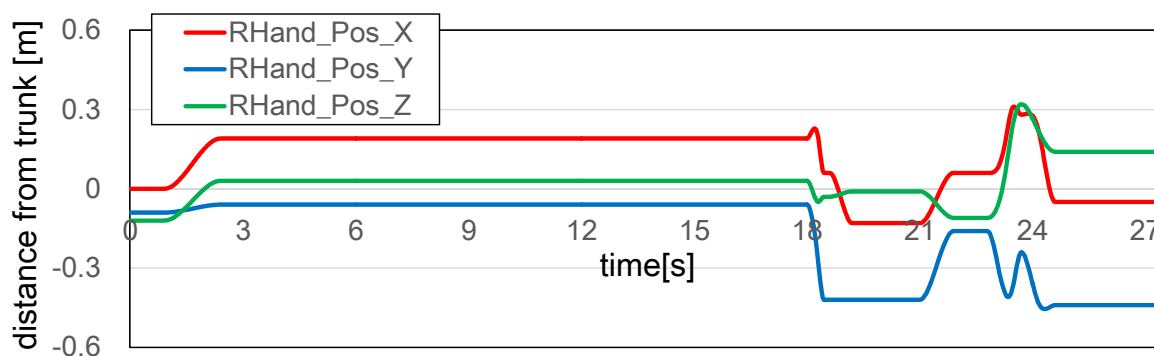
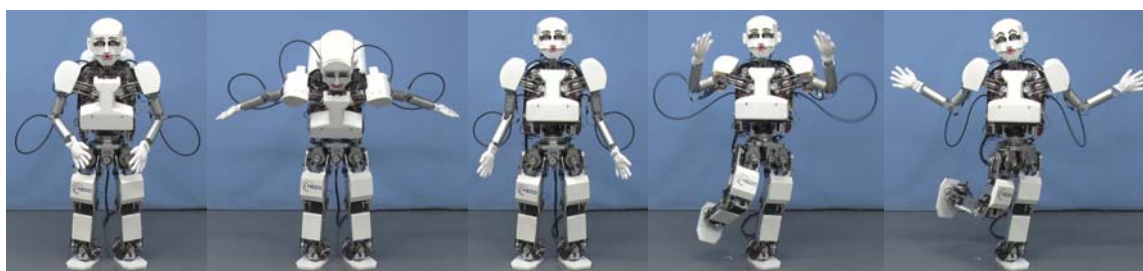


「フライングゲット」

Fig. 3.61 Example of a the skit “Imitation of old AKB48 member Atsuko-Maeda”



(a) Movable range: comedian



(b) Movable range: KOBIAN-R

Fig. 3.62 Right hand trajectory on the skit “Imitation of old AKB48 member Atsuko-Maeda”

ロボットの可動域・動作速度の変化による演技の印象の変化を調査するため、上記の3つのねた、4つの条件の合計12のねた動作をビデオに記録し、被験者に呈示してその印象を調べる方法で実験を行った。被験者にはそれぞれのロボットの動作を見た後でアンケートにより印象を回答してもらった。調査した項目は「面白さ」、「新鮮さ」、「躍動感」、「親近感」の4つとした。印象はそれぞれの評定語に対する印象の強さを1から4の4段階で評価してもらった。実験には18名（男性9名および女性9名、平均年齢23.3歳、S.D.8.02）の被験者が参加した。被験者にはそれぞれのロボットの動作を見た後でアンケートにより印象を回答してもらった。実験の結果をFig. 3.63に示す。まず、「誇張」の有無に対する印象の変化をみるために「速度：お笑い芸人と同等、可動域：お笑い芸人と同等」のねた動作と「速度：KOBIAN-Rの仕様により制限、可動域：KOBIAN-Rの仕様により制限」のねた動作に対する印象を比較すると、すべての項目で有意な差がみられた。

この結果は、ロボットが従来のロボットのように可動域が小さく、速度が遅い動作で演技を行うのに対し、可動域を大きく、速度を速くした「誇張」した演技を行うことで、ねた動作の印象のうち「躍動感」を高く、予想を裏切った動作の速さ・大きさにより「新鮮」な印象を与え、この結果有意に「面白い」印象を与えることがわかった。これは、ロボットが「誇張」した動作生成により動作の印象を面白く変化させ、笑い誘発刺激を生成することができることを示唆するといえるものであった。また、

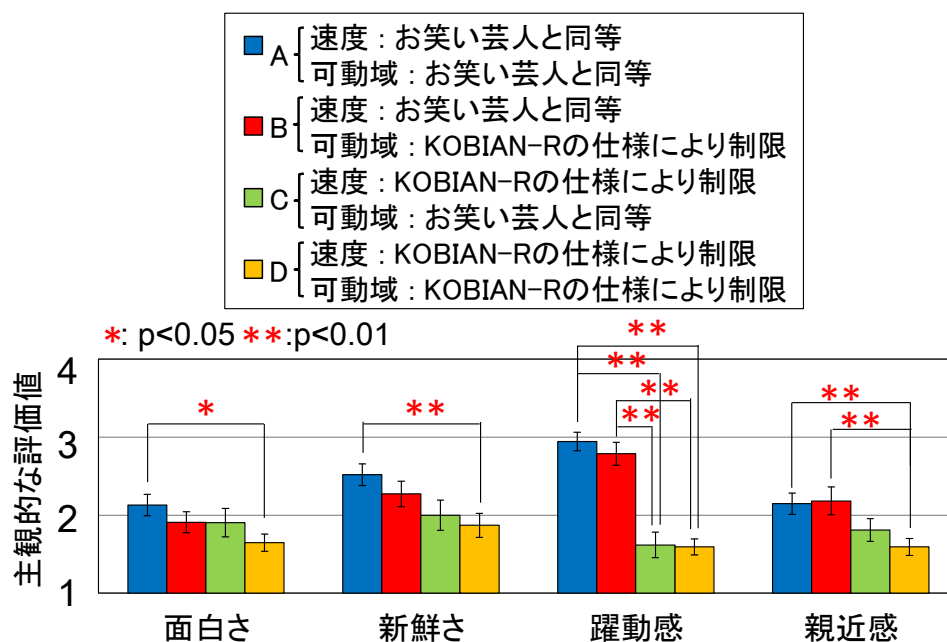


Fig. 3.63 Comparison among the impressions of the skits depending on speed and movable range. The difference of the scores were statistically analyzed by ANOVA and hater-fisher's improved method.

「面白さ」を有意に変化させたのが可動域と動作速度をどちらも誇張した場合のみであったことを考えると、動作によって「面白い」印象を与え、笑い誘発刺激を生成するためには動作の大きさと速さがどちらも重要であることがわかる。

さらに、ロボットの動作が速くなることで、ロボットの動作の印象が危険なものであると感じられ、これが面白さを減少させてしまうのではないかという危惧があったが、予測に反して動作を「誇張」して行うことは「親近感」の印象も有意に上昇させた。この結果は、ロボットが面白い動作を行うためには、ある程度高速な動作を行うことも容認されることを示していた。

以上の結果は、ロボットが笑い誘発刺激を生成するために「誇張」した動作を行うことが有効であることを示すだけでなく、本研究を通じて実施された広い可動域を持ち、高速な動作を実現させるロボット腕部の開発の有効性を示すものでもあった。

また、速度の誇張表現による印象の変化をみると、速度が速い2つのねた動作は、速度の遅い2つのねた動作に比べ、有意に「躍動感」が高い印象を与えており、動作速度は躍動感の印象に大きな影響を与えることがわかった。さらに、前述のように笑い誘発刺激を生成する場合には、むしろ動作速度が速い方が「親近感」の高い印象を与えることがわかった。

3.6.3 人間のお笑い芸人を越えた「誇張」表現が面白さに与える影響

前節のように、ロボットがお笑い芸人と同等の「誇張」した動作を行うことは、印象を面白く変化させ、笑い誘発刺激を生成するうえで有効であることがわかった。一方で、ロボットの全身動作において「誇張」した表現を行うためには、動作の特徴をさらに極端に変化させることが有効であると考えられる。本節では前節に続き、ロボットの動作の特徴を変化させることによる「誇張」表現を、お笑い芸人の「誇張」の程度を超えて行うことによって、さらに面白い印象を与え、笑い誘発刺激生成のために有効な特徴を得ることができるかを検証するために行われた実験について述べる。

前節において、ロボットの動作の特徴のうち「動作の大きさ」と「動作の速さ」を変化させることによる「誇張」表現によってロボットの動作の印象が面白く変化することが確認された。ここで、「動作の大きさ」については、お笑い芸人はすでに体を一杯に使ってねたを表現しているため、お笑い芸人のねたを超えた「誇張」の程度を実現することは難しかった。一方、「動作の速度」に関しては、理論上さらなる「誇張」の可能性のあるものと考えられた。このため、本節ではお笑い芸人のねた中の「速度」を、お笑い芸人の程度を超えて「誇張」することで面白い印象を与えることができるかを検証することとした。類似した先行研究としてロボットの動作の最大速度による

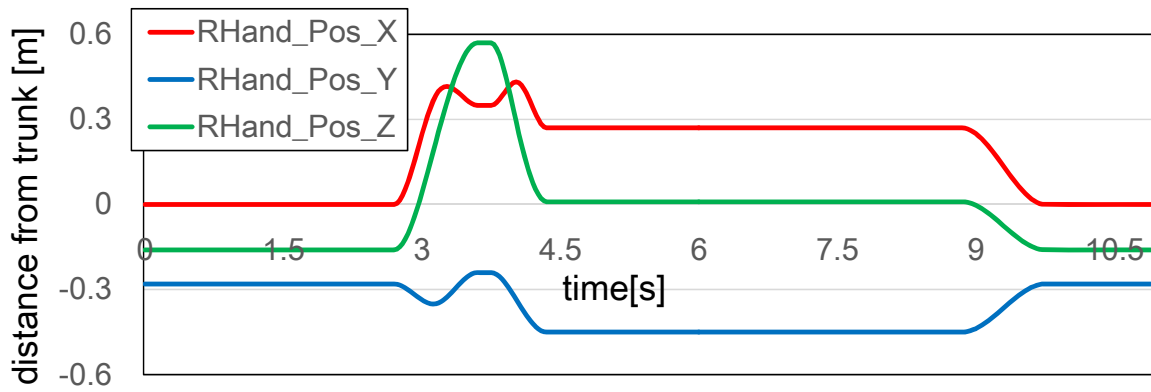
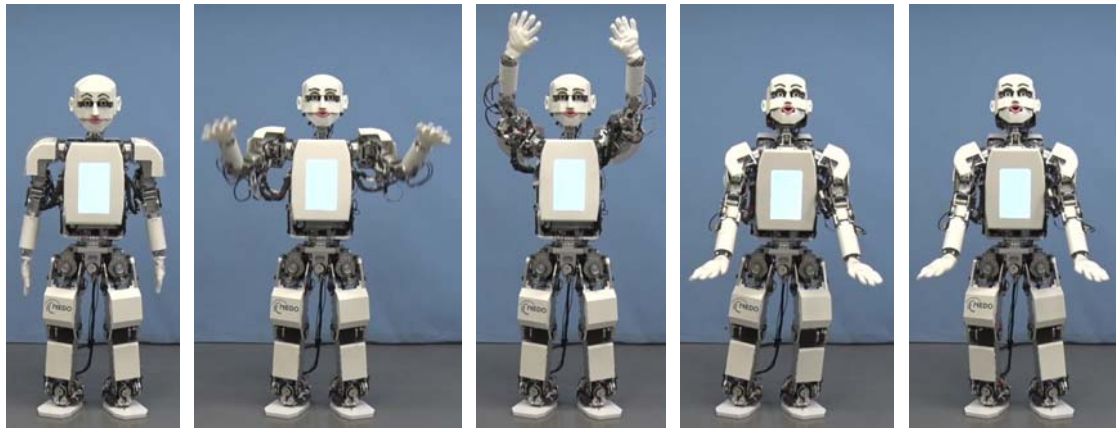
「人間らしさ」の変化を調査したもの[59]などがあるが、「面白さ」を直接検討したものはなかった。

さらに、単に高速なねたを1つ作成して印象を評価するのではなく、ロボットの刺激の定量的な変化に対する印象を調査するため、速度を段階的に変化させて印象を比較することとした。実験には被験者34名（男性19名・女性15名、平均年齢20.0歳、S.D 1.69）が参加した。実験に使用したお笑い芸人のねたを以下に示す。

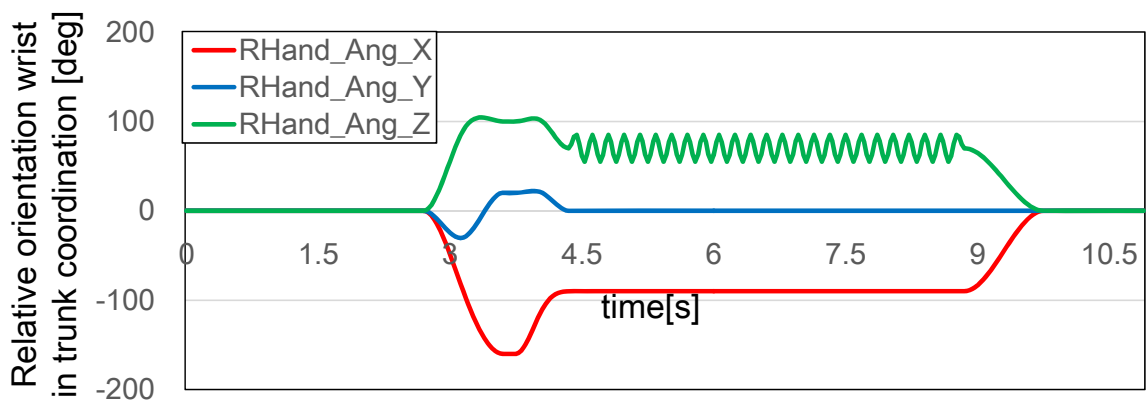
1. ワッキー “芝刈り機のものまね” （株式会社よしもとクリエイティブ・エンジェンシー）
2. 「肩付け根Roll軸を大きく上下させる」動作

それぞれのねた中のロボットの動作を Fig. 3.64, Fig. 3.65 に示す。

まず、これらのねたを行うロボットの動作を動画で撮影した。ロボットの動作速度による印象の違いのみを確認するために、動画の音はすべて削除した。さらに動画の再生速度を1倍、2倍、3倍、1/2倍、1/3倍の5種類に変化させ2つのねたの合計で10種類の動画を作成した。評定語は「面白さ」「新鮮さ」、「速さ」とした。これらの動画を被験者にランダムに見せた後、各動画における評定語に関する印象の強さをVAS（Visual Analog Scale）に回答してもらった。

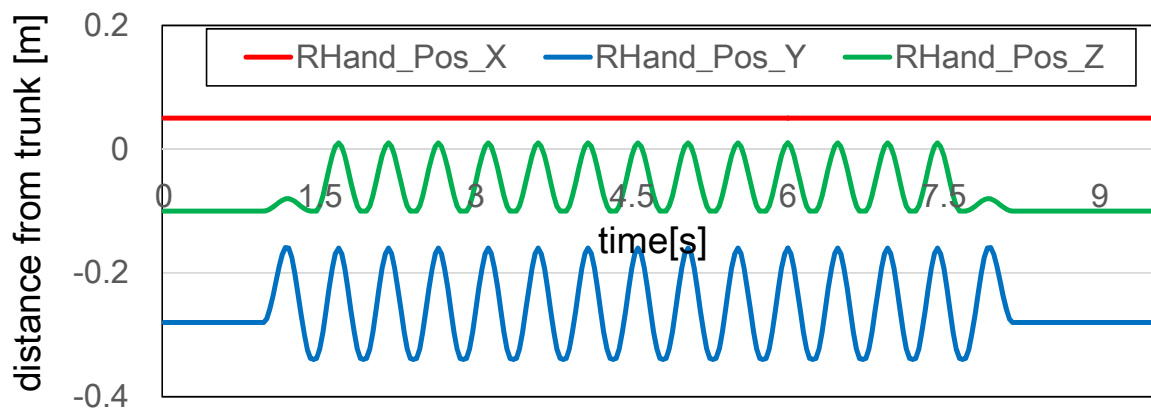
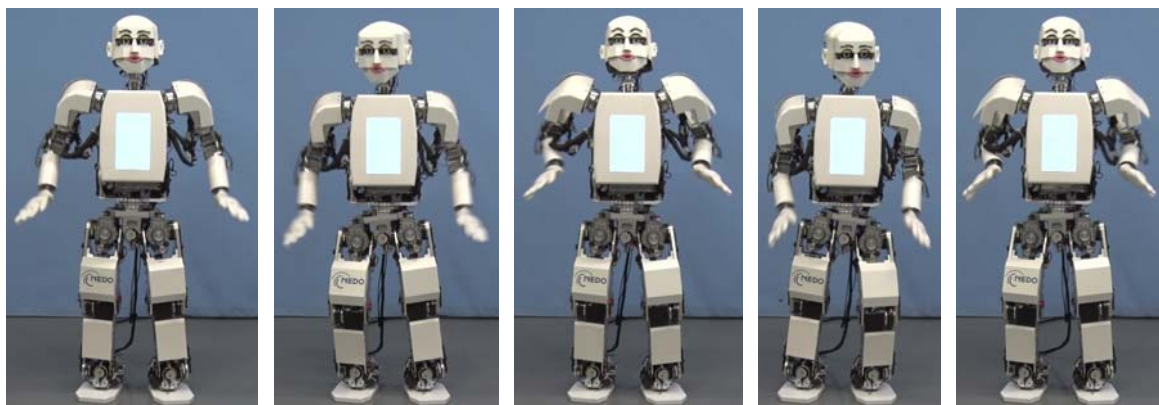


(a) Position of right hand

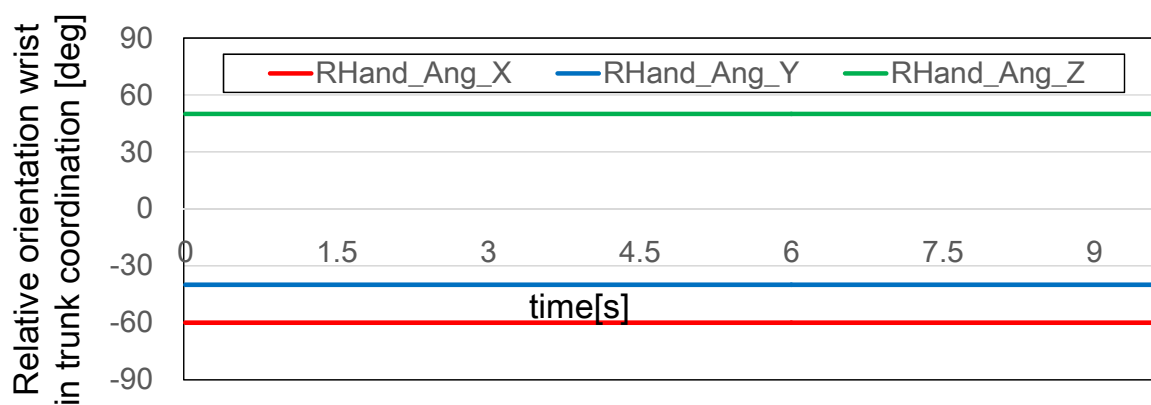


(b) Orientation of right hand

Fig. 3.64 Right hand trajectory on the skit "Imitation of lawn mower"



(a) Position of right hand



(b) Orientation of right hand

Fig. 3.65 Right hand trajectory on the skit “Large up-down motion of shoulder base Roll”

(a) 動作速度と主観的「速さ」の関係

被験者が感じた主観的な「速さ」を Figure 3.66 に示す. この結果から, 動作速度「1/2 倍・1/3 倍間」と「2 倍・3 倍間」以外で被験者の感じる速さに有意な差がみられ, ロボットの動作速度を変化させると被験者に異なる刺激と認知されることがわかった. ここで感覚・知覚心理学においては刺激が非常に小さい, または大きい場合には人間の刺激に対する感覚の程度は刺激の大きさに対し比例せず最大値, または最小値に収束する S 字型の非線形な曲線を描き, 変化を過小評価する範囲が存在するとされる [60], [61]. これが今回の実験における高速動作による視覚刺激の知覚にもあてはまり, 動作速度「1/2 倍・1/3 倍間」と「2 倍・3 倍間」は刺激の変化に対し, 知覚の変化の程度が小さくなったため有意な差が生じなかったと考えられる.

(b) 動作速度と「面白さ」・「新鮮さ」の関係

次にロボットの動作速度の変化によって生じる被験者の予想とのズレの大きさの変化により被験者が感じた「面白さ」がどのように影響を受けるのかを確認した. まず, ズレの大きさを評価するための評定語である「新鮮さ」と「面白さ」の動作速度に対する変化の傾向は類似していた(Fig. 3.67). このため, これらの評価値の相関を検討した結果, 被験者の感じる主観的な「新鮮さ」(ズレ)と「面白さ」の評価値の間には高い正の相関が認められた ($r=0.71$, $p<0.01$) (Fig. 3.68). この結果はロボットの動作速度の変化により被験者の予想とのズレの大きさが変化し, これが「面白さ」に寄与していることを示すものである.

動作速度の異なるねた動作の主観的な「面白さ」の間には有意差がなかったものの, 動作速度を 2 倍にすると 1 倍に比べ「面白さ」が上昇し, 動作速度を 3 倍にすると減

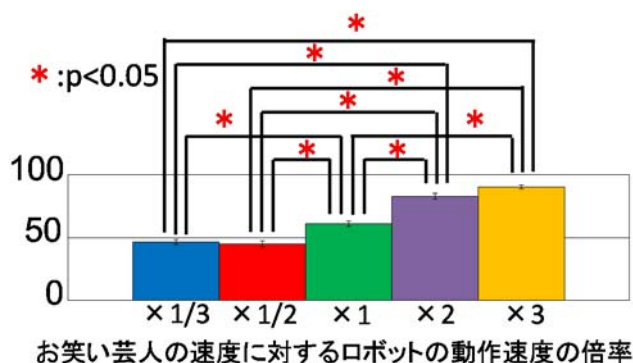


Figure 3.66 Robot's speed and subjective "Speed". The scores were statically analyzed by ANOVA and Fisher's Least Significant Difference Test

少する傾向がみられた。

一方動作速度を 1/2 倍にすると「面白さ」が 1 倍に比べ低下するものの 1/3 倍とすると逆に上昇する傾向がみられた。このような印象が生じた理由として、まず「面白さ」・「新鮮さ」が最も低いことから、1/2 倍速の動作が被験者にとって最も認知的予期に近く予想とのズレを感じない基準であると考えられる。そして、基準となる 1/2 倍速から動作を速くしたり遅くしたりすることで、予想とのズレが生じ、「面白さ」を感じると思われる。したがって、ロボットが人間の芸人と同じ速度である 1 倍速でねたを行うことはそもそも被験者にとっては主観的に「速い」動作と認知されているといえる。一方、動作速度が 3 倍速になると、ロボットの細かい動作を認知できなくなり被験者の予想とのズレが減少し、「面白さ」が低下したと考えられる。同様に動作速度が 1/3 倍速になると、今度はねた動作が予想よりも遅すぎることで予想と現実とずれを生み、面白い印象を与えると考えられる。これらをまとめると、予期される動作速度と実際の速度の差異を大きくしていくと最初は「面白さ」が上昇するが、ある

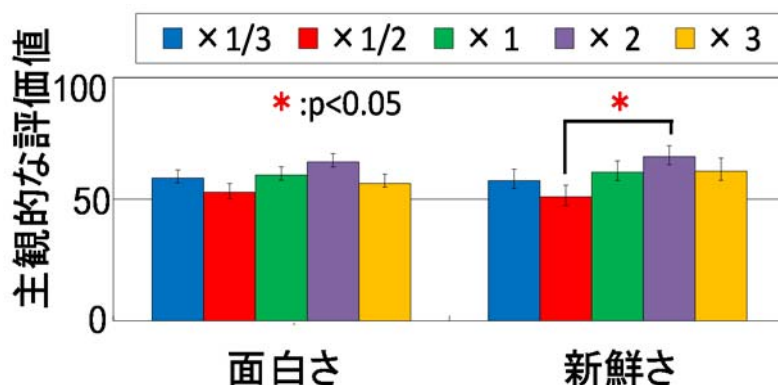


Fig. 3.67 Robot's speed and subjective funniness. The scores were statically analyzed by ANOVA and Fisher's Least Significant Difference Test

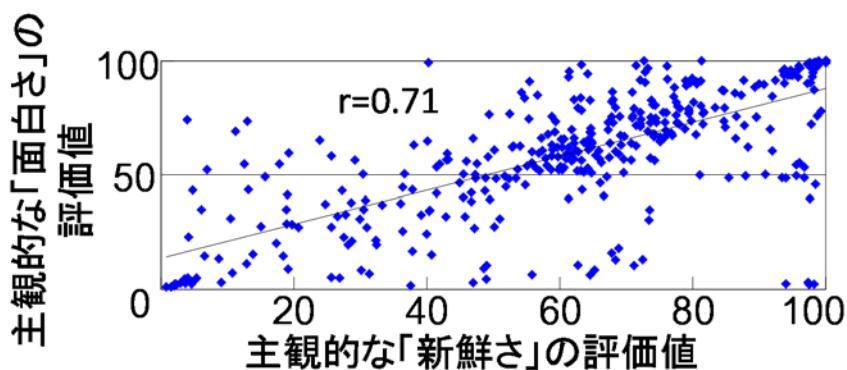


Fig. 3.68 Relationship between funniness and freshness

点でピークに達し、さらに差異を大きくすると、動作が速すぎたり遅すぎたりすることがかえって動作の認知に影響を及ぼし、「面白さ」が低下すると考えられる。さらに、本実験でロボットがネタ中の動作速度を「誇張」して段階的に変化させると、これに伴って被験者の主観的な「面白さ」も段階的に変化することがわかった。この結果は、ロボットが動作の特徴を変化させることで、定量的な笑い誘発刺激を生成することができることを示したものであると考えることができる。

ここで、本研究を通じて開発された KOBIAN-RIV の腕部は本実験で用いたネタ動作を 2 倍速で実現可能な仕様を有している。このことは KOBIAN-RIV の腕部が人間の笑い誘発に十分な動作速度を持つことを示している。

3.7 まとめ

本章における研究は、以下の 2 点を目的に実施された。1 点目は「誇張」した表現に対応したロボットのハードウェアの開発である。

2 点目は「誇張」方略に基づくロボットの動作生成による定量的な笑い誘発刺激の生成と評価である。

まず、1 点目の「誇張」した表現に対応したハードウェアの開発に関してまとめる。本研究では、特に、全身動作を構成する要素のうち、特に表現のために重要である表情と腕部に誇張した表現能力を持たせることとした。まず、本研究におけるハードウェア開発のベースとなるロボット KOBIAN-R に関し、問題点をまとめた (3.2 節)。KOBIAN-R の腕部は可動角・速度ともに人間よりも低い性能しか持たず、KOBIAN-R の頭部は十分な感情の表現能力を持たなかった。これらは KOBIAN-R が人間の笑い誘発刺激の生成のための動作生成による「誇張」表現に対応できないことを示していた。このため、これらの問題を解決するためのハードウェア開発を行った。ロボット腕部に関しては、お笑い芸人のネタ中の腕部の速度・加速度を計測し、これらを要求仕様とした。ハードウェアの開発は 2 つの段階を経て行われ、まず肩付け根関節から肘関節までの高速動作に対応したプロトタイプとして KOBIAN-RIII を開発した。次に手首関節までの高速動作に対応し、KOBIAN-RIII で問題となっていた外観を修正した KOBIAN-RIV を開発した (3.4 節)。ロボット頭部に関しては、漫画表現にみられるマークによる表現である「漫符」を用いることで、感情表現を誇張して行う能力を付加した (3.5 節)。これらによって、表情と腕部の動作により全身動作を「誇張」して表現可能なハードウェアを開発した。

次に、2 点目の「誇張」方略に基づくロボットの動作生成による定量的な笑い誘発刺激の生成と評価に関してまとめる。本章の研究では、2 つの段階を経て「誇張」方

略に基づいた動作生成と評価を実施した。まず、第1の段階として、人間の芸人と同等の「誇張」の度合いを持つ速度・動作の大きさによってロボットを動作させた際、これよりも遅く・小さい従来のロボットの動作と比べ、その印象がどのように変化するかを調査した。この結果、ロボットの動作生成において速度と大きさを「誇張」する表現は主観的な面白さを有意に上昇させることがわかった。(3.6.2節)。次に、第2の段階として、人間の芸人のネタを、元のネタを超えた「誇張」の度合いで表現させることで、被験者が感じる印象がどのように変化するかを調査した。この実験では、動作の特徴として調整可能な範囲の大きい「速度」を変化させて印象を調査した。この結果、ある速度を基準として、ロボットの動作速度がこれより速くなっても遅くなっても被験者が感じる主観的な面白さが上昇する点があることが確認された。この点は被験者の予想とのズレが最も小さくなる点であると考えられ、この点を境にロボットの動作速度を段階的に速くしたり、遅くしたりすることで「誇張」の程度を変化させると、被験者の主観的な「面白さ」の印象も段階的に変化していくことがわかった。この結果は、ロボットの「誇張」した動作生成によって定量的な笑い誘発刺激が実現可能であることを示すものであった(3.6.3節)。

第4章 「矛盾」方略に基づく行動生成と評価

- 4.1 はじめに
- 4.2 気質に基づく動作生成
- 4.3 「矛盾」方略に基づくロボットの行動生成と評価
- 4.4 まとめ

4.1 はじめに

本章では第2章で提案した「笑いの方略」に基づくロボットの全身動作を面白く変化させるモデルのうち、「矛盾」の方略に従って状況と「矛盾」した「行動生成」を伴うロボットの全身動作によって、定量的な笑い誘発刺激を生成できるかを検証する。ここで、状況とロボットの行動の「矛盾」の度合いを定量的に調整するためには、同じ状況に対してロボットの行動を「矛盾」していないものから「矛盾」したものまで、連続的に変化させる要因が必要となる。

ここで、ロボットに「キャラ」を演じさせることがこの要因になり得ると考えた。（「キャラ」とは、他人から判断される性格のことで、演じることもできるものである[62]。本研究でも「キャラ」を「演技上の性格」という意味で用いる。）例えばネガ

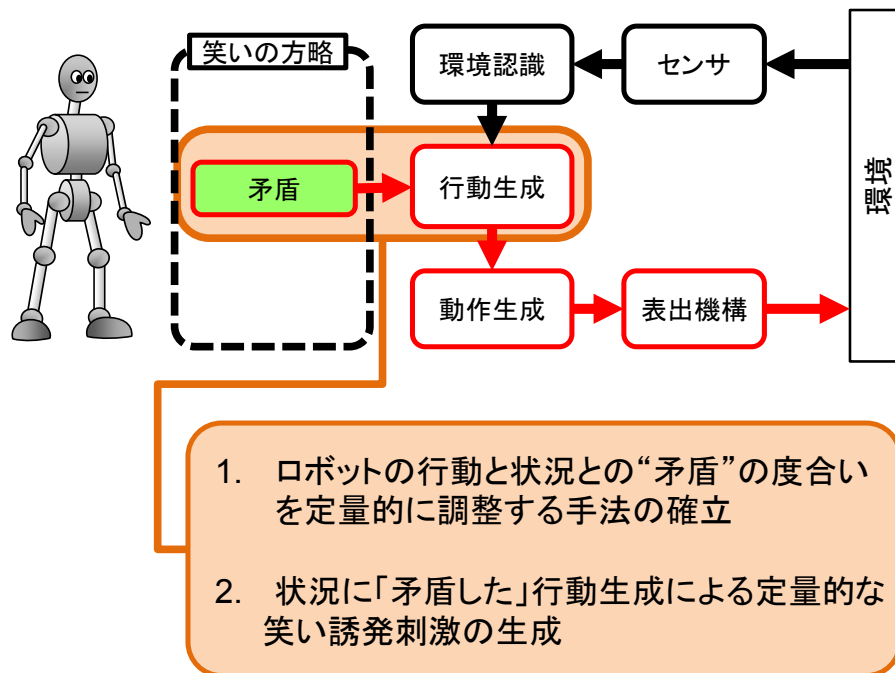


Figure 4.1 Points to be solved in order to achieve “Contradictory” behavior

ティブな刺激が印加された際、通常予測されるのは痛がったり、嫌がったりするネガティブなリアクションである。一方、ポジティブなキャラであれば逆に痛みを伴う刺激を楽しむリアクションを返したり、反応の薄いキャラであれば無反応なリアクションを返したりする。このように、同じ状況に対しロボットの「キャラ」を変化させることで、状況に対する様々な「矛盾」した度合いの行動が生成されると考えた。

また、これらの状況との「矛盾」は「キャラ」を通じて理解が可能なものである。あまりに意味不明な刺激を呈示すると、人間は予想とのズレが大きすぎて理解ができず、笑いを生じない。この理解が可能な矛盾した状況を生成できるという特徴は、笑いを導く刺激としては大変重要な特徴であると考えられる。

さらに、「キャラ」は定量的に定義しやすいという特徴も持つ。心理学において人間の性格を構成する要因を説明するモデルが多数提案されており、これらの要因とロボットの動作の関係を定義することで、定量的な特徴を持つ「キャラ」の生成が期待できると考えられた。

以上から、ロボットの演じる「キャラ」を定量的に変化させることで、状況とロボットの行動の矛盾性を調整し、定量的な笑い誘発刺激を生成することが期待できると考えられた。したがって、本章における研究の目的は以下の2点である。

1点目はロボットの動作によって「キャラ」を演じさせる手法の確立である。

2点目は「キャラ」の演技によって状況と「矛盾」したロボットの全身動作を生成することにより、定量的な笑い誘発刺激を実現させることである。

4.2 気質に基づく動作生成

上述のように、本研究では置かれた状況との矛盾性を調整する手段としてロボットに「キャラ」を演じさせることとした。このためには、ロボットの動作生成によって人間から目的の印象を持つ「キャラ」を知覚される演技を実現させる必要があった。

4.2.1 キャラ表現の利用

これまでロボットのキャラに関連した研究には、いくつかの報告例がある。例えば、Wachsmuthらは人間型の頭部ロボット Flobi の外装を男性的、女性的にすることで、ロボットの性差から生じる観察者の印象の変化を調査している[63]。三輪らが開発した情動表出ロボット WE-4RII も外界からの刺激がロボット自身の感情モデルに与える影響の程度を変化させて個性を表現することができる[64]。しかし、これまでロボットに動作によって特定の印象を持つキャラを演じさせることをめざした研究は報

告がない。

本研究ではロボットが表現するキャラを定義する指標として心理学における人の気質という概念に注目した。これは、気質が人間の性格の根幹に位置する先天的な性質であるとされているため、気質に基づいたキャラ表現は観察者が受ける印象の違いを明確にできると考えたためである。心理学における人間の気質の傾向に関する先行研究にビッグファイブ理論と呼ばれるモデルがある。ビッグファイブ理論は気質を「開放性」、「誠実性」、「外向性」、「協調性」、「神経症傾向」の5つの傾向によって分類したモデルである。本研究では、これらの傾向のうち、長期間のインタラクションを伴わなくても認知して理解できる「外向性」、「神経症傾向」によって定義されるキャラをロボットに演じさせる。これらの2つの気質の傾向は同じく気質の傾向に関する理論として知られる H. J. Eysenck によるパーソナリティの生物社会モデル[65]との共通部分でもある。ここで、「外向性」は社交性や攻撃性を表し、「神経症的傾向」は不安や動揺などのネガティブな感情への転移しやすさを表すとされる。本研究ではこれら2つの気質の傾向それぞれの大小から分類できる4つの仮説的空間をそれぞれに当てはまる代表的な形容詞を使い「神経質」、「悲観的」、「穏やか」、「社交的」と名付け、これらに対応したキャラ表現をロボットの動作生成によって実現させることとした (Figure 4.2)。

4.2.2 ロボットの動作によるキャラ表現

気質の傾向に基づいたキャラをロボットの全身動作で表現するため、人間の気質の傾向と動作の関係を文献から調査した。まず、Massrieh らは観察によって、外向性が高い人は後傾の姿勢、外向性が低い人は前傾の姿勢を取りやすい傾向があることを報告している[66]。また、Eysenck は人間は外向性に応じて刺激に対する積極性と、刺激に対する興奮の程度が変化することを指摘している。具体的には外向性が低い人は

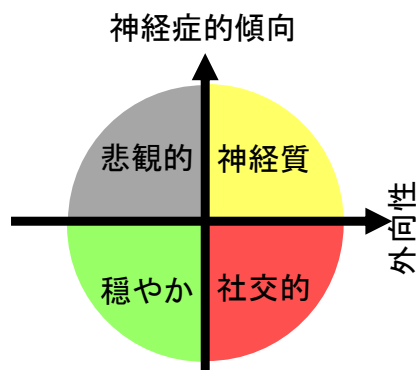


Figure 4.2 Definition of characters based on temperamental traits

新たな刺激に消極的で、刺激に対しての興奮は強く、逆に外向性が高い人は積極的に刺激を求め、興奮は弱いとされる。これらの報告に基づきロボットの動作においては気質の傾向に応じてロボットの「姿勢」、新たな刺激に対する積極性をロボットの動作の「速さ」、興奮の程度をロボットの動作の「速さ」と「大きさ」で表現できると考えた。これらの動作の特徴が実際に気質の傾向の表現に有効であるかを検討するため、特に「姿勢」と「動作の速さ・大きさ」に注目して役者の演技を解析した。

(a) 扱う演技

キャラによる表現の内容は、演技者が置かれる状況によって大きく変化することが予想された。将来的には全ての状況に対応できるキャラのモデルを構築することが望ましいが、本研究ではキャラ表現をロボットに導入する第一歩としてロボットの置かれる状況を具体的に固定し、この中で最適なキャラ表現を実現させることを目指すこととした。この際、設定すべき状況は以下の2点の特徴を満たすことが必要であった。

1. 気質の傾向に基づくキャラ表現を活かせること
2. ロボットの動作を見た実験参加者が面白さを感じる事が期待できること

これらの特徴を考慮し、脚本家と演技指導者の協力を受けて本研究で扱うロボットの演技を検討した。この結果、本研究ではロボットが置かれる状況としてバラエティ番組でみられる中身が見えない箱に手を伸ばし、箱の中身から何らかの刺激を受けてリアクションを取る「箱の中身はなんだろう」の演技を選択した。本研究では特に箱の中に触ると痛みを感じるものが入っているにもかかわらず、中身を調べなくてはならない、という状況を設定した。この状況は通常であればネガティブな反応が予想されるものであるが、この状況に対し「キャラ」の違いに応じた様々な反応を演じさせ、これによって状況との矛盾性を変化させることとした。

(b) 気質の傾向に応じた姿勢の変化

各キャラに典型的な身体表現としての姿勢を決定するため、プロの役者3名（男性2名、女性1名）に4つのキャラを誇張して表現した静的な姿勢を取ってもらい、写真に撮影した。例を Fig. 4.3 に示す。これらの表現には以下の特徴があった。まず、「社交的」の表現では体幹が後傾し、肘が内側に入り、肩が後ろに開くことで、全身が開いた姿勢となる。逆に「悲観的」の表現では体幹が前傾し、肘が外側に張り出し

て全身が閉じた姿勢になる。さらに、肩は「悲観的」の表現では下がり、「神経質」の表現では上がる。これらを各キャラを表現するための基準の姿勢のとした。

(c) 気質の傾向に応じた動作の変化

動作の速度や大きさなどの特徴に表れる気質の傾向の影響を検討するため、3名の役者に「箱の中身はなんだろう」を4つのキャラに基づいて演技してもらった。この際、動作の特徴のみを比較するため、役者間で演技中の行動がまったく異なったものにならないよう、事前に舞台監督との相談を通じて役者の台本を統制した。その際台本は動作の特徴を制限しないよう、演技の各段階での感情と行動の内容のみで構成した。また、台本中の行動の各段階は全てのキャラで揃えた。台本の要約を Table 4.1 に示す。この際、台本中の感情の変化に関しては Eysenck の研究を参考に決めた。具体的には外向性が高い人は感情の「覚醒度」が高くなりやすく、神経症的傾向が高い人は「快度」が高くなりやすい特徴からそれぞれのキャラで偏りやすい感情(悲観的：悲しみ、神経質：怒り、穏やか：無感情、社交的：喜び)とした。また、役者の演技開始時の姿勢は 4.2.2(b)節で決定した各キャラに対応した基準となる姿勢とした。役者の演技を抜粋し、台本との対応を Fig. 4.5, Fig. 4.6, Fig. 4.7 に示す。これらを見ると、箱の中に痛みを感じるものが入っているという状況に対し、「悲観的」・「神経質」では状況と矛盾しないネガティブな演技が見られた一方、「穏やか」では反応が薄く、

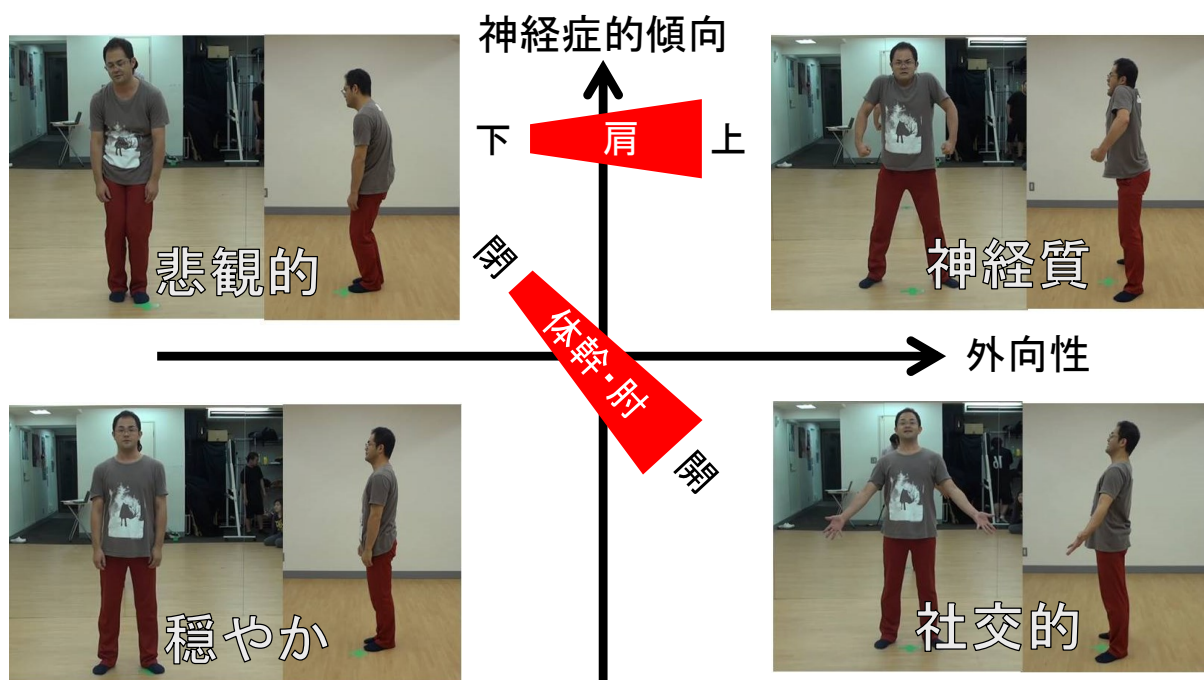


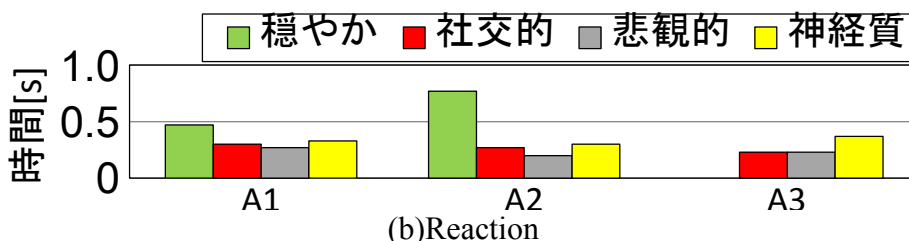
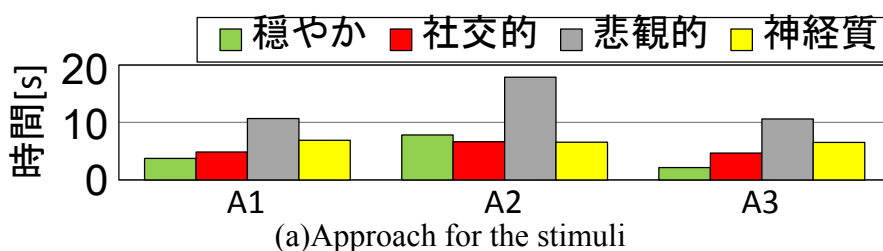
Fig. 4.3 Postures for four characters performed by actor

「社交的」では楽しそうな演技となった。これらは状況には矛盾しているが、演技から役者が「穏やか」なキャラ、「社交的」なキャラを持つことが読み取れることで、「キャラ」を通じてなぜそのような行動を取っているかは理解できるものである。このように、「キャラ」という概念を導入することで、状況と矛盾し、かつ理解が可能な演技が作成されたことがわかる。

役者の演技は正面と横から動画で撮影された。動作の速さや大きさの特徴を抽出するため、画像から位置情報を解析するソフトウェア（WINalyze）を用いて手先位置の動画フレームごとの位置を各キャラ間で比較した。3名の役者間で細部の表現はばらばらであった。このため、3名の役者の行動に共通している刺激に対し手を伸ばし

Table 4.1 Script for the character expressions

段階	穏やか	社交的	悲観的	神経質
開始時	無感情	無感情	無感情	無感情
箱へ手を伸ばす	感情は表に出ない	わくわくし 楽しくなる	恐れる	怒りが沸く
刺激への反応	無反応	社交的に驚く	悲観的に驚く	神経質に驚く
中身を探る	無反応のまま触る	中身がわかり 始め喜ぶ	恐る恐る探る	怒りながら探る
中身がわかる	反応は薄い	中身がわかり 歓喜	トゲが痛くて 悲しむ	トゲが 痛くて激怒



(We can't find clear reaction by A3 for "Phlegmatic (穏やか)" character)
A1-A3 means the number of actor

Fig. 4.4 Time of each action by four characters

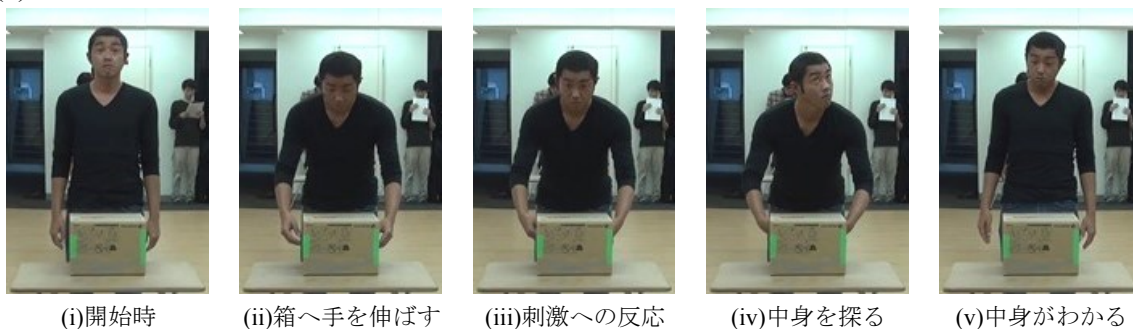
てアプローチする行動、刺激に触れて手を引くリアクションの行動に関し動作の特徴を解析した。まず、「刺激へのアプローチにかかる時間」、「リアクションにかかる時間」を比較した。結果を Fig. 4.4 にまとめる。

この結果から、まず「刺激へのアプローチにかかる時間」は「悲観的」の表現で長く、それ以外の表現で短い傾向があった。次に「リアクションにかかる時間」は「穏やか」で長い傾向があった。さらに、「リアクションの大きさ」に関する解析を行ったところ、「穏やか」のリアクションが他のキャラに比べて小さく、それ以外のキャラ間には明確な差はなかった。

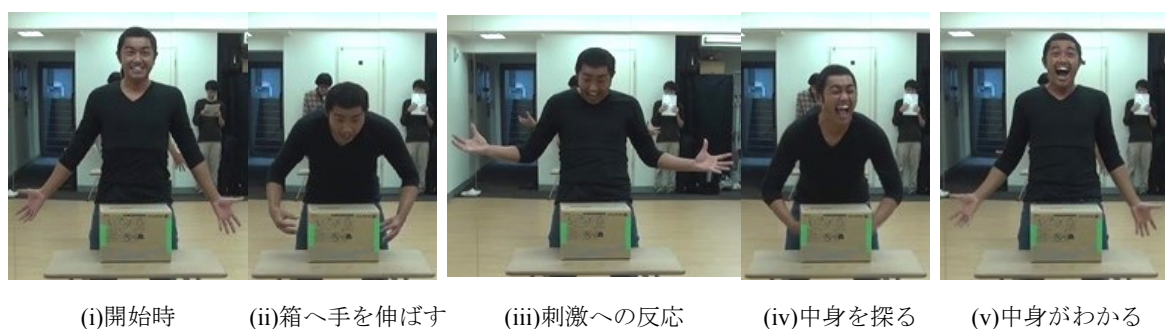
また、演技中、役者はほとんど表情をそれぞれのキャラで偏りやすい感情（悲観的：悲しみ，神経質：怒り，穏やか：無感情，社交的：喜び）に固定していた。

役者 A1 (男性)

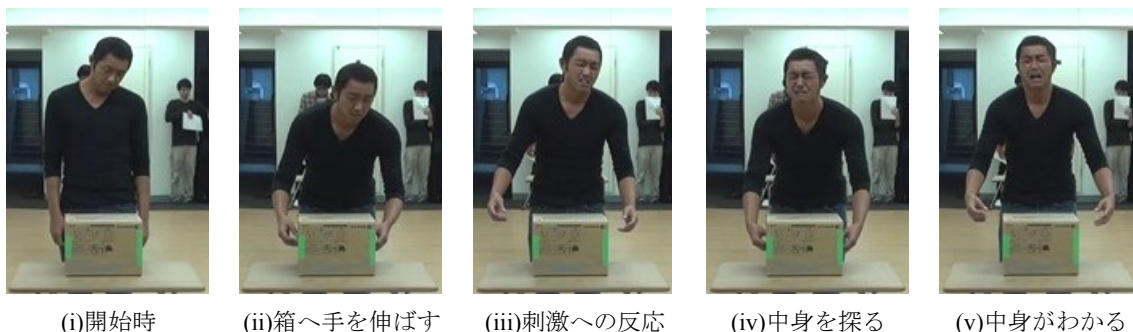
(a) 穏やか



(b) 社交的



(c) 悲観的



(d) 神経質

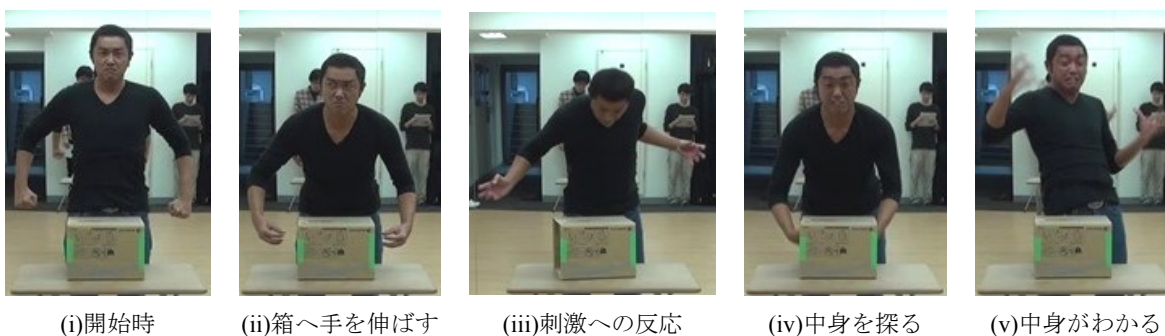


Fig. 4.5 Performance of “What’s in the box?” by actor A1

役者 A2 (男性)

(e) 穏やか



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

(f) 社交的



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

(g) 悲観的



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

(h) 神経質



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

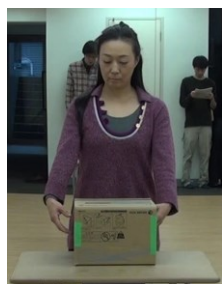
Fig. 4.6 Performance of “What’s in the box?” by actor A2

役者 A3 (女性)

(i) 穏やか



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす

なし

(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る

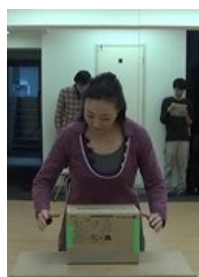
なし

(v)中身がわかる

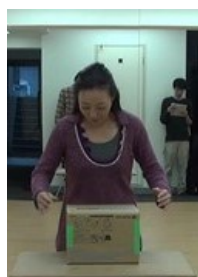
(j) 社交的



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

(k) 悲観的



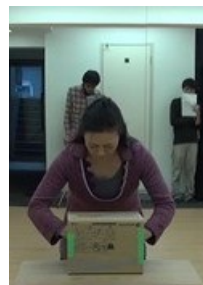
(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

(l) 神経質



(i)開始時



(ii)箱へ手を伸ばす



(iii)刺激への反応



(iv)中身を探る



(v)中身がわかる

Fig. 4.7 Performance of “What’s in the box?” by actor A3

4.2.3 ロボットの演技の作成

これらの役者の動作の解析から取得した姿勢および「箱の中身はなんだろう」の演技に適した動作の特徴・表情と気質の傾向である外向性・神経症的傾向との関係は Fig. 4.8 のようになった。これらに基づき、ロボットによる「箱の中身はなんだろう」の演技を作成した。

(a) 気質に応じた姿勢の表現

まず、姿勢は演技のための手先の位置・姿勢に影響を与えないため、ロボットの冗長自由度の角度のみで表現した。第3章で述べたように、KOBIAN-RIV は上肢に Fig. 4.9 のような自由度を有している。これらのうち、演技中の体幹 Pitch, 肩付け根 Roll, Yaw の3自由度の角度, 肘旋回角を姿勢表現のため Table 4.2 のように固定することで、姿勢を表現した。

(b) 気質に応じた動作の大きさ・速さの表現

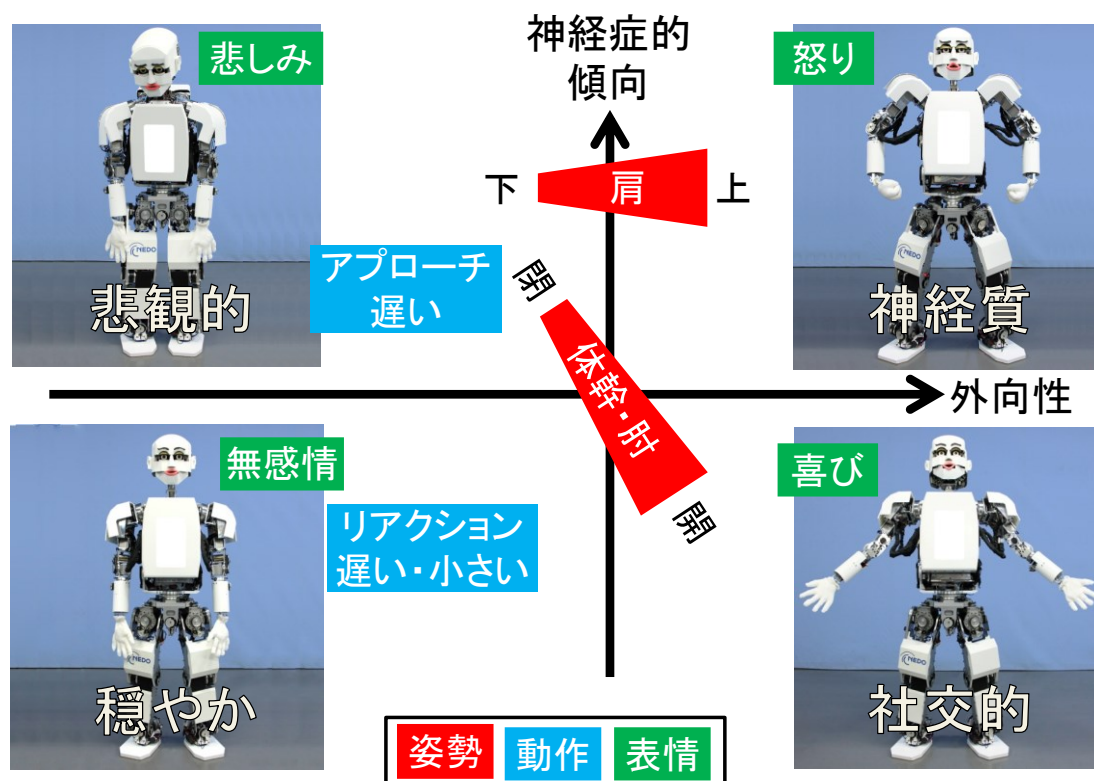


Fig. 4.8 Posture and feature of motion according to temperamental traits

ロボットの演技は役者に演技を依頼した際の Table 4.1 の台本と同じ流れをくむ行動によって定義することとした。ここで、ロボットのキャラ表現に応じた動作を定量的に変化させるため、本研究では、Table 4.3 のように箱に手を伸ばしたり、手を入れたり、これに対して反応するなどのキャラを問わず行う動作を「基本動作」としてまず定義した。「基本動作」は、気質を問わず行う動作の手先軌道として定義され、それぞれの動作の終点の手先座標・姿勢のみを指定する。ロボットの一連の演技中の手先軌道は、この「基本動作」で定義された終点の手先座標・姿勢間をスプライン補間によって結んだ軌道によって定義される。

これに対し、気質に応じた特徴をミッドポイントの手先座標・姿勢として定義し、「基本動作」、「気質に基づくミッドポイント」、「基本動作」、「気質に基づくミッドポイント」・・・の順で手先座標・姿勢を結ぶことで、気質に応じた動作の大きさを持つ手先軌道を実現させた。ミッドポイントは、「基本動作」間の中間の時間に定義される。このミッドポイントにおける手先の座標を、前述した役者の演技の解析の結果得られた傾向によって定義した。詳細な手先座標は、役者により表現がばらばらであったために演技指導者との相談によりそれぞれ最もわかりやすく表現できていると考えられた役者の表現から定義した。また役者の演技の特徴をもとに「基本動作」を配置する時刻を調整することで、各動作への移行の時間を調整した。このようにして

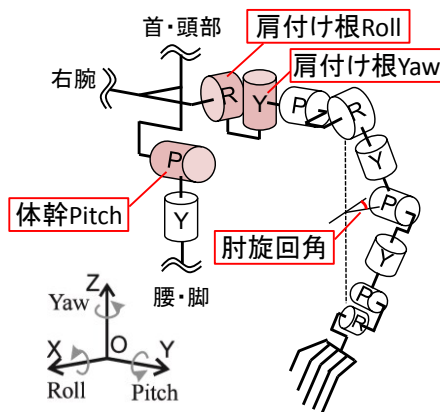


Fig. 4.9 Redundant DoFs on the arm (left arm)

Table 4.2 Angles for expressing posture for each character (left arm)

キャラ	体幹 Pitch deg	肩付け根 Roll deg	肩付け根 Yaw deg	肘旋回角
穏やか	0	0	0	-
社交的	-10	0	10	内側
悲観的	15	-20	0	外側
神経質	-5	20	0	外側

実際に作成された手先位置の軌道を, Fig. 4.10, Fig. 4.12, Fig. 4.11, Fig. 4.13 に示す. 特に, 特徴が見られやすい点として手を伸ばす動作中の連続写真, リアクションの瞬間の写真を図中に示す.

(c) 気質に応じた表情の表現

前述のように, 役者は演技中, 表情をほとんど変化させず, それぞれのキャラで偏りやすい感情 (悲観的: 悲しみ, 神経質: 怒り, 穏やか: 無感情, 社交的: 喜び) に固定していた. このため, ロボットの表情も気質に応じたこれらの感情に固定した.

Table 4.3 Basic motions for “What’s in the box?”

段階	基本動作の内容
1	初期姿勢
2	手を箱の横まで伸ばす
3	箱の中に手を入れる
4	リアクション(1 度目)
5	初期姿勢に戻る
6	再び箱の中に手を入れる
7	箱の中身を探る (手を引く)
8	箱の中身を探る (手を入れる)
9	箱の中身を探る (手を引く)
10	リアクション(2 度目), 終了

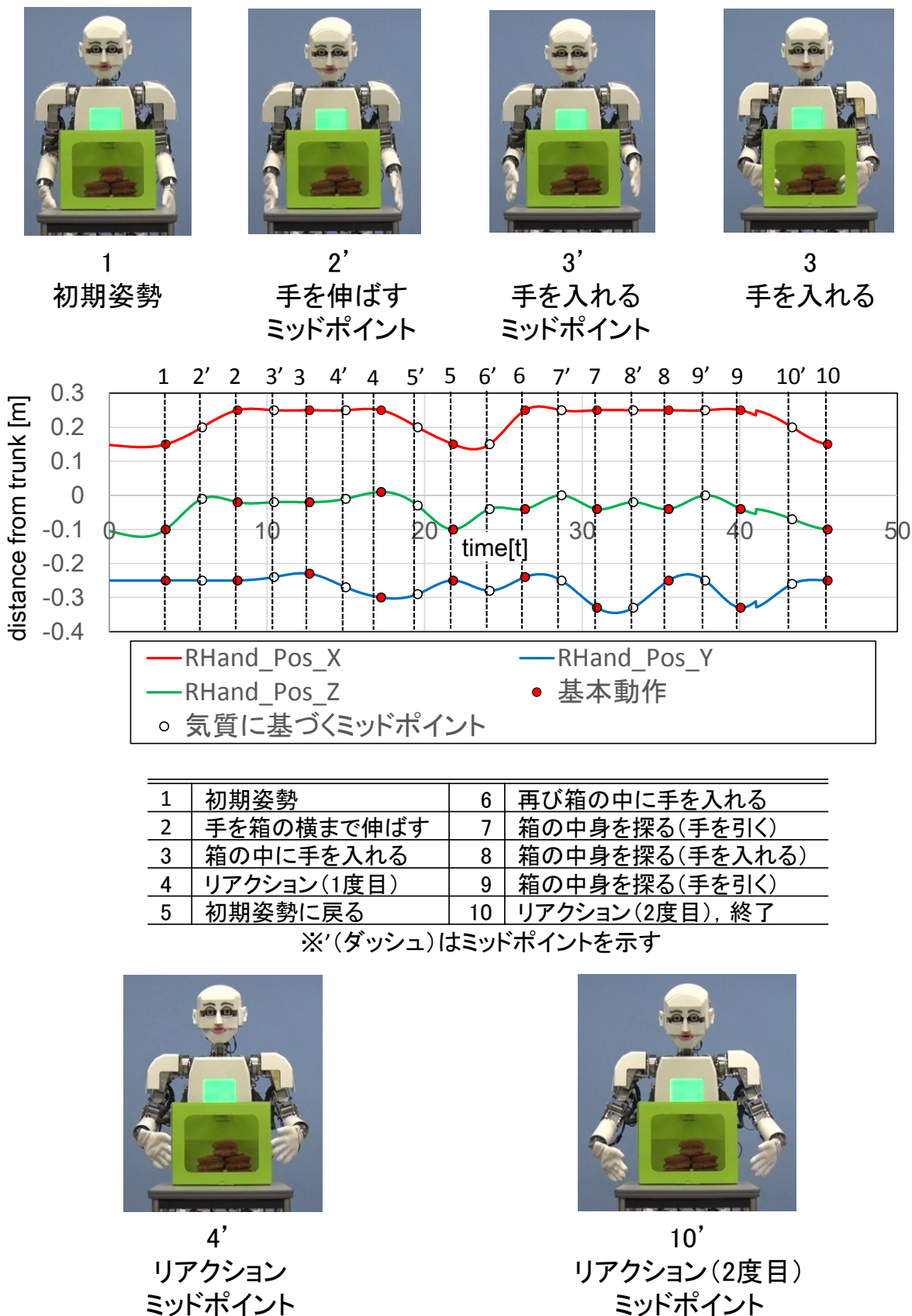
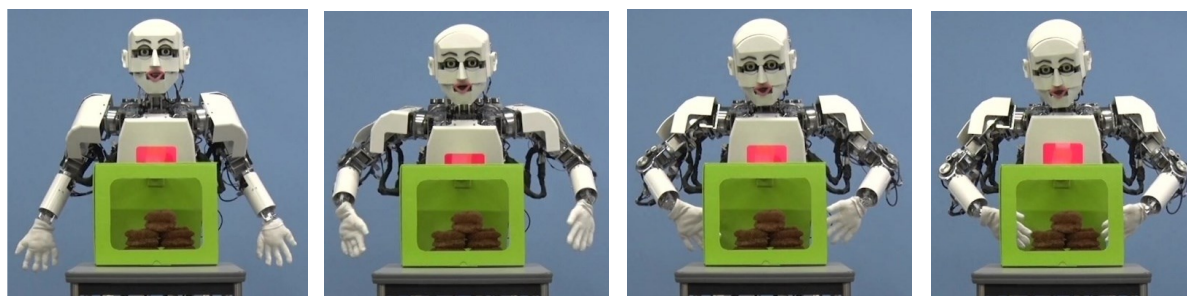


Fig. 4.10 Robot's performance with "Phlegmatic (穏やか)" character

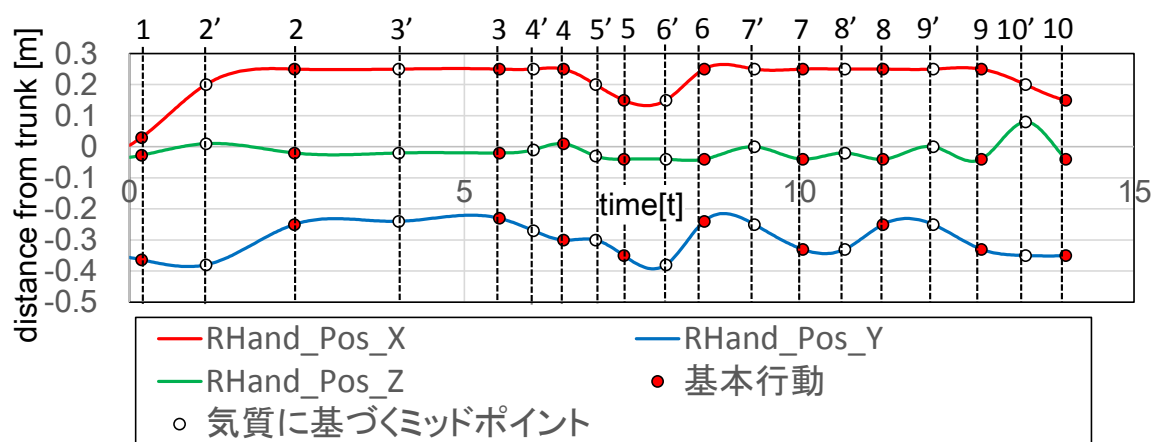


1
初期姿勢

2'
手を伸ばす
ミッドポイント

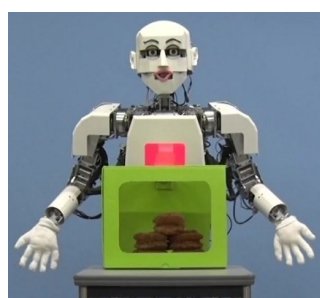
3'
手を入れる
ミッドポイント

3
手を入れる

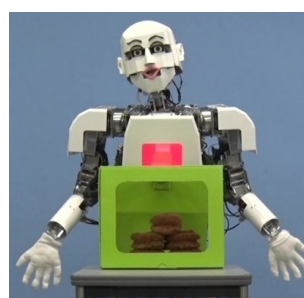


1	初期姿勢	6	再び箱の中に手を入れる
2	手を箱の横まで伸ばす	7	箱の中身を探る(手を引く)
3	箱の中に手を入れる	8	箱の中身を探る(手を入れる)
4	リアクション(1回目)	9	箱の中身を探る(手を引く)
5	初期姿勢に戻る	10	リアクション(2回目), 終了

※'(ダッシュ)はミッドポイントを示す

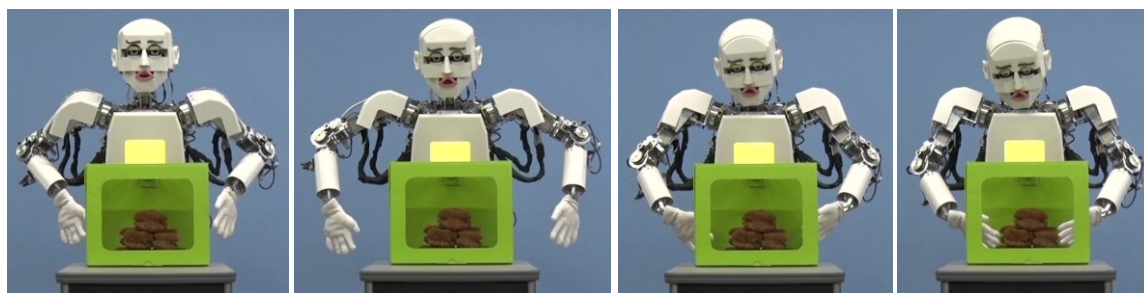


4'
リアクション
ミッドポイント

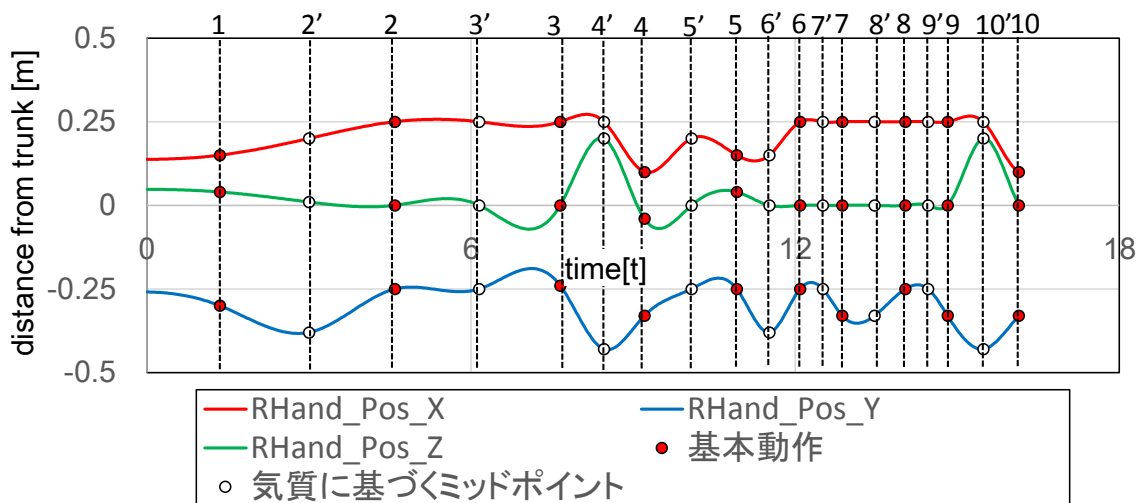


10'
リアクション(2回目)
ミッドポイント

Fig. 4.11 Robot's performance with "Sanguine (社会的)" character



1 初期姿勢
 2' 手を伸ばす
 ミッドポイント
 3' 手を入れる
 ミッドポイント
 3 手を入れる



1	初期姿勢	6	再び箱の中に手を入れる
2	手を箱の横まで伸ばす	7	箱の中身を探る(手を引く)
3	箱の中に手を入れる	8	箱の中身を探る(手を入れる)
4	リアクション(1回目)	9	箱の中身を探る(手を引く)
5	初期姿勢に戻る	10	リアクション(2回目), 終了

※'(ダッシュ)はミッドポイントを示す

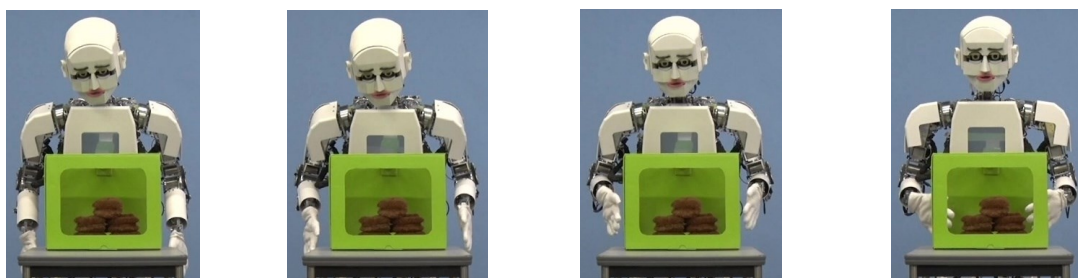


4'
 リアクション
 ミッドポイント

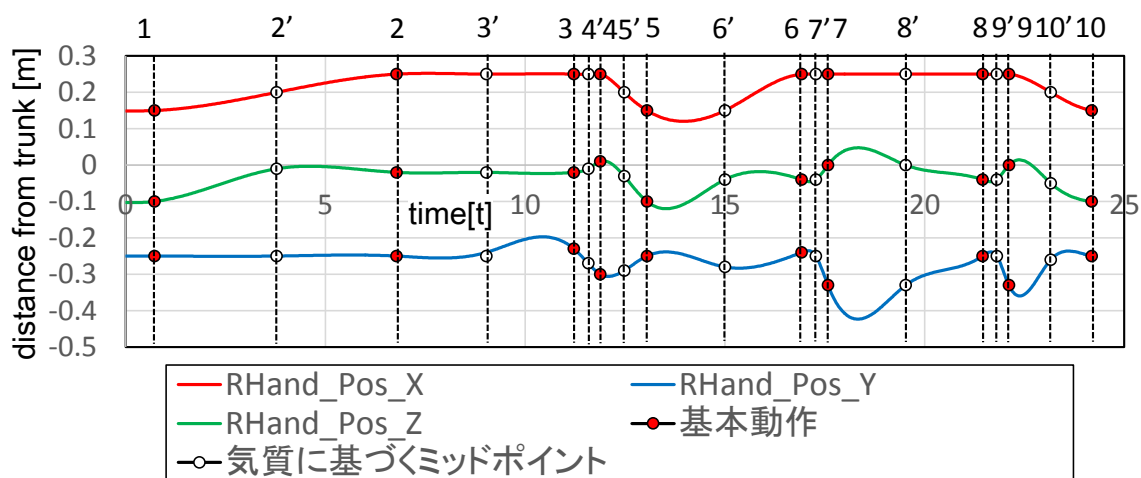


10'
 リアクション(2回目)
 ミッドポイント

Fig. 4.12 Robot's performance with "Choleric (神経質)" character

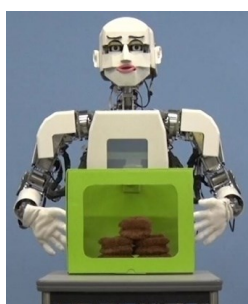


1 初期姿勢
2' 手を伸ばす
ミッドポイント
3' 手を入れる
ミッドポイント
3 手を入れる

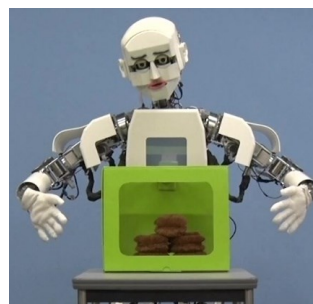


1	初期姿勢	6	再び箱の中に手を入れる
2	手を箱の横まで伸ばす	7	箱の中身を探る(手を引く)
3	箱の中に手を入れる	8	箱の中身を探る(手を入れる)
4	リアクション(1回目)	9	箱の中身を探る(手を引く)
5	初期姿勢に戻る	10	リアクション(2回目), 終了

※'(ダッシュ)はミッドポイントを示す



4' リアクション
ミッドポイント



10' リアクション(2回目)
ミッドポイント

Fig. 4.13 Robot's performance with "Melancholic (悲観的)" character

4.3 「矛盾」方略に基づくロボットの行動生成と評価

前章の研究は、ロボットの動作によって観察者に「キャラ」を知覚される演技を実現させることを目的に実施された。これを通じて実現されたロボットの「キャラ」に基づく行動生成を、2つの観点から実験的に評価した。

第1に、作成したロボットのそれぞれのキャラの演技が実験者の意図した気質の傾向に基づいたものであると認識されるかを確認することである。

第2に、ロボットのキャラ表現によって演じられた状況との矛盾性が様々に異なる演技が、被験者に面白い印象を与え、笑い誘発刺激として成立しうるものかを評価することである。どちらの実験においても、上述したロボットの演技を動画に撮影したものをビデオに記録し、このビデオを見た後で印象を回答してもらう方法で調査を行った。

実験には12名（男性10名、女性2名、平均年齢20.3歳、S.D. 1.30歳）が参加した。

4.3.1 ロボットの演技から認識される気質の傾向

作成したロボットの演技中の動作から読み取られるロボットのキャラが、実験者が意図した気質の傾向に基づいたものであると認識されるかを調査した。本研究ではロボットの動作の特徴を外向性、神経症的傾向に関連して定義しているため、4つのキャラのビデオを外向性、神経症的傾向の高低から2群に分け、それぞれに対する外向性、神経症的傾向に関連した印象を調べることにした。人間の気質の傾向をアンケートから調べる先行研究[67]を参考に外向性、神経症的傾向と高い相関があることがわ

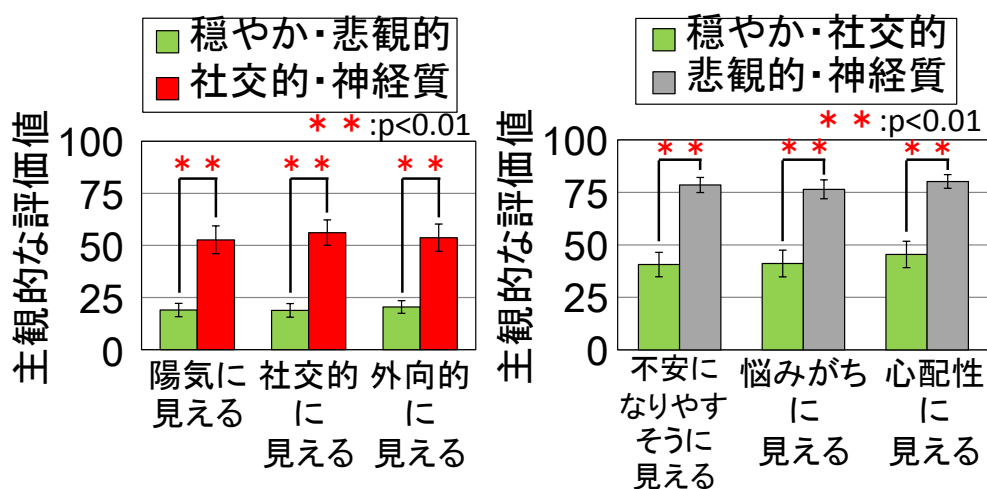


Fig. 4.14 Subjective impressions related to temperamental traits. The scores were statistically analyzed by paired t-test.

かっている形容詞を評定語として使用した。使用した形容詞はそれぞれ外向性に関しては「陽気である」、「社交的である」、「外向的である」、神経症的傾向に関しては「不安になりやすい」、「悩みがちである」、「心配症である」である。先行研究は被験者が自己評価のためにこれらの形容詞に対して自分が当てはまる程度を回答させるものであった。本研究ではそれぞれの形容詞に「に見える」という語を付け足し、ロボットの印象を実験参加者に主観的に評価してもらった。ロボットの各キャラのビデオをランダムな順で見た後で、これらの評定語に対する印象を VAS(Visual Analog Scale)で回答してもらった。Fig. 4.14 に示した対応のある t 検定による検定の結果をみると、まず外向性に関する評定語に対する評価値はすべて「社交的・神経質」の方が有意に高く、神経症的傾向に関する評定語ではすべて「社交的・神経質」の方が有意に高かった。これらから、ロボットが演じたキャラの印象の間にはそれぞれ実験者が意図した気質の傾向が適切に認識されていたことがわかった。

以上の結果は、ロボットの同じ基本行動中の「動作の速さ」、「動作の大きさ」、「姿勢」、「表情」などの動作の特徴を変化させることで、ロボットが動作から感じさせる「キャラ」のうち、「外向性」・「神経症的傾向」に関連した目的の気質の傾向を変化させることができることを示すものであった。

4.3.2 状況とロボットの行動の矛盾性による面白さの変化

この実験では、まず被験者に各キャラのロボットの動画をランダムな順で見てもらい、各ビデオのロボットの演技に関する主観的な「面白さ」の印象を VAS(Visual Analog Scale)で回答してもらう方法で実験を行った。

結果の解析の方針として、ロボットの行動の状況に対する矛盾性が「面白さ」にどのような影響を与えるかを調べることにした。中身のわからない箱を痛みを感じながら手探りで調べるというネガティブな状況への矛盾性から議論を進めるため、矛盾性のある、つまり刺激に対してポジティブな反応をみせた神経症的傾向の低い「社交的」および「穏やか」のキャラのロボットによる全身動作が、矛盾性のない、つまり刺激に対してネガティブな反応を見せた神経症的傾向の高い「神経質」および「悲観的」のキャラのロボットによる全身動作に対し、有意に面白い印象を与えることができたかを検証する観点から解析を進めた。それぞれ、神経症的傾向の大小によってキャラを2群に分け、矛盾性のある動作に対する矛盾性のない動作、つまり「社交的」のキャラの演技に対する「神経質」のキャラの演技、「穏やか」のキャラの演技に対する「悲観的」のキャラの演技が有意に面白い印象を与えるかを調べた。

結果を Fig. 4.15 に示す。対応のある t 検定の結果から、「神経質」のキャラの演技

に対し「社交的」のキャラの演技が有意に面白い印象を与えていた。さらに、有意な差は得られなかったが、「穏やか」のキャラの演技に対し「悲観的」のキャラの演技が有意に面白い印象を与えていた。これらの結果は、ロボットの行動による矛盾性のある演技が、矛盾性のない演技よりも面白い印象を与えたことを示しており、気質のモデルにより定量的に設定されたロボットのキャラ表現に起因する行動と状況の矛盾性によって、印象の面白さを変化させることができたことを示していた。

ここで、「穏やか」および「悲観的」のキャラの間で有意に面白さが変化しなかったのは、これらのキャラによる演技の動作が「社交的」および「神経質」のキャラによる演技の動作よりも全体的に遅く、小さいものであったことで矛盾した印象が際立ちにくかったためであると考えられる。

4.4 まとめ

本章における研究は、以下の2点を目的に実施された。1点目はロボットの動作によって「キャラ」を演じさせる手法の確立である。2点目は「キャラ」の演技によって状況と「矛盾」したロボットの全身動作を生成することにより、定量的な笑い誘発刺激を実現させることである。

まず、1点目のロボットの動作によって「キャラ」を演じさせる手法の確立に関してまとめる。本研究では人間の性格の根幹に位置する「気質」のモデルのうち、心理学などで最も一般的に用いられている「ビッグファイブ理論」に注目した。この理論のモデルを構成する5つの要素のうち、長時間のインタラクションを経なくても読み取ることができると考えられる「外向性」と「神経症的傾向」の2軸で分けられる4つの仮説的空間によって「穏やか」、「社交的」、「神経質」、「悲観的」のキャラを定義

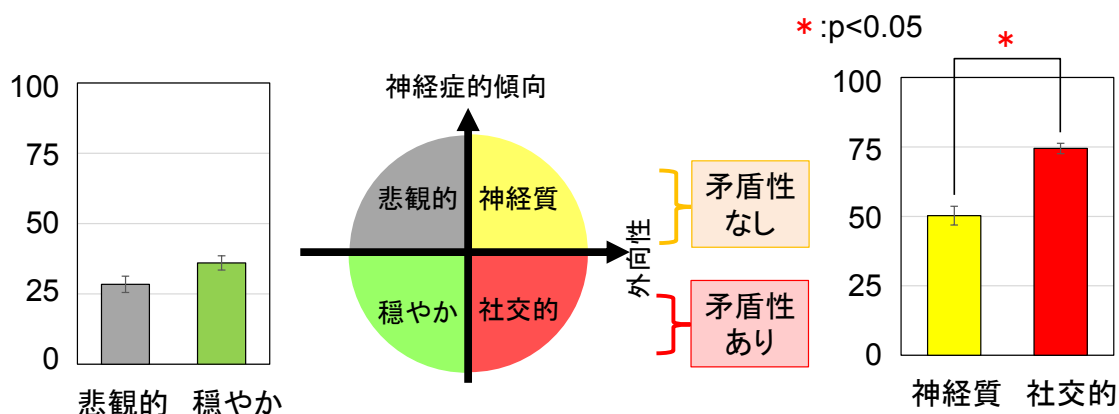


Fig. 4.15 Change of “Funny” impression according to the “contradiction” to the situation. The scores were statistically analyzed by paired t-test.

した。先行研究および役者の演技の解析から、これらのキャラを演じ分けるために「姿勢」、「動作の大きさ」、「動作の速さ」、「表情」が有効であることが示されたため、これらをもとにロボットの全身動作を作成した(4.2節)。作成した演技から、被験者に意図した通りの気質の傾向が読み取られたことが確認された(4.3.1節)。

次に、2点目の「キャラ」の演技によって状況と「矛盾」したロボットの全身動作を生成することにより、定量的な笑い誘発刺激を実現させるという点に関してまとめる。本研究では状況として箱の中に触ると痛みを感じるものが入っているにもかかわらず、中身を調べなくてはならないというネガティブな状況を設定し、これに対し4つのキャラのロボットに演技を行わせた。この結果、状況に対し矛盾したポジティブな反応を返す神経症的傾向が低い「社交的」、「穏やか」のキャラのロボットの演技は、状況に対し矛盾しないネガティブな反応を返す神経症的傾向の高い「社交的」、「穏やか」のキャラのロボットの演技よりも面白い印象を与えたことがわかった。これは、ロボットが状況と「矛盾」した行動を生成することで、笑い誘発刺激を生成することができることを示すものであった(4.3.2節)。

本章の研究では、ロボットの同じ基本動作中の「動作の速さ」、「動作の大きさ」、「姿勢」、「表情」などの動作の特徴を変化させたキャラ表現によって、ロボットの行動の状況との矛盾性を変化させ、これによって面白さを変化させることができることを確認した。

これらは、ロボットの動作の特徴を定量的に変化させることによって状況に対する行動の矛盾性を調整することができ、この結果定量的な笑い誘発刺激を生成することができることを示すものであるといえる。

本章の研究においては、ロボットのキャラを4つに限定した。しかし、本研究で提案したキャラは、「外向性」および「神経症的傾向」の2軸を連続的に大小させることによって非常に「社交的」なロボットや、外向性は非常に高いが、神経症的傾向が高く「神経質」の傾向も持った「社交的」なロボットなど、様々なキャラを表現できる概念をもっている。今後、これらのキャラと動作の特徴の関係を示すモデルの精度を高めていくで、ロボットの行動と状況との矛盾性をより細かく調整することが可能になると考えられる。

第5章 研究の意義

- 5.1 はじめに
- 5.2 笑い誘発メカニズム解明への貢献
- 5.3 ロボットが人間の笑いを誘発することの社会的意義
- 5.4 まとめ

5.1 はじめに

前章までに、ロボットの全身動作を面白く変化させる要因を特定し、これをロボットの行動・動作生成アルゴリズムに組み込むことで面白い全身表現を実現させるモデルを提案した。さらに、このアルゴリズムの一部である「動作生成」における「誇張」方略の適用と、「行動生成」における「矛盾」方略の適用によるロボットの動作生成を実現させ、評価実験からこれらの手法によって定量的な笑い誘発刺激が実現されたことを示した。本章では、これらの成果から本研究が持つ意義をまとめ、考察する。特に、以下の2点に関し、議論を進める。

第1点目として、本研究の人間の笑い誘発メカニズムの解明への貢献に関する考察を行う。

第2点目として、本研究を通じて実現されたロボット実機の動作による笑い誘発刺激が社会に果たす役割に関する考察を行う。

5.2 笑い誘発メカニズム解明への貢献

本節では、本研究で実現されたロボット実機の全身動作による誘発刺激が人間の笑い誘発メカニズムの解明に向けて、どのような貢献を果たしうるものなのかに関し議論する。

(i) 動作による笑い誘発刺激構成の流れをロボットの行動・動作生成という観点から説明した点

先行研究から、「笑い」は予想と現実のズレが生じ、これが解消されたときに発生するとされる。本研究では、ロボットの全身動作で人間の笑いを誘発するため、以下のような2つの段階で行動・動作によって笑いを誘発するズレを生成する手法を説明

した。

まず、1つ目の段階として、書籍から漫才・コントや日常会話、文学などの幅広い表現手法に面白い印象を与える手法を抽出した。これらのうちロボットの全身動作に適用可能なものは「誇張」、「矛盾」、「唐突な変化」、「反復」の4つがあった。これらを「笑いの方略」としてロボットの行動・動作生成に利用できる形に定義した。

2つ目の段階として、ロボットが外界から刺激を受けてから内部状態を変化させ、外界に働き掛けを返すという一連の行動・動作の流れは「環境認識」、「行動生成」、「動作生成」の3つの段階から定義されるが、全身表現によって生成される面白い刺激はこのうち「行動生成」、「動作生成」のそれぞれの段階に「笑いの方略」を当てはめることで説明できることを示した。

このように、本研究ではロボットの行動・動作生成のアルゴリズムをベースに、全身動作による笑い誘発刺激が生成される体系的な構造を説明した。一方、人間が演じる行動・動作による笑い誘発刺激がどのような段階を経て構成されるかを体系的に説明しようとする試みはこれまで全く行われてこなかった。これは、人間が外界から受ける刺激に従い、内部状態をどのように変化させ、また外界にどのような働きかけを行うかというメカニズムが十分に解明されていないためである。

ロボットのアルゴリズムは、必ずしも人間の認知過程、行動生成の過程と一致するわけではないが、行動・動作による笑い誘発刺激構成の体系的な構造を示すことができたこと、またこの構造が行動・動作による笑い誘発刺激の面白さの説明に一定の有効性を持つことを示したことは、本研究を通して初めて実現された成果であるといえる。

(ii) 物理的・抽象的パラメータが定量的かつ独立に調整可能である点

ロボットを全身動作による笑い誘発メカニズムの解明に用いることで実現される大きなメリットに、ロボットの動作を構成するパラメータを独立に・定量的に調整することが可能である点が挙げられる。

例えば、第3章の実験においては、ロボットの行動は全く同じ中で、ロボットの動作速度のみを変化させたり、ロボットの動作の各関節の変化量のみを変化させたりした刺激を生成し、これらに対し被験者の感じる主観的な面白さを連続的に変化させることができたことが確認された。

また、動作を構成する速度や関節角度などの物理的なパラメータだけでなく、刺激に対する心理状態の変化やポジティブさなどの抽象的なパラメータを定量的に調整することは、人間の役者を用いる実験ではほとんど不可能である。一方で、ロボット

の動作の特徴と関連付けて定義することで、これらの抽象的なパラメータを定量的に変化させた笑い誘発刺激を生成することが可能になる。実際に、第4章の実験においては、「キャラ」という抽象的なパラメータをロボットの動作の姿勢や動作の速さ・大きさ・表情などの定量的な特徴と関連付けることで、全く同じ状況に対するロボットの異なるキャラによる演技を生成し、これによって被験者の感じる主観的な面白さを変化させることができたことが確認された。

(iii) 臨場感と再現性が両立できる点

一般的に、動作による刺激は物理的な身体性を持つ存在がビデオなどを介さず直接刺激を入力することが重要であることがわかっている。ここで、人間の演者の全身表現を被験者に直接呈示して実験に用いる場合、人間の運動の再現性の低さの問題から、異なる状況・場所・時間で行われた笑い誘発刺激が同一であるとはいえない。

一方、本研究の提案手法のようにロボット実機の演技を用いることによって、異なる時間・場所で行われた別の実験で、全く同一といえる刺激を直接呈示することができた。刺激が同一であることは、これに対する反応を比較する上で重要な要素であり、笑い誘発メカニズム解明には欠かすことのできないものであるといえる。

さらに、ロボットをプラットフォームとしてとらえ、量産すれば、臨場感のある刺激を高い再現性で入力するツールとして使用することができる。つまり、様々な研究者が異なった場所や被験者に対し入力した笑い誘発刺激に対する被験者の反応を比較する実験が容易に行えるようになる。

以上のように、本研究によって実現されたロボット実機の動作による笑い誘発刺激は、体系的な刺激の構成法をモデルによって明示でき、刺激が定量性・再現性・臨場感を併せ持つというこれまでにない特徴を持つものである。

これは、社会学や心理学において多数の取り組みが行われている人間の笑い誘発メカニズムの解明の研究に対し、有用なツールを提供するものであるといえる。

5.3 ロボットが人間の笑いを誘発することの社会的意義

本節では、ロボットが人間の笑いを誘発する機能を持つことの社会的な意義に関して議論する。

第1点目として、ロボット実機が新たな笑い誘発刺激の演者となることの意義を考察する。本研究ではロボットの全身動作の印象を面白く変化させるアルゴリズムを構

築し、このアルゴリズムによって生成された刺激を演じることができるハードウェアを開発することで、ロボット実機の全身動作による笑い誘発刺激を実現した。この手法により生成された刺激の印象を、これまで一般的に利用されてきた人間のお笑い芸人による演技やCGアニメーションをビデオに記録してディスプレイを通して呈示する刺激の印象と比較することで、新たな笑い誘発刺激の生成ツールとしてのロボット実機の有用性について考察する。

第2点目として、ロボットによって人間を笑わせることを通じ、「笑い」のもつ効果を活用することができるのかについて、笑いの持つ効果の代表例である心理的な健康増進効果を例に挙げて説明する。先行研究において人間はお笑い芸人のビデオを呈示されたことで笑うと心理状態がポジティブに変化し、これが精神疾患に様々な有効性を示すなど、心理的な健康増進効果があることが指摘されている。笑いを誘発する演者がロボットに代わった場合でも同様な効果が得られるものであるのかを考察する。

5.3.1 ロボット実機を笑い誘発刺激の演者として使用することの意義

笑い誘発において、動作による非言語表現の持つ意味は大きい。また、動作による刺激は臨場感を与えるため、演者の動作を直接呈示することが有効である。これまで、お笑い芸人の動作による演技を直接見るためには、ライブなどに参加する必要があった。一方で、本研究のようにロボットを用いれば、動作による臨場感を伴う笑い誘発刺激をより一般的に楽しむことができる可能性がある。

このようにして実現された笑い誘発刺激は、これまで人間の笑い誘発のために一般に広く用いられてきた手法である人間のお笑い芸人の演技をビデオに撮影したもの、あるいはCGによるアニメーションをビデオに記録したものをディスプレイを通して呈示する手法に対し、有用といえる特徴を持つのかを調べるため、2段階の実験により確認した。

第1点目は、演者がロボットである演技の、お笑い芸人やCGアニメーションの演技に対する印象の違いである。

第2点目は、ビデオなどを介した演技に対し、実機の動作により笑い誘発刺激を呈示する演技の印象の違いである。

(a) 演者がロボットであることによる印象

本節では、一般に広く用いられる笑い誘発刺激である、人間やCGアニメーション

を演者とした場合に比べ、ロボットが演者となった場合の印象差を実験により調査する。この実験では、演技の表現手法の違いのみを比較するため、全く同じ人間のお笑い芸人のねたに関し、これをお笑い芸人本人が演じたビデオ、CGアニメーション上のロボットでこれを再現したビデオ、ロボット実機で再現したビデオの3種のビデオの印象を比較する方法をとった。これらのビデオは、すべて壁面に人間あるいはロボットの等身大の大きさに投影することで被験者に呈示した。

本実験は以下の2つのねたを使用して実施された。

1. キャン x キャン “ますおさんのものまね” (ライジングプロダクション)
2. 体を寝かせ、手を大きく上下に動かす動作

これらのねたは、どちらも動作を主体としたねたであるが、前者は体の動きが小さく、後者は大きいという視点で選定された。これらのうち、CGアニメーションおよびロボット実機による演技を Fig. 5.1, Fig. 5.2 に示す。これらに対する被験者の印象は「面白さ」、「自然さ」、「親近感」および「新鮮さ」の4つの評定語に対する主観的な印象の強さを0から10の11段階で取得した。

本実験の被験者は15名（男性10名、女性5名、平均年齢20.5歳）であった。ねたごとに3種類の表現手法によるビデオをランダムな順で呈示し、その後3つのビデオに対する印象の差異をまとめてアンケートに記入してもらった。

被験者の印象は Fig. 5.3 のようになった。まず「面白さ」の結果をみると、2つのねたの平均の結果において、ロボット実機が演者の場合、人間やCGが演者だった場合に比べ有意に印象が「面白く」感じられていたことがわかった。

次に、「新鮮さ」の結果をみると、2つのねたの平均の結果において「人間」は最も

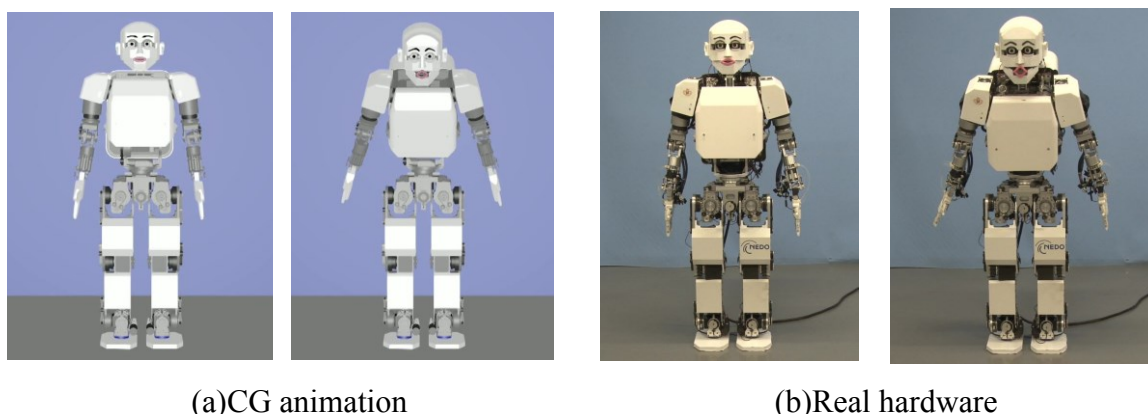


Fig. 5.1 Comparison of the impression of skit “Imitation of Masuo-san” performed by CG animation and real hardware

新鮮さが低く、「CG」は「人間」よりも、「ロボット実機」は「人間」および「CG」よりも有意に新鮮さが高く感じられていたことがわかった。

一方、「自然さ」の結果は「新鮮さ」とおおむね逆の傾向を示しており、2つのねたの平均の結果において「人間」を演者とする演技は「CG」や「ロボット実機」よりも有意に自然に感じられていたことがわかった。さらに、「親近感」の結果をみると、「自然さ」の結果と同様、2つのねたの平均の結果において「人間」の演者の演技は「CG」や「ロボット」よりも有意に親近感が高く感じられていたことがわかった。

本実験の結果は、ロボットが人間のお笑い芸人よりも面白い印象を与えたことを示していた。この要因について考察する。ロボットの演技は、人間のお笑い芸人が行っている演技に比べ、予想外で「新鮮な」ものであると感じられており、これが「面白さ」の印象を高めていると考えることができる。この要因の一つとして、被験者のコメントには「ロボットをお笑いに使用していることに驚いた」というものが複数みられた。ロボットによる演技を見たことが無く、新鮮な印象を得たとともに、「ロボットがこんなことをやるのか」という予想と現実のズレが面白さを増大したととらえることができる。さらに、ロボット実機の刺激に対する経験が少なく、ロボットの動作を見慣れていないことで、ロボット実機の人間とは異なる動きが「不自然」にみえ、

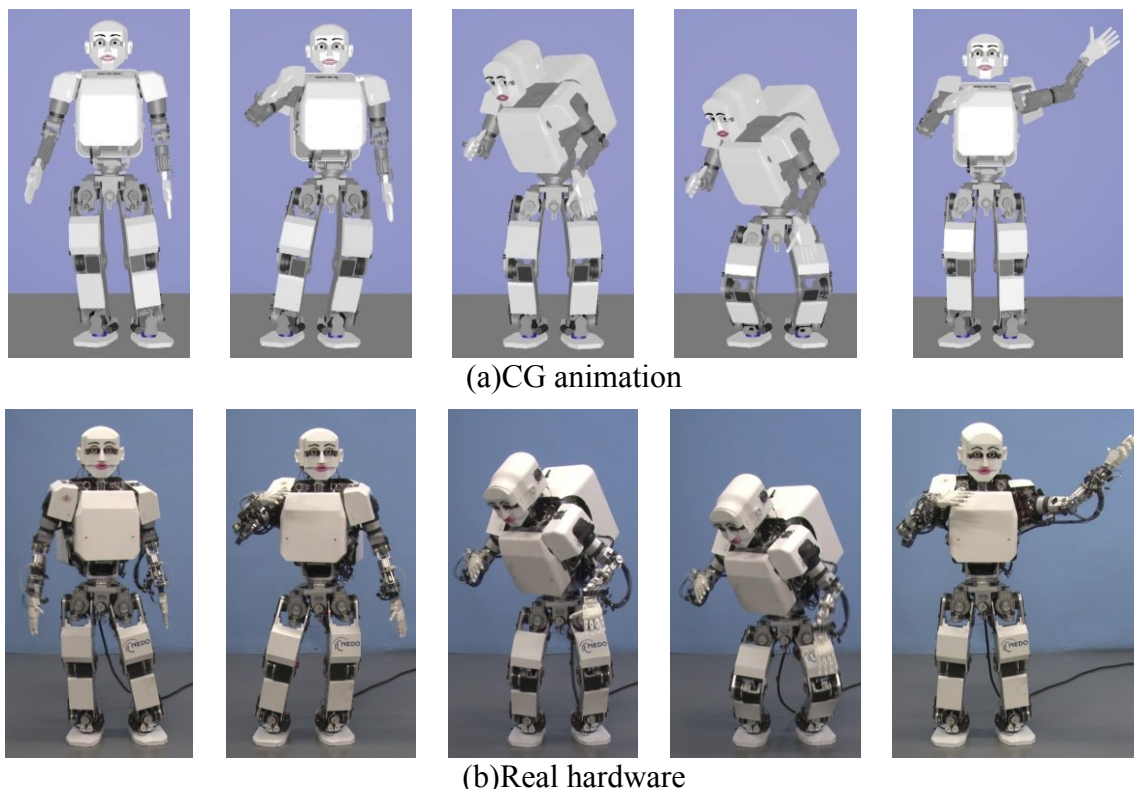


Fig. 5.2 Comparison of the impression of the skit “Large arm motion with forward-bent” performed by CG animation and real hardware

「親近感」の印象を下げたと考えられる。一方で、CGアニメーションはロボット実機に対してより身近なものであったため、相対的に人間の芸人の演技との印象の差がロボット実機より小さくなったと考えることができる。これらの結果は、笑い誘発にロボット実機を用いることで、被験者に対して非日常を体験させ、予想と現実のズレを感じさせることができ、人間のお笑い芸人並み、あるいはそれ以上の「面白さ」を感じさせることができることを示していると考えることができた。つまり、ロボットはその全身動作によって笑い誘発刺激の演者として十分な役割を果たすことができることを示したといえる。

一方で、これらの印象は被験者がロボットに対し身近な環境にあるか、ロボットの性能や用途について十分な知識を持っているかということに大きく影響を受けると考えられる。つまり、ロボットを十分知っていれば、「ロボットの動きを見ている」こと自体への新鮮さは減少すると考えられる。また、お笑いロボットが一般的になれば、「ロボットがこんなことをするのか」という意味での新鮮さも減少すると考えられる。ただし、ロボットの動作の内容への予想の正確さは向上することが予想され、これに対する裏切りは容易になる可能性がある。この影響は、ロボットが少しでも異常なことをすれば「面白い」印象を与えることにつながり、笑い誘発にとって有利である。

以上のように、ロボットは全身動作によって笑い誘発刺激の演者としての役割を十

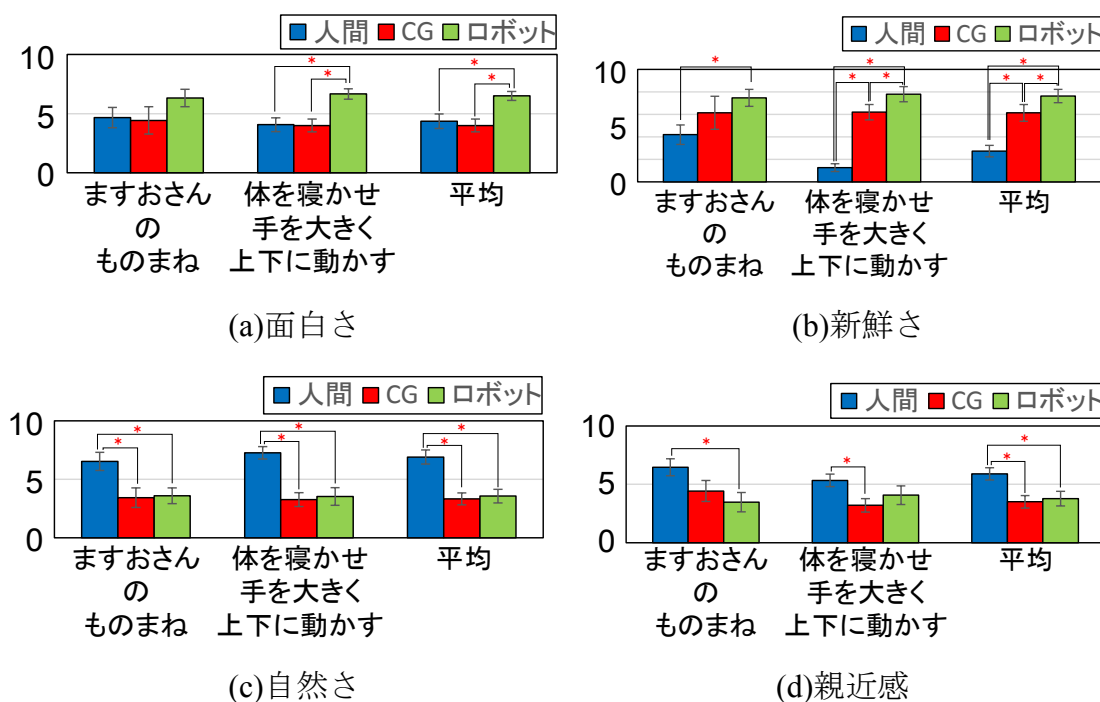


Fig. 5.3 Comparison of the impression of two skits performed by human actor, CG animation and real hardware. The scores are statistically analyzed by Tukey's method.

分に果たし得ることが示されたが、今後「表現手法としてのロボット」に対する被験者の慣れによる印象の変化は注意深く観察していく必要があると考えられる。

(b) ロボットが臨場感を活かし、人間と対面で演技を行うことによる印象

本節の実験では、お笑い芸人のビデオなど、既存の一般的な笑い誘発刺激に無い特徴として、ロボットが実体を持ち、その動作によって被験者に直接刺激を呈示することができる特徴が、印象にどのような影響を与えるかを調査する目的で行われた。

実験は、ロボットの全身表現をロボット実機の動作により直接被験者に呈示した場合と、これをビデオに記録し、ディスプレイに投影して被験者に呈示した場合での印象を比較する方法で行われた。

この実験では、刺激の呈示手法の違いのみを比較するため、本研究で開発された KOBIAN-RIV 実機による全く同じねたを使用し、このロボットの動作を直接、あるいはビデオに記録してプロジェクタで等身大に投影したものを被験者に呈示した。本実験には第3章の実験で使用した「肩を上下に動かす動作」および「芝刈り機のものまね」(ワッキー よしもとクリエイティブエージェンシー)を使用した。これらに対する被験者の印象は前節と同じく「面白さ」、「自然さ」、「親近感」、「新鮮さ」の4つに、実機であることで印象が変化する可能性が高い「速さ」を加えた5つの評定語に対する主観的な印象の強さを Visual Analog Scale により取得した。本実験の被験者は34名(男性19名、女性15名、平均年齢20.0歳、S.D.1.69)であった。

2つのねた、2つの呈示手段の4つの刺激を被験者にランダムな順で呈示した後で、それぞれに対する印象をアンケートに記入してもらった。被験者の印象は Fig. 5.4 のようになった。まず「面白さ」の結果をみると、2つのねたの平均の結果において、実機による刺激がビデオに対し有意に面白いことが示された。また、「新鮮さ」についても同様の結果を示した。次に、「自然さ」についてはビデオの方が有意に評価値が高い結果であった。さらに、「速さ」については実機の方がビデオより有意に評価値が高い結果となった。これらの結果をみると、被験者はビデオより実機の動作に「新鮮さ」を感じ、これが「面白さ」につながったものであるといえる。ここで、被験者がビデオよりも実機に「新鮮さ」を感じた要因には二つが考えられる。まず、ロボットの実機の動きを見ること自体が新鮮な体験であったことである。次に、実機によって動作を見ることで、奥行きを伴い、また音もロボットの各関節という広い範囲から同時に聞こえるなど、動作に迫力が感じられたことである。これが主観的な「速さ」の印象を高め、予想と現実のギャップを大きくすることにつながったと考えられることができる。

これらの結果は、ロボットがビデオを介さず、実機の動作を人間に直接呈示することで、臨場感を伴う迫力のある印象を与え、これが面白さの上昇につながることを示したものであると考えることができる。

(c) まとめ

本節の実験の結果においては、演者としてのロボットは人間のお笑い芸人以上の面白さを被験者に感じさせることができることがわかった。さらに、ビデオなどを介さず、ロボット実機の動作による刺激を直接呈示することで、動作に躍動感を感じさせ、さらに面白さを増大する効果があることが示された。ロボットが従来手法である人間

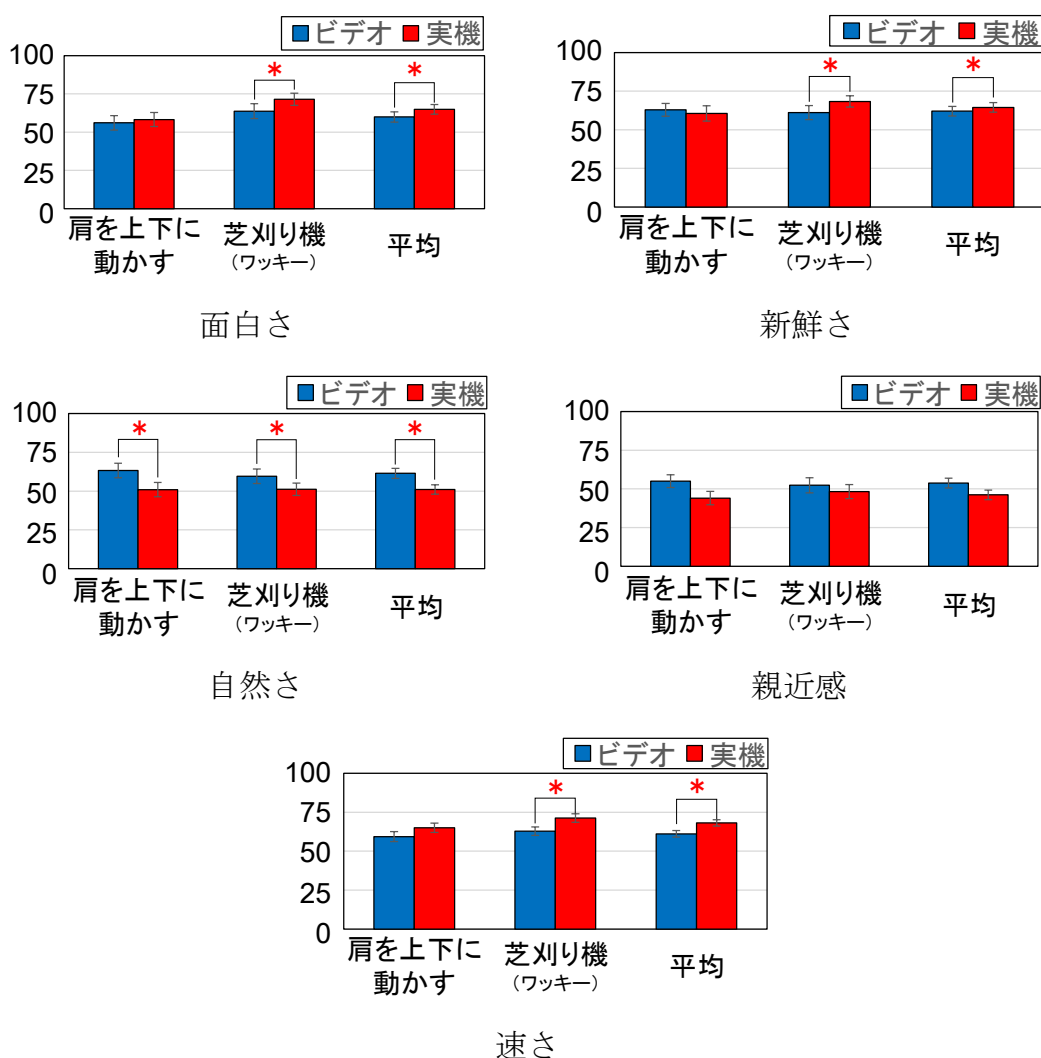


Fig. 5.4 Comparison of the impression of the same skits performed by video and real hardware. The score was statistically analyzed by paired t-test.

のお笑い芸人のビデオの呈示よりも面白い印象を与えられることは、本研究で提案している人間の笑い誘発メカニズムにロボットによる笑い誘発刺激を利用するという手法の妥当性を示すものといえた。さらに、ロボットが新たな笑い誘発刺激の演じ手として、新たなコンテンツを生成し得ることを示していると考えられる。したがって、今後コミュニケーションロボットが一般的に普及するようになれば、これらのロボットが実機の動作によって日常的にユーザーにお笑いを楽しませるといったアプリケーションも十分に想定されるものであるといえる。

5.3.2 心理的な健康増進効果

笑いは様々な効果を持つことが先行研究から指摘されているため、ロボットが人間の笑い誘発機能を持てば、これらの効果を利用し社会に対して果たすことのできる役割を増やすことが期待できる。笑いの持つ効能の代表的なものに健康増進効果がある。特に、心理的な健康増進効果については多数の先行研究があり、人間は笑うことでストレスを軽減させ、これが精神疾患の治療や予防に有用であるとされる。

ただし、全ての先行研究において、人間を笑わせる刺激は人間のお笑い芸人のビデオにより呈示されていた。本節では、ロボットによる刺激を用いた人間の笑い誘発においても先行研究で示唆されたように人間の心理的な健康増進効果をもたらすものであるかを、実験の結果をもとに考察する。

この実験には、本研究で開発された KOBIAN-RIII を用いた。このロボットの全身動作によるお笑いネタの呈示前後の被験者の気分を、心理学で一般的に使用されている気分に関する心理尺度の取得方法である気分プロフィール検査 (POMS) で取得し、実験前後の評価値の変化から被験者の心理的な健康増進効果を議論することとした。

この実験には 15 人の被験者 (内訳は男性 8 名, 女性 7 名, 平均年齢 21.4 歳) が参

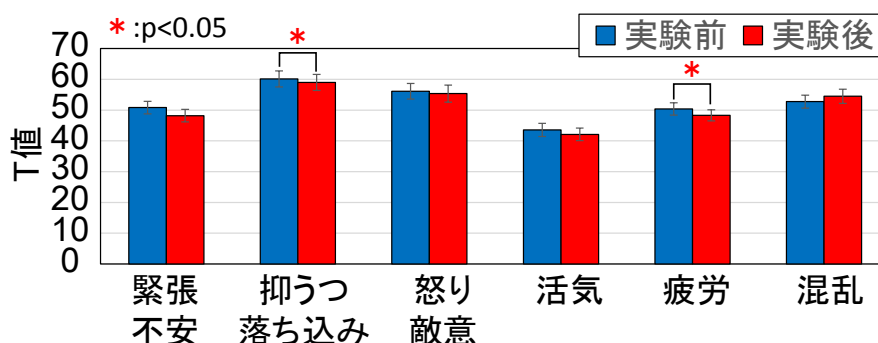


Fig. 5.5 Change of mental state of subjects before and after the experiment. The score was statistically analyzed by paired t-test.

加した。この実験では、ロボットの10分程度のねたビデオを呈示する前後で被験者に気分プロフィール検査(POMS)に回答してもらい、この結果を調べた。結果をFig. 5.5に示す。この結果から、「抑うつ・落ち込み」と「疲労」の状態が実験前後で有意に減少したことがわかる。したがって、基礎的な実験結果ではあるものの、ロボットによる刺激の呈示前後で被験者の心理状態がポジティブに変化したことがわかる。これは、ロボットが面白い動作により、被験者の笑いを誘発することを通じた健康増進効果を示唆しているものであると考えることができる。

この結果は、ロボットが老人介護施設などで高齢者を笑わせ、認知症進行を抑制するなど、笑いの持つ効果を活用して活躍の幅を広げることの可能性を示したものであるといえる。

5.4 まとめ

本章における研究は、以下の2点を目的に実施された。

1点目は本研究の人間の笑い誘発メカニズムの解明への貢献に関する評価と考察である。

2点目は本研究を通じて実現された人間を笑わせるロボットが社会に果たす役割に関する評価と考察である。

まず、1点目の人間の笑い誘発メカニズムの解明への貢献に関しては、ロボットの行動・動作生成アルゴリズムにあてはめることで、全身動作による笑い誘発刺激の生成を体系的に説明できたこと、また再現性・定量性・臨場感を兼ね備える笑い誘発刺激はロボットを利用することではじめて実現されるものであることを確認した。これらは人間の笑い誘発メカニズムの解明にとって不可欠なものであるといえた(5.2節)。

2点目の人間を笑わせるロボットが社会に果たす役割に関しては、まずロボットが人間を笑わせる演者となることの意義を検討するため、以下の2点の検討を行った。第1に、ロボットが演者となる意味を人間、CGアニメーションとの印象比較から再検討し、ロボットの演技が主観的な「面白さ」を十分に与えていることを確認した。このことからロボットが人間を笑わせる演者として十分な役割を果たす可能性を示した(5.3.1節(a))。第2に、従来の一般的であったビデオを通じた刺激の呈示手法に対するロボット実機の演技という臨場感のある刺激の呈示手法の有効性を検証した(5.3.1節(b))。ロボット実機を呈示した条件と、ロボットをビデオに撮影し、被験者に呈示した条件の比較から、ロボット実機による表現が躍動感を感じさせ、刺激の印象をより新鮮に、面白く変化させるという有効性を持つことを示した。これらの結果は、ロボットが新たな笑い誘発刺激の演者として活躍する可能性を示したものである。

といえた。

また，基礎的な評価から，ロボットの笑い誘発刺激の呈示前後で被験者の心理状態がポジティブに変化したことを示した（5.3.2 節）。この結果は，ロボットが笑いの持つ効果を活用することで，より活躍の場を広げる可能性を持つものであるといえた。

第6章 結論と今後の展望

6.1 結論

6.2 今後の展望

6.1 結論

本研究では、「笑い」が副作用のない精神疾患の予防・治療法となりうる特徴や、ビジネスにおけるコミュニケーションへの有用性など、幅広い分野への効果が期待されるにもかかわらず、十分に活用されていない問題に着目した。この問題は、人間の笑い誘発メカニズムが十分に解明されていないことに起因していた。先行研究から、人間の笑い誘発メカニズムの解明を目指した研究は、心理学、社会学、哲学など幅広い分野から実施されているにもかかわらず、特に笑い誘発のための刺激の生成メカニズムの解明に関する研究が不十分であることがわかった。

本研究はこれに対し、ロボットによって笑い誘発刺激を構成することで、再現性があり、定量的な笑い誘発刺激を実現させることを提案した。特に、本研究ではこれまでの言語表現に過度に集中していたロボットによる人間の笑い誘発の研究に無い特徴である全身動作による非言語表現を通じた人間の笑い誘発刺激の構成に着目した。さらに、笑い誘発刺激をロボット実機の演技によって呈示することで、これまでにない臨場感を伴う笑い誘発刺激の実現を提案した。

第1章では、序論として本研究の背景と目的、関連した先行研究について述べた。

第2章では、まず漫才・コント、日常会話、文学作品など広い表現手法の刺激を面白く変化させる要因のうち、「誇張」、「矛盾」、「反復」、「唐突な変化」、「だじゃれ」の5つの構造には高い共通性があることを示した。また、これらのうち、「だじゃれ」を除く4つの構造は、表現手法をロボットの全身動作とした場合でも適用が可能であることを示した。さらに、ロボットの「行動生成」、「動作生成」の各段階にこれらの要因を適用することでロボットの全身動作の印象を面白く変化させ、笑い誘発のための刺激を生成するモデルを提案した。次に、お笑い芸人にロボットの全身動作によるねたを自由に作成してもらい、これらのねたの面白さの構造が「笑いの方略」により説明できたこと、作成されたねたが実際に被験者を笑わせたことから、提案モデルのロボットの全身動作による笑い誘発刺激の生成への有用性を示した。

第3章の研究では、誇張した動作生成による定量的な笑い誘発刺激の生成を目的とした。このためには、誇張表現に対応したハードウェアの開発が必要であった。本論

文の研究では、全身動作による表現のために特に重要な腕部の動作と頭部の表情を誇張して表現可能なハードウェアを開発した。腕部の開発においては、まず肩付け根から肘部までの広い可動域と高速動作を実現させた KOBIAN-RIII を開発した。さらに、パラレルリンク機構の採用により軽量かつ広可動域・高速動作に対応した手首機構を開発して搭載し、さらに KOBIAN-RIII で問題であった外観の不自然さを改善した KOBIAN-RIV を開発した。頭部の開発においては、LED フレキシブルディスプレイおよび薄板機構を用いた「漫符」の導入により誇張した感情表現を実現した。

次に、ロボットに「誇張」した全身動作を生成させ、これを評価した。第1段階としてお笑いねたの演技中のロボットの動作の大きさ・速さを人間のお笑い芸人と同等まで誇張すると、従来のロボットの小さく・遅い演技に比べ有意に面白い印象を与えることが可能であることを示した。第2段階としてロボットが演技するお笑いねたの速度をもとの芸人の1/2倍、1倍、2倍に段階的に変化させると、被験者が感じる主観的な面白さも段階的に上昇することが示された。これらの結果は、ロボットの誇張した動作生成によって定量的な笑い誘発刺激が実現できたことを示していた。

第4章の研究では、状況と矛盾した行動生成による定量的な笑い誘発刺激の生成を目的とした。状況に対するロボットの行動の矛盾性を定量的に変化させるため、本研究ではロボットに「キャラ」を演じさせることとした。人間の気質の分類を説明するモデルである「ビッグファイブ理論」のうち、短時間のインタラクションから読み取ることが可能であることが期待される「外向性」と「神経症的傾向」を抽出し、これら2軸の大小により定義される4つの仮説的空間に相当するキャラである「穏やか」、「社交的」、「悲観的」、「神経質」を本研究で演じ分けるべきキャラとして定義した。文献調査と役者の演技の解析から、動作の特徴のうち「姿勢」、「動作の大きさ」、「動作の速さ」、「表情」がこれらの気質と関連することを示した。これらの特徴を変化させたロボットの演技を作成すると、被験者に意図した通りの気質の傾向が読み取られ、ロボットの動作の特徴の定量的な変化によって「キャラ」を演じ分けることができることを示した。さらに、ネガティブな状況を設定し、これに対する「キャラ」に基づく反応の演じ分けによって矛盾性を変化させ、矛盾性を伴う反応であるポジティブな反応を返す「穏やか」、「社交的」のキャラによる演技は、矛盾性を伴わないネガティブな反応を返す「悲観的」、「神経質」のキャラによる演技に比べ、面白い印象を与えることを示した。これらにより、状況と矛盾した行動生成により定量的な笑い誘発刺激が生成できることを示した。

第5章の研究では、本研究の意義に関する考察を行った。第1点目として、本研究で実現された定量性・再現性・臨場感を備えたロボットの全身動作による笑い誘発刺激は人間の笑い誘発メカニズム解明に強力なツールを提供するものであることを示

した。第2点目として、人間のお笑い芸人やCGアニメーションに比べ、ロボットは笑い誘発刺激の演者として同等以上の面白さを与えることができること、さらにロボット実機の動作を被験者に直接呈示する刺激は、ビデオにより間接的に呈示する刺激よりも有意に面白いことを示した。これらから、ロボット実機が全身動作によって笑い誘発刺激の演者として十分な役割を果たし得ること、ロボットが臨場感を備えた新たな笑いコンテンツとして活躍し得ることを示した。さらに、ロボットによる笑い誘発刺激の呈示前後で被験者の心理状態がポジティブに変化したことを示し、ロボットが笑いの持つ効果を活用することで活躍の場を広げる可能性を示した。

最後に、第6章（本章）にて、本研究の結論と今後の展望について報告する。

以上本論文の成果をまとめると次のようになる。

- (a)人間の笑い誘発メカニズム解明のため、定量性・再現性を伴う表現であるロボットによる笑い誘発刺激の活用を提案した（第1章）
- (b)表現手法を問わず刺激を面白く変化させる要因には高い共通性があることを確認、これを「笑いの方略」としてまとめた（第2章）
- (c)「笑いの方略」に基づくロボットの全身動作による笑い誘発刺激生成のモデルを提案、このモデルの有用性を確認した（第2章）
- (d)お笑い芸人のねたの解析により、人間の笑い誘発を目的とした腕部の誇張動作に必要な要求仕様を算出した（第3章）
- (e)肩関節に人間の鎖骨に相当する肩付け根部2自由度の追加と、腕部各関節に広い可動域を持たせることで「動作の大きさ」による誇張動作を実現するロボット腕部ハードウェアを開発した（第3章）
- (f)2つのモータを並列して駆動する機構と、フレキシブルシャフトを用いたトルク伝達によりモータを胴体部に配置することで軽量かつ高出力な腕部関節を実現させ、「動作の速さ」による誇張動作を実現するロボット腕部ハードウェアを開発した（第3章）
- (g)パラレルリンク機構の採用により、軽量かつ広可動域・高速動作を実現するロボット手首部ハードウェアを開発した（第3章）
- (h)「漫符」の感情認識への有効性を定量的に確認した（第3章）
- (i)「漫符」をロボット頭部に表示することで、誇張した感情表現を実現するハードウェアを開発した（第3章）
- (j)大きさ・速度を誇張した動作の笑い誘発への有効性を確認した（第3章）
- (k)ロボットの全身動作の速さが印象の面白さに与える影響を定量的に確認した（第3章）

章)

(l)気質の傾向に応じ、動作の特徴のうち「姿勢」、「動作の速さ」、「動作の大きさ」、「表情」に変化が表れることを確認した（第4章）

(m)ロボットが「姿勢」、「動作の速さ」、「動作の大きさ」、「表情」を変化させることで、気質の傾向を演じ分けることができることを確認した（第4章）

(n)ロボットが気質の傾向を演じ分けることで、置かれた状況と自身の行動の矛盾性を変化させ、面白い印象を与えることができることを確認した（第4章）

(o)同じねた表現を行う場合、ロボットを演者にすると、人間のお笑い芸人やCGアニメーションを演者とした場合に比べ同等以上の面白さを与えられることを確認した（第5章）

(p)(o)により、ロボットを人間の笑い誘発メカニズム解明のためのツールとして使用する妥当性を確認した（第5章）

(q)同じねた表現を行う場合、ロボット実機により演技を直接呈示すると、ビデオを介した演技より有意に面白い印象を与えられることを確認した（第5章）

(r)基礎的な実験から、ロボットによる人間の笑い誘発を通じ心理的な健康増進効果を活用できる可能性が示唆された（第5章）

以上要するに、本論文では人間の笑い誘発メカニズムの解明のため、ロボットの全身動作による再現性・定量性を伴う笑い誘発刺激を実現し、これをロボット実機で演じることで臨場感を伴った刺激の呈示を実現させることを目的としている。その成果として、全身動作の印象を面白く変化させる要因が特定され、これを用いてロボットの全身動作による笑い誘発刺激を生成するためのモデルが構築された。このモデルに基づき、ロボットの誇張した動作生成と状況と矛盾した行動生成が実現され、これらによって定量的な笑い誘発刺激が生成できることが確認された。さらに、誇張表現に対応したロボット腕部・頭部の設計法が明らかとなった。

これらの成果は、まず本研究が提案する通り人間の笑い誘発メカニズム解明のための強力なツールを心理学・社会学をはじめ広い学術分野に提供するものである。これだけでなく、ロボット実機にお笑いを演じさせることによる新たなコンテンツの実現や、健康増進に代表される笑いの持つ効果を利用したロボットの活用など、これまでにない分野にロボットの活躍の場を大きく広げることに貢献するものであるといえる。

6.2 今後の展望

本研究において、全身動作に面白い印象を与える要因を「笑いの方略」として抽出・特定し、この「笑いの方略」に基づいてロボットの全身動作による笑い誘発刺激を生成するためのモデルを提案した。このモデルのうち、「誇張」した動作生成と「矛盾」した行動生成を通じ、実際にロボットによって定量的な笑い誘発刺激が実現されることを確認した。

本研究をさらに発展させ、ロボットによる効率的な人間の笑い誘発、笑いの効果を用いたロボットの社会貢献につなげていくためには、ハードウェア、ソフトウェア両面から以下のような取り組みが必要になると考えられる。

6.2.1 ハードウェア

本研究を通じ、誇張動作が可能なロボット腕部と、表情による誇張した感情表現能力を持つロボット頭部が開発された。この中で、広可動域を持ち、高速動作が可能な腕部が全身動作の面白い印象にとって重要であることが示されたように、動作そのものを誇張して表現する能力は、人間の笑い誘発を目指すロボットのハードウェアにとってなくてはならない性能であると考えられ、今後この特徴は全身のハードウェアに拡張されていくべきであると考えられる。例えば、本研究で開発した範囲は腕部のみにとどまっているが、手部、体幹部・腰部、脚部など、2足ヒューマノイドロボット全身から考えると、未だ誇張した動作が実現できていない部位は多く残っている。今後これらの部位に誇張動作が実現できる機能が搭載されたとき、はじめて KOBIAN は全身で誇張した笑い誘発刺激を生成することが可能になると考えられる。理想的には、ロボットにおいて人間のお笑い芸人のように、あるいはそれを越えた誇張の度合いで全身で跳ね回るような表現が達成されれば、ロボットはこれまでにない笑い誘発刺激の表現ツールとして広く社会に認知されるようになることが期待される。

さらに、ロボット頭部の表情において表情各部の変形だけでなく、「漫符」という全く異なる表現手法を組み合わせることで、感情の誇張表現が可能になることが示された。ロボットの全身表現においても、例えばCGの世界においては音や光など、動作以外の表現手法を組み合わせることによる誇張表現は広く行われている。ロボット実機においてもこれらの表現を導入することで、さらに印象を誇張した表現が可能になると考えられる。

6.2.2 ソフトウェア

(i) 「笑いの方略」を適用する対象の拡大

本研究では、全身表現による笑い誘発刺激のために「笑いの方略」そのものの有効性、「誇張」や「矛盾」といった構造の持つ有効性を検証することに特に注目した研究を行った。このため、「笑いの方略」によって変化させられるロボットの動作の特徴のうち利用できている特徴はごく一部にとどまっている。

まず、物理的な特徴のみを考えても、本研究ではハードウェアの制約から腕部の動作に強く注目していたが、本来全身表現では脚部や腰部を含め、ロボットの全身の運動を取り扱う必要がある。さらに、動作の特徴のうち変更した特徴は速度や動作の速さなど、一部の特征にとどまっていた。今後、加速度、動作のタイミングなど注目すべき動作の特徴はまだ多く残されている。

さらに、抽象的な特徴を含んで考えると、さらに考慮すべき範囲は広がる。本研究では抽象的なパラメータとして「気質の傾向」を導入し、これを変化させることでロボットに「キャラ」を演じさせた。このように、ロボットは抽象的な特徴もモデルを構築して実装することで定量的に表現することが可能である。人間の性格や特性などのモデルは心理学を中心に数多く提案されており、これらを選択して実装することで、抽象的な概念についても予想の裏切りという基本原則をもとに笑い誘発のために活用できると考えられる。

(ii) 多様な笑い方略の導入

本研究では、特に刺激を定量的に変化させられることを期待し、「笑いの方略」のうち「誇張」および「矛盾」の構造に強く注目した。一方で、本研究で行われた方略以外にも「笑いの方略」として抽出された方略には「反復」や「唐突な変化」が残されている。これらを導入することで、さらに多様な笑い誘発刺激の生成が期待される。

(iii) 方略を混合した表現

本研究では、検証を容易にするため可能な限り単一の「笑いの方略」に基づく構造で説明できる笑い誘発刺激の生成に限定して研究を進めた。一方、これらを混合した表現についても検討を進める必要がある。例えば、第2章の研究で多くの被験者を笑

わせていた「ますおさんのものまね」のねたに注目すると、このねたが面白い理由は単一の方略のみでは説明できず、動作や声の大きさの「誇張」・同じ動作の「反復」・声色や動作の速さの「唐突な変化」など、1つの動作に3つの「方略」による特徴が凝縮されている。このように、「笑いの方略」の構造は多重に利用できるものである。効率的な笑い誘発刺激の生成のためには「笑いの方略」を複合して利用することの有効性を検証する必要がある。

6.2.3 インタラクション中の笑い誘発への拡張

本研究においては「笑いの方略」に基づいて変化させる対象となるロボットの動作の内容は事前に定義されたものであった。しかし、本来ロボットの笑い誘発刺激は人間に入力されてはじめて役割を果たすものであり、必ず刺激の相手が存在する。このとき、ロボットは自己完結型の笑い誘発刺激の生成にとどまらず、人間とのインタラクションの中で動的に笑い誘発刺激を生成していくべきだと考えられる。笑いの原則は相手の予想の裏切りである。このため、笑い誘発刺激の演技者は、笑い誘発刺激を生成する前に、刺激を出力する相手の予想を可能な限り高い精度で知っておき、これを裏切ることが効率的な笑い誘発刺激の生成につながるためである。このためには、笑い誘発刺激を生成するロボットが周囲の環境や相手の状態を特定の状態へと導き、受け手の予想を能動的に生み出させるか、あるいは受け手の状態や属性を読み取って、それらから受け手が持っているであろう予想を推測する精度を上昇させることが有効である。

以上のような枠組みを実現するためには、下のような点に取り組む必要があると考えられる。

(a) インタラクションのシナリオや状況に合わせた動作生成

「笑いの方略」の構造を利用して変化させることのできる対象は多岐にわたるうえ、これらはインタラクション中に変化していく。例えば、人間が握手を求めてきたら、ロボットは通常握手を返すと予想されるが、この「握手の動作」を「笑いの方略」を基に変化させて、予想を裏切り、相手の笑いを誘発するといったように、インタラクションにおいては刻一刻とロボットがとるべき動作へ変化していく。実環境におけるインタラクションにおいてはロボットがインタラクション中の周囲の環境、自身に求められている動作の内容などの中から自律的に「笑いの方略」を適用する対象を選択することが必要になる。

(b) 相手の属性や状態に合わせた動作生成

本研究における評価実験においても、被験者がユーモアを感じる程度には大きな個人差があった。これは、被験者の特性が影響を及ぼしていると考えられる。例えば、先行研究において被験者の年齢や性別は笑い誘発反応に影響を与えることがわかっている。

さらに、特性を外部から明示的に確認することができないものの、被験者が有する特性に「経験」がある。例えば、物まね芸はその対象を知っているかどうかは1つの鍵になる。このように、笑い誘発刺激の演者は相手が何を知っていて、これによって現在の状況から何を予想するかを判断し、これを裏切る必要があると考えられる。

これらの被験者に関する特性や状態をロボットがインタラクションの前にすべて知っていることは現実的ではないため、ロボットはインタラクションを行う中で、自分が笑いを誘発したい対象の人間がどのような特性を持つのかを判断していかななくてはならない。このためには、インタラクション相手のどのような属性や状態が笑い誘発にどのように影響を与えるかをモデル化する必要がある。

6.2.4 実地での活用

先行研究において、笑いは幅広い効果を持つことがわかっている。この代表例に精神疾患の予防・治療効果がある。本研究においても、ロボットによる人間の笑い誘発によって、人間の心理的な健康増進に寄与することが基礎的に示唆された。これは、将来的にロボットが医療介護分野において、例えば老人ホームにおいて周りの老人を笑わせて認知症の進行を抑制するなど、ロボットの活用の幅を大きく広げる可能性を示唆するものである。本研究の知見を今後実地での活用につなげていくためには、実地での試験と改良を繰り返し行うことが重要である。

附録 A くすぐりロボット

- A.1 背景
- A.2 人間をくすぐるロボットハンドの開発
- A.3 評価実験

A.1 背景

本研究で実現させたロボットの全身動作による人間の笑い誘発も含め、既存の人間の笑い誘発を目指したロボットはすべて視覚刺激、聴覚刺激による笑い誘発を目指したものである。人間同士のインタラクションにおいては相手の笑いを誘発する手段として視覚・聴覚刺激のみならず「くすぐり」による触覚刺激が頻繁に用いられる。くすぐりはそのものが笑いを誘発することが明らかになっており[68]、視覚、聴覚刺激に加えロボットのくすぐりによる触覚刺激が実現されれば、人間とロボットの笑い誘発を通じたインタラクションが多様化することが期待される。また、くすぐりによる触覚刺激は、刺激と反応の関係が視覚刺激や聴覚刺激に比べより単純で効率的な笑い誘発を実現する可能性をもつものと考えられる。さらに、再現性のある定量的なくすぐりの実現により、触覚刺激を通じた「くすぐったさ」の感覚の発生および笑い誘発のメカニズムの解明への応用が期待される。これまでくすぐりによる笑い誘発をロボットと関連付けた例は Blakemore らが行った手の平部位に触覚的くすぐり刺激を遅延して提示すると自己操作においても他者による装置の操作と同様なくすぐったさの感覚が感じられたという報告[69]がある。また、Harris らは被験者にロボットがくすぐると伝えた場合でもくすぐったさを感じ、笑いが誘発されたことから人間はロボットによるくすぐりによっても笑いを誘発される可能性を示した[70]。しかし、ロボットにより人間を積極的にくすぐることで笑い誘発を目指した研究例はない。本研究は、多感覚を通じた刺激を複合的に用いて積極的に人間の笑いを誘発するロボットの実現の第一段階としてくすぐりを通じた触覚刺激により人間の笑いを誘発する装置の開発を目的とする。

A.2 人間をくすぐるロボットハンドの開発

A.2.1 くすぐりの入力方法

人間が触覚刺激から感じるくすぐったさの程度には、その印加位置が大きく影響を

与えることがわかっている。Harris は実験により人間の体の様々な部位に刺激を印加し、もっとも強くくすぐったさを感じる部位は脇の下であることを明らかにした[71]。これを踏まえ、本研究では脇の下の部位への典型的なくすぐりの印加方法である揉み動作をロボットによる人間の笑い誘発の目標動作に設定した。

A.2.2 ロボットの要求仕様の決定

ロボットが人間と同様の揉み動作を実現するため、可動範囲、力、動作速度の要求仕様をそれぞれ実験的手法により求めた。人間は通常「親指のみの1本の指」を一方、「人差し指から小指の4本の指」を他方とした二対を開閉させることで揉み動作を行う。ここで、人間の脇の下は二つの刺激を受けている点がどれだけ離れていれば二点で刺激を受けていると判別することが可能かを表す二点弁別閾の平均が40[mm]以上である[72]。この結果から、ロボットで揉み動作を行う際、「人差し指から小指の4本の指」を別々の指として実現する必要はないと考えられる。本研究において開発されるロボットの揉み動作を行う指は、両側から一点で刺激を加えるものとした。この方針に従い、要求仕様を定めるための下記の実験はすべて人間の指のうち親指を一方、中指を他方とした二本の指の運動の計測により行った。

(a) 可動範囲

ロボットのハンドが人間の揉み動作の再現に必要な可動範囲を調べた。22名（男性13名、女性9名、平均年齢20.6歳、S.D. 0.598）の被験者にくすぐりのための自然な揉み動作を利き手で行ってもらい、親指と人差し指が開閉のために移動する量をノギスで測定した。この結果、移動量の平均は一指で21.3[mm]であったため設計するロボットでは各指が20[mm]以上の開閉を連続的にこなすことを目標とした。

(b) 力

ロボットの指先が人間の揉み動作を再現するために出力する必要がある力を求めるため、被験者の親指、中指の腹に直径5[mm]の円形の圧力センサ（FSR400, Interlink Electronics Inc.製）を貼り付け、人間の脇の下を揉み動作によりくすぐっている最中に発生する力の最大値を計測した。実験には7名の被験者（男性5名、女性2名、平均年齢22.4歳、S.D. 1.51）が参加した。実験の結果、揉み動作中に指先で発生している力の最大値の平均は親指で14.1[N]（S.D. 0.914）、中指で13.1[N]（S.D. 1.22）であることがわかった。このことから、ロボットが揉み動作中に指先で発生する必要がある力を15[N]に定めた。

(c) 動作速度

人間の揉み動作によるくすぐりの観察から、人間の揉み動作の速度は個人差が大きいことがわかった。このため、ロボットでは人間が行える揉み動作の速度の網羅的な実現をめざした。人間が指を全力で開閉させる動作を行った際の速度を十分に満たすことができることを考慮し、指先の開閉を 5[Hz]で行えることをロボットの要求仕様として定めた。

A.2.3 ロボットの開発

A.2.2 で定められた要求仕様を実現できるロボットの設計、製作を行った。ロボットの全体像を Fig. A.1 に示す。ロボットの全体重量は 1.4kg である。ロボットにはマイコン (STM32F100, STMicroelectronics 製) が搭載され、RS232 による通信を通じ外部の PC から揉み動作の速度を調節できる。各部の機構は Fig. A.2 のように配置されている。詳細を以下に示す。

(a) 開閉機構

揉み動作には、「指を閉じながら引く」という指先の軌跡の実現が求められる。この動作を可能な限り少ない自由度で実現し、かつ後述の安全機構の取り付けが容易であるという理由から、本研究で開発されたロボットには Fig. A.3 のクランク、リンクを組み合わせた自由度配置による機構を搭載した。まず、モータの回転はクランク機構により直動運動に変換される。この直動運動がハンド部のリンクを動作させ、指先の開閉運動が実現される。ここで、被験者の体格が変化しても、ロボットが同等の揉み動作の軌跡を実現するために、Fig. A.3 のリンク長 l を 80[mm], 100[mm], 120[mm] の三段階に変化させることで、Fig. A.4 のように体の厚みによらず、同等の指先の軌跡および開閉の移動量を実現させた。

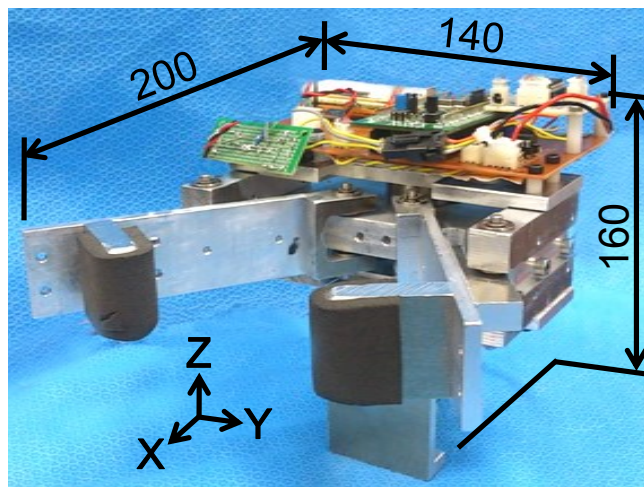


Fig. A.1 Developed robotic hand for tickling humans

アクチュエータは、指先で力 15[N]を発生させるためのトルク 0.4[Nm], 指先の開閉速度 5[Hz]を実現するための回転速度 300[rpm]を両立できることを考慮して選定した DC ギャードモータ (TG-85R-SU-47.9-KA, ツカサ電工株式会社製, 定格 12[V]) を搭載した。

(b) 安全機構

揉み動作中の被験者の体動, ロボットの誤動作などによって想定外に大きな荷重が人間の体に印加されることを防ぐため, 指先が人間の体に対し一定以上の力を印加できないようにする安全機構を取り付けた (Fig. A.3). この安全装置は設定以上の力が指先に発生すると磁石が外れることで, モータからリンクへの力の伝達が遮断される構造である。

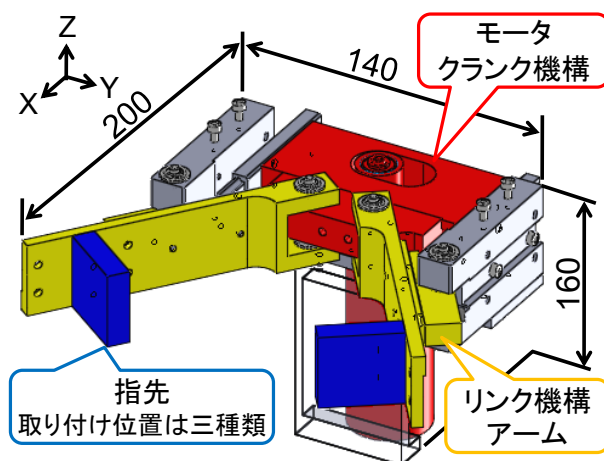


Fig. A.2 Placement of mechanism on developed robotic hand

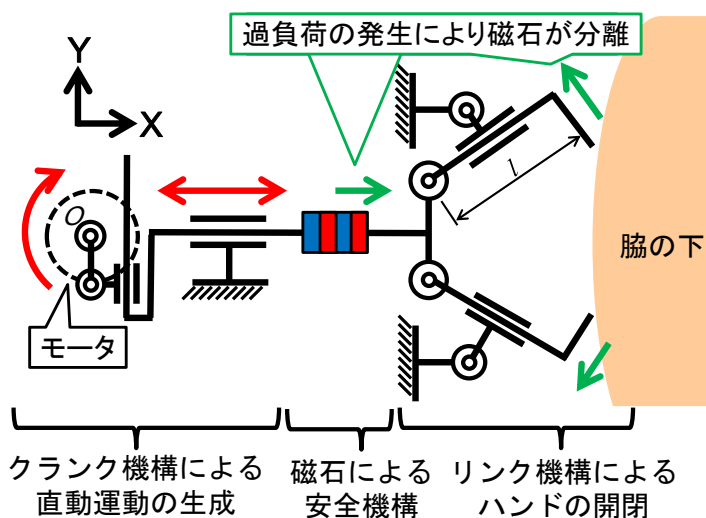


Fig. A.3 Mechanism for tickling ribs of human

(c) 指先

前述のように、人間の脇の下は二点弁別閾が十分大きいいため、身体に接触するロボットの指先は単一のブロック状とした。指先の形状がくすぐったさに与える影響を検討するため、Fig. A.5 のように二種類の指先形状およびスポンジの有無の 4 種類の形状を用いて実験を行った。この結果、人間の指先の形状に近い Fig. A.5(a)および(b)の先端部が鋭利な形状は体への接触面積が小さいためにかかる圧力が高く、体に刺さるような感覚が感じられるためにくすぐったさが全く感じられなかった。一方、直方体の角を丸めた形状である Fig. A.5(c), (d)ではくすぐったさが感じられた。また、金属片が直接体に触れると痛みが感じられたため、スポンジを巻いた Fig. A.5(d)を採用した。

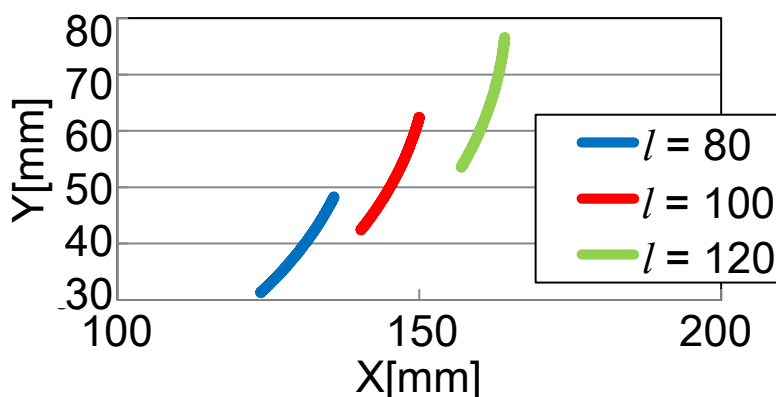


Fig. A.4 change of trajectory of fingertip depend on the mounting position of fingertip on arm
(Coordinate system is shown as Fig. A.3. The origin is the shaft of the motor.)

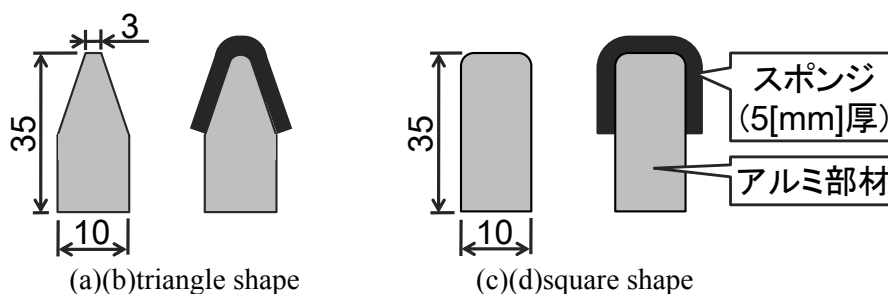


Fig. A.5 Shape of fingertip

A.3 評価実験

A.3.1 実験方法

完成したロボットが揉み動作により人間をくすぐることができるか、またその際に「くすぐったい」感覚を与え、人間の笑いを誘発することができるかを調べるため、評価実験を行った。実験には15名（すべて男性、平均年齢21.7歳、S.D. 1.63）が参加した。衣服の条件を統一するため、被験者はFig. A.6のように薄手のシャツのみを着用した。ロボットを見たり、動作音を聞くことによる視覚・聴覚による影響を遮断するため、被験者はアイマスクを着用、ロボットの動作音が聞こえない程度の音量で自然の音を流したヘッドフォンを装着した。事前に行われた予備実験の結果、ロボットが刺激を与える位置のうち最もくすぐったさを感じる部位には個人差がほとんどなく、脇の下の肋骨の下端付近であることがわかったため、被験者に対するくすぐり刺激はこの位置に与えた。繰り返しの実験中、刺激を行う位置にずれが生じないため、被験者のシャツの上から刺激を行う点にシールを貼り付け、必ずこの点に刺激を行った。また、実験中、被験者の体動や手の動きに即座に対応し、怪我を負わせることが無いよう、ロボットは実験者が手で保持して被験者に押し当てる方法で実験を行った。さらに、被験者の体格によるロボットの指先の軌跡の差異を減少させるため、実験前に被験者の肋骨下の胴回りの周長を計測、この大きさに応じてロボットの指先の取り付け位置を三種類に変化させた(胴回りの長さが70[cm]以下の場合にはFig. A.3の $l = 80$ [mm], 70[cm]から80[cm]の場合には $l = 100$ [mm], 80[cm]以上の場合には $l = 120$ [mm]とした)。

実験は以下の手順で実施した。予備実験の結果からロボットの指先の開閉動作の速度によって感じるくすぐったさには個人差が大きい傾向がみられたため、予備実験から決定した三種類の指先の開閉の周波数(3.5[Hz], 4.0[Hz], 4.5[Hz])をランダムな順にロボットに発生させ、一回ごとに5[s]の間被験者にロボットを押し当てる試行を三



Fig. A.6 Experimental setup

回実施した。つづいて、ロボットによるくすぐりと人間によるくすぐりに対する反応を比較するため、実験者が被験者を 5[s]の間くすぐり、被験者の反応を記録した。

A.3.2 実験結果

結果は以下の手法で記録した。まず、それぞれの刺激を被験者に与えている間の被験者の様子をビデオで記録した。実験後ビデオを確認し、反応を分類した。被験者が吹き出し笑いを示した場合は「笑い」、表情を変化させて笑顔になった場合は「笑顔」、これらの反応がみられなかった場合には「無反応」として記録した。さらに、被験者が感じた「主観的なくすぐったさ」を計測するため、刺激の終了後被験者にくすぐり刺激の開始直後、終了直前に感じた主観的なくすぐったさを五段階で回答してもらった。

まず、実験を通じ、15名の被験者中6名が笑い反応を示し、4名が笑い反応は示さなかったものの、表情に笑顔が観察された。また、主観的なくすぐったさの評価においては、被験者全員が大小の差はあるもののくすぐったさを感じたと回答した。この結果から、本研究を通じて開発されたロボットが人間を脇の下への揉み動作によりくすぐることを通じ、笑いを誘発することができたことが確認された。また、ロボットの指先の開閉の周波数の変化による被験者の反応を Fig. A.7 に示す。この結果から、周波数の変化により明確な反応の差異はみられなかったことがわかった。ただし、指先の開閉の周波数 4.5[Hz]と 4.0[Hz]に対する被験者の反応を比較すると、4.0[Hz]に比べ、4.5[Hz]においては笑い反応を示した被験者は減少するものの、笑顔の反応を示した被験者が増加した。これは、揉み刺激の速度が速すぎるために、揉みではなく振動の刺激として知覚されたためではないかと考えられる。また、主観的なくすぐったさの評価においても、周波数の変化による明確な差異はみられなかった。

次に、人間とロボットのくすぐりに対する被験者の反応の比較を Fig. A.8 に示す。この結果から、ロボットによるくすぐりは人間によるくすぐりとほぼ同等の反応を被験者から引き出したことがわかる。一方、ロボットによるくすぐりの反応は実験開始直後においては被験者を笑わせたものの、実験時間が経過するにつれ被験者の反応が

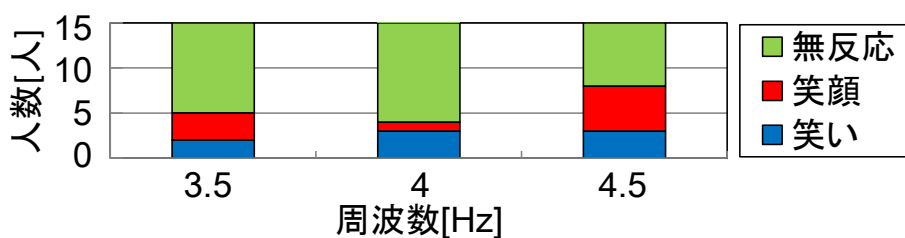


Fig. A.7 Comparison of response of subjects depend on the speed of the rubbing motion

少なくなる傾向がみられた. Fig. A.9 に人間とロボットによるくすぐり刺激の開始直後と終了直前に被験者が感じた主観的なくすぐったさを示す. 人間によるくすぐり刺激においては, 開始直後と終了直前で主観的なくすぐったさに明確な変化はみられな
いが, ロボットによるくすぐり刺激においては, 開始直後に比べ終了直前では主観的なくすぐったさの有意な減少がみられた.

また, 実験回数による笑い反応 (Fig. A.10), 主観的なくすぐったさ (Fig. A.11) の変化をみても, それぞれの試行においてロボットの指先の開閉の周波数が異なるにもかかわらず実験回数を重ねるごとに笑い反応, 主観的なくすぐったさの評価の減少が

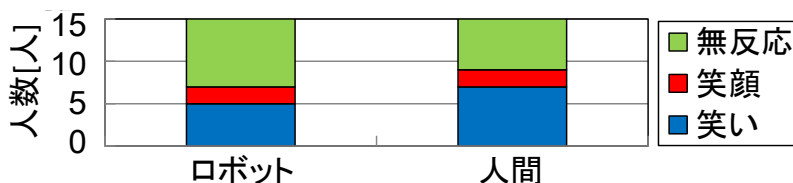


Fig. A.8 Comparison of response of subjects tickled by robot and human

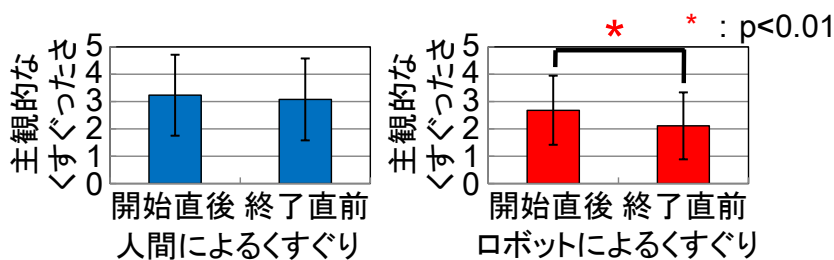


Fig. A.9 Comparison of subjective ticklish in start and end of experiment tickled by robot and human

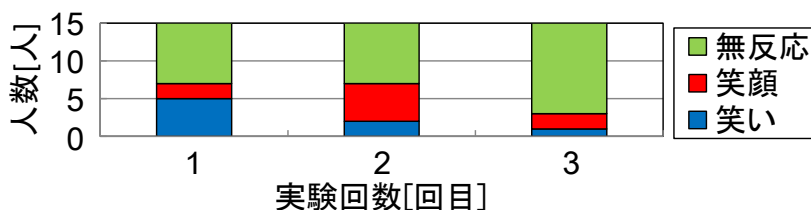


Fig. A.10 Change of response of subject depend on the number of experiments

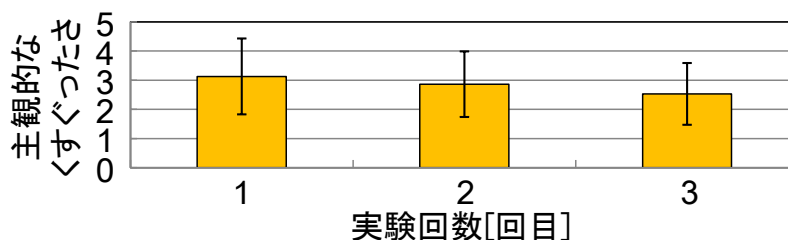


Fig. A.11 Comparison of subjective ticklish depend on the number of experiments

みられた。今回の実験においては、ロボットによるくすぐりは一定の周波数が連続した動作によって実現されており、被験者がくすぐり刺激に慣れたことがこれらの結果に結びついたと考えられる。

参 考 文 献

- [1] C. J. Murray and A. D. Lopez, “Quantifying disability: data, methods and results,” *Bull. World Health Organ.*, vol. 72, no. 3, pp. 481–494, 1994.
- [2] “The World Mental Health Survey Initiative.” [Online]. Available: <http://www.hcp.med.harvard.edu/wmh/>. [Accessed: 03-Jan-2016].
- [3] K. Demyttenaere, R. Bruffaerts, J. Posada-Villa, I. Gasquet, V. Kovess, J. P. Lepine, M. C. Angermeyer, S. Bernert, G. de Girolamo, P. Morosini, G. Polidori, T. Kikkawa, N. Kawakami, Y. Ono, T. Takeshima, H. Uda, E. G. Karam, J. A. Fayyad, A. N. Karam, Z. N. Mneimneh, M. E. Medina-Mora, G. Borges, C. Lara, R. de Graaf, J. Ormel, O. Gureje, Y. Shen, Y. Huang, M. Zhang, J. Alonso, J. M. Haro, G. Vilagut, E. J. Bromet, S. Gluzman, C. Webb, R. C. Kessler, K. R. Merikangas, J. C. Anthony, M. R. Von Korff, P. S. Wang, T. S. Brugha, S. Aguilar-Gaxiola, S. Lee, S. Heeringa, B.-E. Pennell, A. M. Zaslavsky, T. B. Ustun, S. Chatterji, and WHO World Mental Health Survey Consortium, “Prevalence, severity, and unmet need for treatment of mental disorders in the World Health Organization World Mental Health Surveys,” *JAMA*, vol. 291, no. 21, pp. 2581–2590, Jun. 2004.
- [4] “精神疾患のデータ | 専門的な情報 | メンタルヘルス | 厚生労働省.” [Online]. Available: <http://www.mhlw.go.jp/kokoro/speciality/data.html>. [Accessed: 05-Jan-2016].
- [5] 栗原久, 田所作太郎, “薬物乱用の行動薬理学,” *衛生化学*, vol. 31, no. 4, pp. 227–236, 1985.
- [6] 三宅優, 横山美江, “健康における笑いの効果の文献学的考察,” *岡山大学医学部保健学科紀要*, vol. 17, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2007.
- [7] 三宅優, 横山美江, “看護ケア領域における笑いの有効性に関する文献学的考察,” *日本看護科学会誌*, vol. 31, no. 3, pp. 3_61–3_67, 2011.

- [8] 坂本栄, “うつ病者の笑いの精神生理学的研究: 笑いの際のポリグラフィーおよび表情筋積分筋電図,” 大阪大学, 1995.
- [9] 高山成子, 千田友子, “軽度・重度痴呆症患者における笑いの種類と笑いを引き出す方法についての研究,” 笑い学研究, no. 10, pp. 149–152, Jul. 2003.
- [10] J. R. Averill, “Autonomic Response Patterns During Sadness and Mirth,” *Psychophysiology*, vol. 5, no. 4, pp. 399–414, Jan. 1969.
- [11] A. J. Chapman and H. C. Foot, *Humour and laughter: theory, research and applications*. Transaction Publishers, 1996.
- [12] M. DENEIRE, “Humor and foreign language teaching,” *Humor - International Journal of Humor Research*, vol. 8, no. 3, pp. 285–298, 2009.
- [13] J. Morreall, *Humor Works*. Amherst, Mass: Human Resource Development Pr, 1997.
- [14] 牧野幸志, “説得に及ぼすユーモアの種類と量の効果,” 感情心理学研究, vol. 6, no. 1, pp. 1–16, 1998.
- [15] “日本笑いヨガ協会.” [Online]. Available: <http://waraiyoga.org/>. [Accessed: 05-Jan-2016].
- [16] “NPO 法人ラフターヨガジャパン.” [Online]. Available: <http://laughteryoga.jp/>. [Accessed: 05-Jan-2016].
- [17] 福島裕人, “ラフター(笑い)ヨガの効果に関する基礎的研究,” 笑い学研究, no. 15, pp. 56–63, Jul. 2008.
- [18] 水野敬也, 小林昌平, 山本周嗣, ウケる技術. 東京: 新潮社, 2007.
- [19] 田中アイデア, 社会人が知っておくべき笑いのマナー ビジネスでもプライベートでも使える 108 のお作法, 四六版. 東京: リットーミュージック, 2012.

- [20] 難波義行, 一流芸能人がやっている ウケる会話術——場を盛り上げ相手を楽しませる話し方. 東京: こう書房, 2009.
- [21] 木村洋二, 池田資尚, “横隔膜式笑い測定機と笑いの科学の可能性(1): 笑い測定機の冒険,” 笑い学研究, no. 15, pp. 233–234, Jul. 2008.
- [22] 松村雅史, 辻竜之介, “笑い声の無拘束・長時間モニタリング: 爆笑計(福祉と音声処理, 一般),” 電子情報通信学会技術研究報告. WIT, 福祉情報工学, vol. 105, no. 372, pp. 7–12, Oct. 2005.
- [23] S. Cosentino, T. Kishi, M. Zecca, S. Sessa, L. Bartolomeo, K. Hashimoto, T. Nozawa, and A. Takanishi, “Human-humanoid robot social interaction: Laughter,” *Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 1396–1401, Dec. 2013.
- [24] M. Kutas and S. A. Hillyard, “Reading senseless sentences: brain potentials reflect semantic incongruity,” *Science*, vol. 207, no. 4427, pp. 203–205, Jan. 1980.
- [25] 苧阪直行, 笑い脳——社会脳へのアプローチ. 東京: 岩波書店, 2010.
- [26] 上野行良, ユーモアの心理学—人間関係とパーソナリティ. サイエンス社, 2003.
- [27] R. L. Birdwhistell, *Kinesics and Context: Essays on Body Motion Communication*. Philadelphia: Univ of Pennsylvania Pr, 1970.
- [28] A. Mehrabian, *Silent Messages: Implicit Communication of Emotions and Attitudes*. Belmont, Calif: Wadsworth Publishing Company, 1972.
- [29] K. Hayashi, T. Kanda, T. Miyashita, H. Ishiguro, and N. Hagita, “Robot manzai: robot conversation as a passive–social medium,” *Int. J. Human. Robot.*, vol. 05, no. 01, pp. 67–86, 2008.

- [30] “愛・地球博「プロトタイプロボット展」開催.” [Online]. Available: <http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2005/0613/nedo.htm>. [Accessed: 05-Jan-2016].
- [31] R. Mashimo, T. Umetani, T. Kitamura, and A. Nadamoto, “Generating Funny Dialogue between Robots based on Japanese Traditional Comedy Entertainment,” 2014, pp. 1–7.
- [32] C. S. Wendt and G. Berg, “Nonverbal humor as a new dimension of HRI,” in *Robot and Human Interactive Communication, 2009. RO-MAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on*, 2009, pp. 183–188.
- [33] K. Katevas, P. G. Healey, and M. T. Harris, “Robot stand-up: Engineering a comic performance,” in *Proceedings of the 2014 Workshop on Humanoid Robots and Creativity at the*, 2014.
- [34] 志水彰, 角辻豊, 中村真, 人はなぜ笑うのか—笑いの精神生理学. 東京: 講談社, 1994.
- [35] 苧阪直行, 笑い脳——社会脳へのアプローチ. 東京: 岩波書店, 2010.
- [36] 織田正吉, 笑いのこころ ユーモアのセンス. 東京: 岩波書店, 2013.
- [37] エリックスマジヤ, 笑い — その意味と仕組み. 東京: 白水社, 2011.
- [38] J. M. Suls, “Chapter 4 - A Two-Stage Model for the Appreciation of Jokes and Cartoons: An Information-Processing Analysis,” in *The Psychology of Humor*, J. H. G. E. McGHEE, Ed. San Diego: Academic Press, 1972, pp. 81–100.
- [39] 木村洋二, 笑いを科学する—ユーモア・サイエンスへの招待. Tōkyō: 新曜社, 2010.
- [40] 浅井企画放送作家セミナー, プロ直伝 笑いの技術. 東京: 講談社, 2006.
- [41] 井山弘幸, 笑いの方程式—あのネタはなぜ受けるのか. 京都: 化学同人, 2007.

- [42] 中村明, 笑いのセンス——日本語レトリックの発想と表現. 東京: 岩波書店, 2011.
- [43] 上野行良, ユーモアの心理学—人間関係とパーソナリティ. サイエンス社, 2003.
- [44] 三輪洋靖, ヒューマノイドロボットの心理モデルに関する研究. 2004.
- [45] 小椋優, 人体運動シミュレータとしての 2 足ヒューマノイドロボットに関する研究, 2006.
- [46] 遠藤信綱, 全身情動表出ヒューマノイドの構成と表現に関する研究, 2013.
- [47] 岸竜弘, 遠藤信綱, 大谷拓也, K. Przemyslaw, 橋本健二, 中田圭, and 高西淳夫, “顔面各部の広い可動域および顔色により豊かな表情表現が可能な 2 足ヒューマノイドロボット頭部の開発,” 日本ロボット学会誌, vol. 31, no. 4, pp. 424–434, May 2013.
- [48] D. Morris, *Bodytalk: A World Guide to Gestures*. London: Jonathan Cape Ltd, 1994.
- [49] M. Okada, Y. Nakamura, and S. Ban, “Design of programmable passive compliance shoulder mechanism,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2001. Proceedings 2001 ICRA*, 2001, vol. 1, pp. 348–353 vol.1.
- [50] N. Sakai, Y. Sawae, and T. Murakami, “A Development of Joint Mechanism of Robot Arm Based on Human Shoulder Morphology,” in *First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, 2006, pp. 982–987.
- [51] Y. Ito, S. Nozawa, J. Urata, T. Nakaoka, K. Kobayashi, Y. Nakanishi, K. Okada, and M. Inaba, “Development and verification of life-size humanoid with high-output actuation system,” in *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2014, pp. 3433–3438.

- [52] J. Lenarcic, M. M. Stanisic, and V. Parenti-Castelli, “Kinematic design of a humanoid robotic shoulder complex,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00*, 2000, vol. 1, pp. 27–32 vol.1.
- [53] G. Metta, G. Sandini, D. Vernon, L. Natale, and F. Nori, “The iCub Humanoid Robot: An Open Platform for Research in Embodied Cognition,” in *8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems*, New York, NY, USA, 2008, pp. 50–56.
- [54] K. Kaneko, F. Kanehiro, M. Morisawa, K. Akachi, G. Miyamori, A. Hayashi, and N. Kanehira, “Humanoid robot HRP-4 - Humanoid robotics platform with lightweight and slim body,” in *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2011, pp. 4400–4407.
- [55] T. Kishi, T. Otani, N. Endo, P. Kryczka, K. Hashimoto, K. Nakata, and A. Takanishi, “Development of expressive robotic head for bipedal humanoid robot,” *Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 4584–4589, Oct. 2012.
- [56] エクマン P. , フリーゼン W. V., 表情分析入門—表情に隠された意味をさぐる. 誠信書房, 1987.
- [57] B. W. Tatler, N. J. Wade, H. Kwan, J. M. Findlay, and B. M. Velichkovsky, “Yarbus, Eye Movements, and Vision,” *i-Perception*, vol. 1, no. 1, pp. 7–27, Apr. 2010.
- [58] 菅生康子, 松田圭司, 山根茂, “呈示時間と注視部位が顔の表情判断に与える影響,” *電子情報通信学会論文誌 A, 基礎・境界*, vol. 80, no. 8, pp. 1319–1323, Aug. 1997.
- [59] 柴田論, 猪岡光, “評定尺度法によるロボット運動の心理的評価,” *人間工学*, vol. 31, no. 2, pp. 151–159, 1995.
- [60] P. H. Lindsay and D. A. Norman, *Human Information Processing: Introduction to Psychology*, 2nd Revised 版. New York: Academic Press Inc, 1977.

- [61] S. S. Stevens, *Psychophysics: Introduction to Its Perceptual, Neural, and Social Prospects*. New Brunswick, U.S.A: Transaction Pub, 1986.
- [62] 瀬沼文彰, キャラ論. 東京: STUDIO CELLO, 2007.
- [63] F. Hegel, F. A. Eyssel, and B. Wrede, “The Social Robot Flobi: Key Concepts of Industrial Design,” in *Proceedings of the 19th IEEE International Symposium in Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2010)*, 2010.
- [64] 三輪洋靖, 伊藤加寿子, 高信英明, 高西淳夫, “人間との情緒的コミュニケーションを目的とした人間形頭部ロボットの開発: 第3報, 情動方程式・ロボットパーソナリティの導入(機械力学, 計測, 自動制御),” *日本機械学会論文集. C 編*, vol. 70, no. 699, pp. 3244–3251, Nov. 2004.
- [65] H. J. Eysenck, *Dimensions of Personality*. Transaction Publishers, 1950.
- [66] S. Guimond and W. Massrieh, “Intricate Correlation between Body Posture, Personality Trait and Incidence of Body Pain: A Cross-Referential Study Report,” *PLoS ONE*, vol. 7, no. 5, p. e37450, May 2012.
- [67] 齋藤崇子, 中村知靖, 遠藤利彦, 横山まどか, “性格特性用語を用いた Big Five 尺度の標準化,” *九州大学心理学研究*, vol. 2, pp. 135–144, Mar. 2001.
- [68] 山口創, 皮膚感覚の不思議—「皮膚」と「心」の身体心理学. 東京: 講談社, 2006.
- [69] “Why can’t you tickle yourself?: NeuroReport,” *LWW*. [Online]. Available: http://journals.lww.com/neuroreport/Fulltext/2000/08030/Why_can_t_you_tickle_yourself_.2.aspx. [Accessed: 09-Feb-2016].
- [70] C. R. Harris and N. Christenfeld, “Can a machine tickle?,” *Psychon Bull Rev*, vol. 6, no. 3, pp. 504–510, Sep. 1999.
- [71] C. Harris, “The Mystery of Ticklish Laughter,” *American Scientist*, vol. 87, no. 4, p. 344, 1999.

[72] S. Weinstein, “Intensive and Extensive Aspects of Tactile Sensitivity as a Function of Body Part, Sex and Laterality,” in *ResearchGate*, 1968, pp. 195–218.

謝 辞

本研究を進めるにあたり，多大なご指導とご教示を賜りました早稲田大学理工学術院 高西淳夫教授に，深く感謝し心より御礼申し上げます．学部 3 年から現在に至るまで 7 年間，研究活動だけでなくあらゆる面において，温かく熱心なご指導とご激励を賜りましたこと，重ねて御礼申し上げます．そして本論文をまとめるにあたり，貴重な御時間を割いていただき，適切なお指導ご意見を賜りました早稲田大学理工学術院藤江正克教授，橋本周司教授，梅津光生教授，小林哲則教授に深く感謝いたします．

本論文は，筆者の修士課程および博士後期課程における研究成果をまとめたものであり，機械工学，ロボット工学，心理学の各分野の先生方から数え切れないほどのご助言を頂きました．とりわけ，機械工学的観点から適切なお助言を頂きました機械工学科の諸先生方および生命理工学専攻の諸先生方，早稲田大学ヒューマノイド研究所の諸先生方に深い感謝の意を表します．また，「笑い」に関する専門知識，実験方法をはじめ心理学的観点から適切なお助言を頂きました目白大学野澤孝司講師に深い感謝の意を表します．

そして，本研究を共に遂行した，高西淳夫研究室 2 足班 KOBIAN チームの，橋本健二助教，遠藤信綱助教，Matthieu DESTEPHE 氏，Gabriele TROVATO 氏，飯田文也氏，Martim BRANDAO 氏，児嶋卓也氏，中田圭氏，二木元氏，下村宗一郎氏，柳野浩志氏，金子勲矩氏に心より感謝いたします．さらに，高西淳夫研究室 2 足班の近藤秀樹氏，Aiman OMAR 助教，竹崎裕記氏，西川浩介氏，Przemyslaw KRYCZKA 氏，Sarah COSENTINO 氏，中村真志氏，本橋弘光氏，高本大己氏，粟野晴貴氏，飯塚晃弘氏，南重松行紀氏，孫瀟氏，瓜生和寛氏，八原昌亨氏，小泉文紀氏，濱元伸也氏，宮前俊介氏，磯道貴矢氏，寺町知峰氏，松澤貴司氏に心より感謝いたします．本研究に限らず，研究や開発についての多くのご助言を頂いた三輪洋靖氏，石井裕之講師，松崎泰憲氏，Massimiliano ZECCA 教授，Salvatore SESSA 講師，Luca BARTOLOMEO 氏に感謝いたします．

また，本研究に際し多大なご協力を頂きましたソリッドワークス・ジャパン株式会社様，株式会社クラレ様，中興化成工業株式会社様，STMicroelectronics 様，大電株式会社様，NiKKi Fron 株式会社様に感謝いたします．本研究でロボットに演技させたお笑いねたを作成していただきました鬼塚悠氏に感謝いたします．本研究でロボットに演技させたお笑いねたの使用許諾を頂きました株式会社ライジングプロ・ホールデ

イングス様，株式会社よしもとクリエイティブ・エージェンシー様，株式会社ワタナベエンターテインメント様，株式会社マセキ芸能社様，松竹芸能株式会社様に感謝いたします。ロボットでの気質の演技に関してアドバイスを頂いた Human Art Theater 様の工藤龍生氏と役者の皆様に感謝いたします。

さらに，これまで7年間研究生活を支えてくださいました太田久子様，伊藤輝美様，遠藤幸子様，穴井裕美様，渋谷真澄様をはじめとする高西研究室秘書の皆様，厚く御礼申し上げます。そして，これまで楽しく研究室生活を共にした高西研究室の諸先輩方，同輩，後輩方に感謝いたします。また，共に学位取得に励んだ高西研究室の大谷拓也氏に感謝いたします。

そして，学会等で御会いした折に議論に御付合いいただきご意見を頂きましたすべての研究者の皆様，関係者の皆様に感謝いたします。

最後に，筆者の研究活動を常に応援し，支えてくれた，両親と家族，すべての友人達に心より感謝いたします。

2016年2月

岸 竜弘

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者
1. 論文				
○	Development of a Humorous Humanoid Robot Capable of Quick-and-Wide Arm Motion	Robotics and Automation Letters, IEEE	掲載決定	岸竜弘, 下村宗一郎, 二木元 柳野浩志, 八原昌亨 Sarah Cosentino 野澤隆司, 橋本健二 高西淳夫
○	Development of a comic mark based expressive robotic head adapted to Japanese cultural background	Proceedings of the 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2608–2613	2014年9月	岸竜弘, 二木元, Gabriele Trovato, 遠藤信綱, Matthieu Destephe, Sarah Cosentino, 橋本健二, 高西淳夫
	Emotional gait: Effects on humans' perception of humanoid robots	Proceedings of the 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 261–266	2014年8月	Matthieu Destephe, Martim Brandao, 岸竜弘 Massimiliano Zecca, 橋本健二, 高西淳夫
	A multisensory non-invasive system for laughter analysis	Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	2014年8月	Sarah Cosentino, Susanne Burger, Lara Martin, Florian Metze, 岸竜弘, Kenji Hashimoto, S. Sessa, Massimiliano Zecca, 高西淳夫
	A Robotic Head that Displays Japanese 'Manga' Marks	Proceedings of the ROMANSY-2014 XX CISM-IFTOMM SYMPOSIUM on Theory and Practice of Robots and Manipulators, pp. 245-253	2014年6月	岸竜弘, 二木元, Gabriele Trovato, 遠藤信綱, Matthieu Destephe, Sarah Cosentino, 橋本健二, 高西淳夫
	Running model and hopping robot using pelvic movement and leg elasticity	Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 2313–2318	2014年5月	大谷拓也, 八原昌亨, 瓜生和寛, 飯塚晃弘, 橋本健二, 岸竜弘, 遠藤信綱, 阪口正律, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫
○	Bipedal humanoid robot that makes humans laugh with use of the method of comedy and affects their psychological state actively	Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1965–1970	2014年5月	岸竜弘 遠藤信綱, 野澤隆司, 大谷拓也, Sarah Cosentino, Massimiliano Zecca, 橋本健二, 高西淳夫

種類別	題 名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者
1. 論文 の続き				
	Does an infectious laugh occur between a robot and humans?	Proceedings of the International Conference: Going Beyond the Laboratory — Ethical and Societal Challenges for Robotics	2014 年 2 月	岸竜弘 二木元, 下村宗一郎, Sarah Cosentino, Massimiliano Zecca, 野澤隆司, 橋本健二, 高西淳夫
	Human-humanoid robot social interaction: Laughter	Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 1396–1401	2013 年 12 月	Sarah Cosentino, 岸竜弘, Massimiliano Zecca, Salvatore Sessa, Luca Bartolomeo, 橋本健二, 野澤隆司, 高西淳夫
	Cross-Cultural Perspectives on Emotion Expressive Humanoid Robotic Head: Recognition of Facial Expressions and Symbols	International Journal of Social Robotics, Vol. 5, Issue 4, pp. 515-527	2013 年 11 月	Gabriele Trovato, 岸竜弘, 遠藤信綱, Massimiliano Zecca, 橋本健二, 高西淳夫
	New shank mechanism for humanoid robot mimicking human-like walking in horizontal and frontal plane	Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 667–672	2013 年 5 月	大谷拓也, 飯塚晃弘, 高本大己, 本橋弘光, 岸竜弘, Przemek Kryczka, 遠藤信綱, Lorenzo Jamone, 橋本健二, 高嶋孝倫, 林憲玉, 高西淳夫
	Impression survey of the emotion expression humanoid robot with mental model based dynamic emotions	Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1663–1668	2013 年 5 月	岸竜弘, 児嶋卓也, 遠藤信綱, Matthieu Destephe, 大谷拓也, Lorenzo Jamone, Przemek Kryczka, Gabriele Trovato, 橋本健二, Sarah Cosentino, 高西淳夫
	Generation of humanoid robot's facial expressions for context-aware communication	International Journal of Humanoid Robotics, Vol. 10, Issue 01, 23 pages	2013 年 3 月	Gabriele Trovato, Massimiliano Zecca, 岸竜弘, 遠藤信綱, 橋本健二, 高西淳夫

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者
1. 論文 の続き				
	Shaping the Form of Tomorrows Robotic Faces	Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, Workshop 2 (Full day): Design of Human likeness in HRI: from uncanny valley to minimal design, pp. 14–18	2013年3月	Scean Mitchell, Matthieu Destephe, Massimiliano Zecca, 橋本健二, 岸竜弘, 飯田文也, 遠藤信綱, 高西淳夫
	Evaluation study on asymmetrical facial expressions generation for Humanoid Robot	Proceedings of the 2012 First International Conference on Innovative Engineering Systems, pp. 129–134	2012年12月	Gabriele Trovato, 岸竜弘, 遠藤信綱, 橋本健二, 高西淳夫
	Development of facial expressions generator for emotion expressive humanoid robot	Proceedings of the 12th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp. 303–308	2012年11月	Gabriele Trovato, 岸竜弘, 遠藤信綱, 橋本健二, 高西淳夫
	A Cross-Cultural Study on Generation of Culture Dependent Facial Expressions of Humanoid Social Robot	Proceedings of the 4th International Conference on Social Robotics, pp. 35–44	2012年10月	Gabriele Trovato, 岸竜弘, 遠藤信綱, 橋本健二, 高西淳夫
	Development of expressive robotic head for bipedal humanoid robot	Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4584–4589	2012年10月	岸竜弘, 大谷拓也, 遠藤信綱, Przemek Kryczka, 橋本健二, 中田圭, 高西淳夫
	Development of Expressive Robotic Head for Bipedal Humanoid Robot with Wide Moveable Range of Facial Parts, Facial Color	Proceedings of the 19th symposium on robot design, dynamics, and control, pp. 151–158	2012年6月	岸竜弘, 大谷拓也, 遠藤信綱, Przemek Kryczka, 橋本健二, 中田圭, 高西淳夫
	Development of Distributed Control System, Modularized Motor Controller for Expressive Robotic Head	Proceedings of the 19th symposium on robot design, dynamics, and control, pp. 183–190	2012年6月	大谷拓也, 岸竜弘, Przemek Kryczka, 遠藤信綱, 橋本健二, 高西淳夫
	Biped walking stabilization based on gait analysis	Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 154–159	2012年5月	橋本健二, 竹崎裕記, 本橋弘光, 大谷拓也, 岸竜弘, 林憲玉, 高西淳夫

種類別	題 名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者
1. 論文 の続き				
	顔面各部の広い可動域 および顔色により豊かな表情表現が可能な2足ヒューマノイドロボット頭部の開発	日本ロボット学会誌, vol. 31, no. 4, pp. 424-434	2013年5月	岸竜弘, 遠藤信綱, 大谷拓也, Przemek Kryczka, 橋本健二, 中田圭, 高西淳夫
2. 講演				
	笑いを通じた人間とロボットのインタラクションに関する研究(第3報: 気質に基づいたロボットのキャラ表現)	第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J1-07	2015年9月	岸竜弘, 二木元, 柳野浩志, 下村宗一郎, Sarah Cosentino, 野澤孝司, 三輪洋靖, 橋本健二, 高西淳夫
	笑いを通じた人間とロボットのインタラクションに関する研究(第2報: 高速動作が可能な腕部の開発および動作速度と面白さの関係)	第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J1-07	2015年9月	柳野 浩志, 岸竜弘, 二木元, 下村宗一郎, Sarah Cosentino, 野澤孝司, 橋本健二, 高西 淳夫
	笑いを通じた人間とロボットのインタラクションに関する研究(第1報: 高速度・広可動域を実現した2足ヒューマノイドロボット上腕部の開発)	第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会予稿集, pp. 2298-2303	2014年12月	下村宗一郎, 岸竜弘, 二木元, 柳野浩志, 八原昌亨, Sarah Cosentino, 野澤孝司, 橋本健二 高西淳夫
	揉み動作によるくすぐりで人間の笑いを誘発する一自由度ロボットハンドの開発	第32回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3E2-05	2014年9月	岸竜弘, 野澤孝司, 新堀亜衣, 二木元, 三浦祐作, 吉田圭佑, 椎名恵, 松木慧, 柳野浩志, Sarah Cosentino, 橋本健二, 高西淳夫
	日本の漫画に特有な"漫符"を用いたロボット表情の文化的背景による印象の変化	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014, 2A1-L01	2014年5月	岸竜弘, 二木元, Torovato Gabriele , Sarah Cosentino, 橋本健二, 高西淳夫
	笑い方策を利用した2足ヒューマノイドロボットによる人間の笑い誘発と心理状態への積極的な働きかけ	日本ロボット学会第31回記念学術講演会予稿集, 1C3-06	2013年9月	岸竜弘, 遠藤信綱, 大谷拓也, Sarah Cosentino, 野澤隆司, Massimiliano Zecca, 橋本健二, 高西淳夫

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者
2. 講演 の続き				
	漫画表現への特化により高い感情表出能力を有する2足ヒューマノイドロボット頭部の開発	日本ロボット学会第31回記念学術講演会予稿集, 2H2-02	2013年9月	二木元, 岸竜弘, 遠藤信綱, Torovato Gabriele, 大谷拓也, 飯塚晃弘, Matthieu Destephe, 橋本健二, 高西淳夫
	Human-robot emotional interaction: Laughter	日本ロボット学会第31回記念学術講演会予稿集, 2S1-04	2013年9月	Sarah Cosentino, 岸竜弘, Massimiliano Zecca, Salvatore Sessa, Luca Bartolomeo, 橋本健二, 野澤隆司, 高西淳夫
	骨盤運動に着目した2足走行ロボットの開発(第2報: 骨盤運動と脚弾性を活用した跳躍運動の実現)	日本IFTtoMM会議シンポジウム前刷集(第19回), pp. 51-54	2013年6月	八原昌亨, 大谷拓也, 瓜生和寛, 飯塚晃弘, 岸竜弘, 遠藤信綱, 橋本健二, 阪口正律, 川上泰雄, 林憲玉, 高西淳夫
	高い情動表出能力を有する2足ヒューマノイドロボット頭部の開発	日本ロボット学会第29回学術講演会予稿集, 1J3-7	2011年9月	岸竜弘, 遠藤信綱, 大谷拓也, Przemyslaw Kryczka, 橋本健二, 中田圭, 高西淳夫
	ヒューマノイドのためのモジュール化された多機能小型モータコントローラの開発	日本ロボット学会第29回学術講演会予稿集, 3K2-8	2011年9月	大谷拓也, Przemyslaw Kryczka, 遠藤信綱, 岸竜弘, 橋本健二, 高西淳夫

