

博 士 論 文

触感に着目したストレス緩和効果を 引き出すロボットの開発

Development of Therapeutic Robots Extracting the Stress
Relaxation Effect Focused on the Tactile Sensation

2018 年

林 里奈

目次

第 1 章	序論	1
1.1	メンタルヘルス対策の現状	1
1.2	ロボットによるセルフケアとその課題	2
1.3	本研究の目的	4
1.4	本研究におけるストレス緩和効果の定義	5
1.5	本稿の構成	7
第 2 章	触感とストレス緩和効果	9
2.1	触感とストレス緩和効果	10
2.1.1	関連研究	10
2.1.2	評価実験 1 : 身体性の心理的效果	11
2.1.3	評価実験 2 : 身体性の生理的效果	18
2.1.4	考察	21
2.2	柔らかい触感とストレス緩和効果	26
2.2.1	評価実験 1 : 柔らかい触感の心理的效果	26
2.2.2	評価実験 2 : 柔らかい触感の生理的效果	33
2.2.3	考察	36
2.3	主観的重量感覚とストレス緩和効果	38
2.3.1	主観的重量感覚の個人差の要因	38
2.3.2	評価実験 1 : 主観的重量感覚の心理的效果	39
2.3.3	評価実験 2 : 主観的重量感覚の生理的效果	45
2.3.4	考察	48
2.4	セラピーロボットの触感の設計指針	49
第 3 章	セラピーロボットの開発	51
3.1	柔軟アクチュエータの考案	51
3.1.1	柔軟アクチュエータの構造の検討	51
3.1.2	柔軟アクチュエータの動作評価	53

3.2	セラピーロボット「ちょぼにゃん」の開発	57
3.3	セラピーロボット「ちょぼにゃん」のストレス緩和効果	59
3.3.1	評価実験1：セラピーロボット「ちょぼにゃん」の心理的効果 . .	59
3.3.2	評価実験2：セラピーロボット「ちょぼにゃん」の生理的効果 . .	63
3.3.3	考察	66
第4章	ストレス緩和効果向上に向けた検討	69
4.1	音声調整によるストレス緩和効果向上に向けた検討	70
4.1.1	コミュニケーションにおける同調の効果	70
4.1.2	基本周波数同調システムの構築	71
4.1.3	評価実験1：基本周波数調整の心理的効果	74
4.1.4	評価実験2：基本周波数調整の生理的効果	78
4.1.5	考察	82
4.2	状態に適したストレス緩和効果を引き出すセラピーロボットシステムの検討	84
4.2.1	ストレス状態の推定に適した生体指標	84
4.2.2	予備実験：脈波によるストレス状態の推定	86
4.2.3	ストレス状態に応じた振る舞いをするセラピーロボットシステムの 考案	88
4.2.4	今後の課題	90
第5章	結論	93
5.1	本研究のまとめ	93
5.2	今後の課題	94
	謝辞	97
	参考文献	99
付録A	発表論文目録	105
付録B	受賞目録	107

目次

1.1	仕事や職業生活に関する強いストレスの内容別労働者割合	2
1.2	アザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」	4
1.3	開発するセラピーロボットのデザイン	5
2.1	触感の概念図	9
2.2	オノマトペの分布図と要素軸	10
2.3	身体性あり条件	11
2.4	身体性なし条件	12
2.5	ユーザの接触に対する反応動作	13
2.6	実験チャート	14
2.7	各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化	15
2.8	条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較	16
2.9	条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較	17
2.10	条件間における因子得点の比較	19
2.11	MindWave Mobile	20
2.12	実験チャート	20
2.13	各条件における脳波含有率の変化	21
2.14	条件間における脳波含有率の相対値の比較	22
2.15	心理的ストレス緩和効果と印象の関係	24
2.16	柔らかい触感条件	27
2.17	硬い触感条件	28
2.18	実験チャート	29
2.19	各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化	30
2.20	条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較	31
2.21	条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較	32
2.22	条件間における因子得点の比較	34
2.23	実験チャート	34

2.24	各条件における脳波含有率の変化	35
2.25	条件間における脳波含有率の相対値の比較	36
2.26	同化-対比理論	39
2.27	評価対象	40
2.28	実験チャート	41
2.29	各群における一時的気分尺度の尺度得点の変化	42
2.30	群間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較	43
2.31	群間における特性形容詞尺度の評価値の比較	44
2.32	群間における因子得点の比較	46
2.33	実験チャート	46
2.34	各群における脳波含有率の変化	47
2.35	群間における脳波含有率の相対値の比較	48
3.1	柔軟アクチュエータの構造	52
3.2	柔軟アクチュエータの駆動原理	53
3.3	条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較	55
3.4	条件間における因子得点の比較	57
3.5	セラピーロボット「ちよぼにゃん」	58
3.6	実験チャート	60
3.7	各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化	61
3.8	条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較	62
3.9	条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較	63
3.10	条件間における因子得点の比較	65
3.11	実験チャート	65
3.12	各条件における脳波含有率の変化	66
3.13	条件間における脳波含有率の相対値の比較	67
4.1	五感とセルフケアセラピー	69
4.2	同調傾向	71
4.3	基本周波数同調システム	72
4.4	基本周波数の調整例	73
4.5	各条件における基本周波数の例	75
4.6	実験チャート	76
4.7	各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化	77
4.8	条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較	78
4.9	条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較	79

4.10	条件間における因子得点の比較	81
4.11	実験チャート	81
4.12	各条件における脳波含有率の変化	81
4.13	条件間における脳波含有率の相対値の比較	82
4.14	心拍間隔のローレンツプロット	85
4.15	CSI と CVI の定義	86
4.16	パルス・ラボ	87
4.17	各条件における脈波から算出した CSI と CVI の変化	88
4.18	腕時計型ストレス状態推定デバイス「ちょぼっち」	90
4.19	ストレス状態が低い時の振る舞い	91
4.20	ストレス状態が高い時の振る舞い	91

表目次

1.1	アニマルセラピーとロボットセラピーの比較	3
1.2	一時的気分尺度の項目	6
2.1	特性形容詞尺度の項目	14
2.2	因子負荷量	18
2.3	身体性を有する／有さないことにより得られる効果	23
2.4	一時的気分尺度と簡易脳波計の計測脳波含有率の相関	25
2.5	因子負荷量	33
2.6	柔らかい触感により得られる効果	37
2.7	因子負荷量	45
3.1	因子負荷量	56
3.2	因子負荷量	64
3.3	セラピーロボットとぬいぐるみセラピーの効果の比較	67
4.1	因子負荷量	80
4.2	基本周波数の調整により得られる効果	83

第 1 章

序論

1.1 メンタルヘルス対策の現状

我が国におけるストレス問題は深刻化の一途を辿っており、メンタルヘルス対策の重要性が叫ばれている。特に、仕事や職業生活に関する強い不安、悩み、ストレスを感じている労働者の割合は、ここ 30 年以上にわたり全体の約 6 割という高い値で推移しており [1]、ストレス問題は時代や世代に限ったものではなく、今や身近な社会問題なのである。

厚生労働省が実施した最新の調査 [2] によると、労働者のストレッサーとなっているのは「仕事の質・量 (53.8%)」や「仕事の失敗、責任の発生等 (38.5%)」、セクハラやパワハラ等を含む「対人関係 (30.5%)」といった日常生活における些細な苛立ちである (図 1.1 参照)。Lazarus[3] はこうした些細な苛立ちを daily hassles と呼び、その積み重ねが大きなストレスの原因となっていると警鐘を鳴らしている。一般的に、身近な人との死別や自身の怪我や病気等といったライフイベント型のストレッサーが重要視されがちだが、daily hassles の積み重ねは心身の健康状態に深刻な影響を与えるとの指摘 [4] があり、さらには、daily hassles を溜める傾向にある人は不健康になりやすいと複数の報告がある [5, 6] ことから、daily hassles をいかに溜め込まずに解消するか、ストレス問題を解決する上でその対策を講じる必要がある。

こうした現状を打開すべく、厚生労働省は 2006 年に「労働者の心の健康の保持増進のための指針」[7] を策定したが、メンタルヘルス対策として推奨されているのは、労働者自身がストレスや心の健康について理解し、自らのストレスを予防・軽減する、あるいは対処するセルフケアである。しかしながら、Lazarus によるとそもそも、その事態に対処する効果的な手段を知っているか (結果期待)、その効果的な手段を実行できるか (効力期待) を評価した結果、対処できないと評価されたものこそがストレッサーとなるのであり、指針なきセルフケアがストレス問題の解決につながるわけがない。現に、ストレスについて相談した労働者の内、解消された労働者の割合は 31.7% と半数を大幅に下回っている。特に、ストレスについて実際に相談した割合が男性労働者 (81.7%) より高い女性労働者 (89.4%) の方

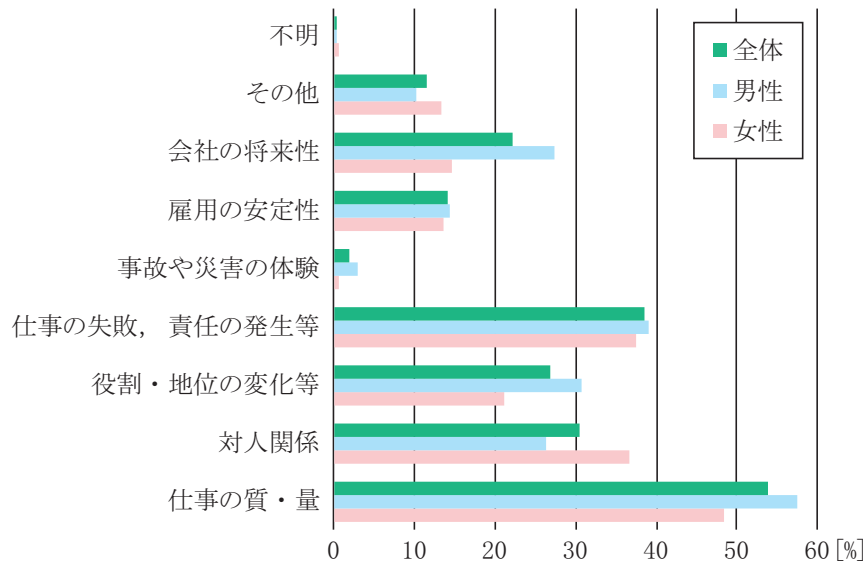


図 1.1: 仕事や職業生活に関する強いストレスの内容別労働者割合（ウェブサイト [2] より）

がストレス解消率が悪いという事実は、相談しかメンタルヘルスケアの手段がないにもかかわらず、それでも解消できないという、女性労働者のストレス問題の深刻さが伺える。したがって、対処する効果的な手段を知らない daily hassles に直面したとしても、溜め込まずに解消できる新たなシステムの提供が急務である。

1.2 ロボットによるセルフケアとその課題

自身でストレスを予防・軽減する、あるいは対処するセルフケアの一手段として、アロマセラピーやミュージックセラピーに代表されるセルフケアセラピーが挙げられる。セルフケアセラピーはそれ自体に病気を治すような直接的な効果は見込めないが、病因ともなる daily hassles を解消し、それが継続されることにより daily hassles を溜め込ませないといった補助的な役割を果たすため、心身の健康状態を保つ上で有効な手段である。

セルフケアセラピーの中でも、近年、ロボット技術の発展にともない、注目を集めているのがロボットセラピー [8] である。ロボットセラピーは、アニマルセラピーに着想を得て、ロボットとのふれあいを通して精神的な安らぎや癒しを提供するセルフケアセラピーとして開発された。そもそも、アニマルセラピーは五感全てに複合的に刺激を与えることができるため、他のセルフケアセラピーと比較して効果の範囲が広く、表 1.1 に示す心理的・生理的・社会的効果が確認されている [9]。しかしながら、生きた動物と接するが故のリスクもあり、例えば、医療福祉施設の多くが、動物アレルギーや感染症、咬みつきのリスクによる怪我等を理由に動物自体の導入を認めておらず、アニマルセラピーを実施できない。また、アニマルセラピーの実施に際しては、事故を未然に防ぐための動物のトレーニングや管理者の同

席が必要であり，導入コストや運用面でも課題を抱えている．これに対して，ロボットセラピーは動物由来の問題がなく，必要に応じていつでもどこでも利用できるメリットがある．また，動物は人とのふれあいによりストレスを感じるが，ロボットはストレスなく長時間ふれあうことができるため，利便性も高い．

表 1.1: アニマルセラピーとロボットセラピーの比較（文献 [10] より）

項目	アニマルセラピー	ロボットセラピー
生理的効果	病気の快復・適応，血圧・コレステロール等の低下	
心理的効果	元気づけ，くつろぎ作用，達成感等の肯定的感情の促進，感情表出，注意力持続	
社会的効果	会話活性化，協力関係の形成	
経済効果	医療費削減	医療費削減，新規産業の形成
安全面	要訓練	設計により配慮可
相手への配慮	要精神的配慮	不要
ペットロス	要精神的配慮	不明
感染症	要管理(特に病人への適用注意)	不要
シナリオ	要訓練	プログラムにより変更可

こうした背景から，ロボットセラピーは医療福祉施設のみならず，最近では一般家庭にも導入されている．セラピー効果を学術的に検証した上でセラピーロボットとして既に市販されているものとして，ユーザの言葉に相槌を打つことによりコミュニケーション量の増加を目指す「うなずきかぼちゃん」[11]，猫や犬を飼えないユーザ向けの「なでなでねこちゃん DX」[12]と「なでなでわんちゃん」[13]が挙げられるが，特に，認知的なセラピー効果も認められているセラピーロボットとして「パロ」[14]が挙げられる．パロは，図 1.2 に示すタテゴトアザラシの赤ちゃんを模したセラピーロボットであり，ユーザに撫でられると喜び，叩かれると嫌がるといった感性情報の授受により，認知症者の症状を改善，健常者の認知症発症を予防する効果が期待できる医療機器として，アメリカ食品医薬品局の承認を受けている．また，触感にこだわって設計されており，本物のタテゴトアザラシの赤ちゃんのように柔らかな人工毛皮を一体一体トリミングして製作している他，人間の赤ちゃんを抱っこした感覚を連想させるよう，約 2.7kg（人間の赤ちゃんより少し軽め）に設定されている [15]．しかしながら，パロの主たる利用現場である高齢者福祉施設の介護者の方々からは，やはり抱きしめると硬さを感じる，高齢者が抱きかかえることを考慮すると重い等といった指摘がある [16] こともまた事実である．こうした開発者の考えと利用現場の意見に齟齬が生じる要因は，セラピー効果を引き出す上で必要となる要素が明らかにされておらず，開発者が手探りでセラピーロボットを開発している現状にあると筆者は考える．

ここで，パロの開発者の考えと利用現場の意見に齟齬が生じた触り心地や重量感といった触感とセラピー効果の関係に目を向ける．人間の脳内では，モノにふれるという行為によ



図 1.2: アザラシ型メンタルコミットロボット「パロ」(ウェブサイト [14] より)

り、オキシトシンという生理物質が分泌される。オキシトシンは別名「幸せホルモン」と呼ばれ、良好な対人関係の構築やストレスの緩和をもたらすことが知られている [17, 18] ことから、触感、セラピーロボットの第一印象を左右するだけではなく、セラピー効果にも密接に関係している可能性が高い。しかしながら、その関係を明らかにした研究は少なく、当然のことながら、セラピーロボットの触感がどのようなものであるべきかについて言及した研究も少ないのが現状である。

1.3 本研究の目的

前節に記載のセラピーロボットを取り巻く現状を鑑み、本研究では下記のステップにしたがい、触感とセラピー効果の関係を明らかにし、セラピーロボットの触感はどのようなものであるべきか、その一設計指針をまとめ、その設計指針に基づいたセラピーロボットの開発を目指す。本研究におけるセラピー効果とは、単なる癒しではなく、daily hassles のようなストレスを緩和する効果のことを指す。詳細な定義は後述する。

1. 触感そのものがストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。
2. 触感を構成する要素を検討し、各要素がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。
3. セラピーロボットの触感はどのようなものであるべきか、その一設計指針をまとめる。
4. 設計指針に基づきセラピーロボットを開発し、そのストレス緩和効果を評価する。

本研究では、セラピーロボットによりストレス緩和効果を提供する対象を、ストレス問題が深刻化している働く世代とする。また、開発するセラピーロボットの対象を、働く世代の中でも特に、daily hassles に対処する効果的な手段を持ち合わせていない可能性が高い女性労働者とする。

開発するセラピーロボットの対象を女性労働者とするにあたり，女性労働者がセラピーロボットにどのようなことを求めるか調査するため，自由に議論する女性労働者限定のワーキンググループを実施したところ，「いつでもどこでも寄り添う存在」「可愛がりたくなる存在」というキーワードが浮上した．そこで，本研究において開発するセラピーロボットは，図 1.3 に示す手のひらサイズの猫型ロボットとした．猫を模したデザインとした理由は，近年のネコノミクスという造語が生まれるほどの社会現象も踏まえてのことである．ただし，本物の猫と比較されることにより生じる印象の低下 [19] を避けるため，猫を模しつつも，デフォルメされた外観とした．感性情報の授受は，尻尾の動作と鳴き声により行うものとする．

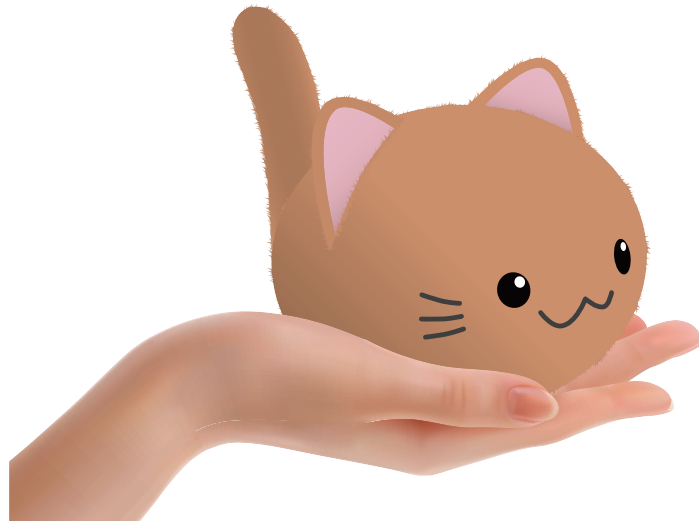


図 1.3: 開発するセラピーロボットのデザイン

1.4 本研究におけるストレス緩和効果の定義

本研究では，刺激を与える前と比較して，刺激を与えた後の方がストレス指標の改善が認められることを，ストレス緩和効果と定義する．すなわち，セラピーロボットとふれあう前と比較して，ふれあった後の方がストレス指標の改善が認められた場合，そのセラピーロボットはストレス緩和効果を有すると判断する．使用する 2 つのストレス指標の詳細を以下に示す．

1) 一時的気分尺度

気分状態を測定するアンケートとして，現在，最も有用性が高いとされているのは，POMS (Profile of Mood States) [20] である．POMS は，複数の健常者と精神外来患者の状態データを因子分析して得られた緊張-不安，抑鬱，怒り-敵意，混乱，疲労，活気の 6 種類の気分状態を測定することができ，その日本語翻訳版 [21] は医学からス

スポーツ学まで、幅広い研究分野に利用されている。しかしながら、POMS のアンケートは過去一週間を振り返る回答形式であり、今現在の気分を評価する必要がある本研究のストレス指標としては適していない。そこで本研究では、POMS のアンケートを参考に開発された、今現在の気分を問う一時的気分尺度 [22] を使用した。一時的気分尺度は、POMS 同様、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労、活気の 6 種類の気分状態を測定することができ、表 1.2 に示す 18 項目の問いから成る。回答形式は「全くあてはまらない」から「非常にあてはまる」までの 5 件法であり、各項目には得点が高いほどそれぞれの気分が強くなるよう 1 から 5 点を与え、対応する 3 項目の合計（3～15 点）が尺度得点となる。したがって、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労が緩和した場合、尺度得点は減少し、活気が向上した場合、尺度得点は増加する。本研究では、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労の尺度得点の減少や、活気の尺度得点の増加が認められた時、心理的ストレス緩和効果があると評価する。

表 1.2: 一時的気分尺度の項目（文献 [22] より）

尺度	項目	尺度	項目	尺度	項目
緊張	気が張り詰めている そわそわしている 気が高ぶっている	抑鬱	希望が持てない感じだ 孤独で寂しい 暗い気持ちだ	怒り	不機嫌だ 腹が立つ むしゃくしゃする
混乱	やる気が起きない 集中できない 頭がよく働かない	疲労	疲れている へとへとだ だるい	活気	生き生きしている 陽気な気分だ 活力に満ちている

2) 脳波含有率

人間の脳は多数の神経細胞（ニューロン）から構成されており、それら神経細胞が網目状のネットワークを形成している。脳波は、神経細胞において発生する活動電位やシナプス電位の総和を頭皮の上から計測したものである。脳波自体の大きさは数十 μV 程度の非常に微弱な信号ではあるが、人間の精神活動や意識状態の変化に伴い、下記に列挙するような異なるパターンを示すことから、ストレス指標としても広く用いられている [23, 24]。

- 覚醒時脳波

集中状態、ストレス状態、パニック状態の時に計測される脳波であり、 β 波（13～30Hz 付近の周波数帯域）と呼ばれる。

- 安静時脳波

リラックス状態の時に計測される脳波であり、 α 波（8～13Hz 付近の周波数帯域）と呼ばれる。

- 睡眠時脳波

睡眠状態の時に計測される脳波であり、入眠期には α 波の振幅、周波数、連続性

が低下し、次いで θ 波（4～8Hz 付近の周波数帯域）が計測される。

ここで、ストレス状態になると α 波の減少や β 波の増加が確認されている [25] ことから、 α 波と β 波のパワースペクトル P_α, P_β が脳波の全帯域中に占める割合，すなわち，含有率 G_α, G_β を算出し，その増減によりストレス緩和効果を評価することができる．各含有率の算出式を以下に示す．

$$G_\alpha = P_\alpha / (P_\theta + P_\alpha + P_\beta) \quad (1.1)$$

$$G_\beta = P_\beta / (P_\theta + P_\alpha + P_\beta) \quad (1.2)$$

本研究では、 α 波の含有率 G_α の増加，もしくは β 波の含有率 G_β の減少が認められた時，生理的ストレス緩和効果があると評価する．

1.5 本稿の構成

以下に本稿の構成を示す．

1 章：序論

本研究の背景，目的，進め方，ストレス緩和効果の定義について述べるとともに，本稿の構成を示す．

2 章：触感とストレス緩和効果

はじめに，触感そのものの有無がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする実験を実施する．触感そのものがストレス緩和効果を引き出す上で重要な要素であることを確認した後，触感を構成する要素を検討し，各要素がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする実験を実施する．以上の実験結果を踏まえ，セラピーロボットの触感はどのようなものであるべきかを検討し，それを一設計指針としてまとめる．

3 章：セラピーロボットの開発

2 章にてまとめたセラピーロボットの触感の設計指針に基づきセラピーロボットを開発するにあたり，必要となる芯まで柔らかい柔軟アクチュエータを考案する．考案した柔軟アクチュエータを搭載し，セラピーロボットの触感の設計指針を満たすセラピーロボットを開発し，同じセルフケアセラピーの 1 つであるぬいぐるみセラピーとストレス緩和効果を比較し，その効果を確認する．

4 章：ストレス緩和効果向上に向けた検討

開発したセラピーロボットのストレス緩和効果向上に向けて，(1) セラピーロボットの触感以外の感覚刺激の設計指針をまとめるための第一段階の検討，(2) ユーザの状態に適したストレス緩和効果を引き出すセラピーロボットシステムの検討について述べる．(1) では聴覚に着目し，対人コミュニケーション場面において確認されている同調傾向の性質を，開発したセラピーロボットの対話システムに組み込むことにより，ストレス緩和効果を向上させることはできるか，検証する．(2) ではユーザの状

態を把握するのに適したセンサデバイスを開発し，ユーザの状態に応じた振る舞いを検討する．

5 章：結論

本研究の結論，及び今後の課題について述べる．

第 2 章

触感とストレス緩和効果

触感とは、図 2.1 に示す通り、モノとの接触を起点として生じる、触覚を中心に諸感覚や記憶、言語等を統合した主観的な質感のことである。早川ら [26] は、触感を表現するオノマトペの分布図（図 2.2 参照）に基づき、触感は粗さ軸（粗い-滑らか）、硬さ軸（硬い-柔らかい）、湿り気軸（湿っている-乾いている）の 3 軸から成ると提唱している。しかしながら、皮膚感覚は主に振動刺激、圧力刺激、温度刺激を受容しており、この 3 軸だけでは皮膚感覚が受容する刺激の内、圧力刺激が不足している。そこで筆者は、圧力刺激に関する触感として重さ軸（重い-軽い）を加えた 4 軸が触感を構成する要素であると考えた。

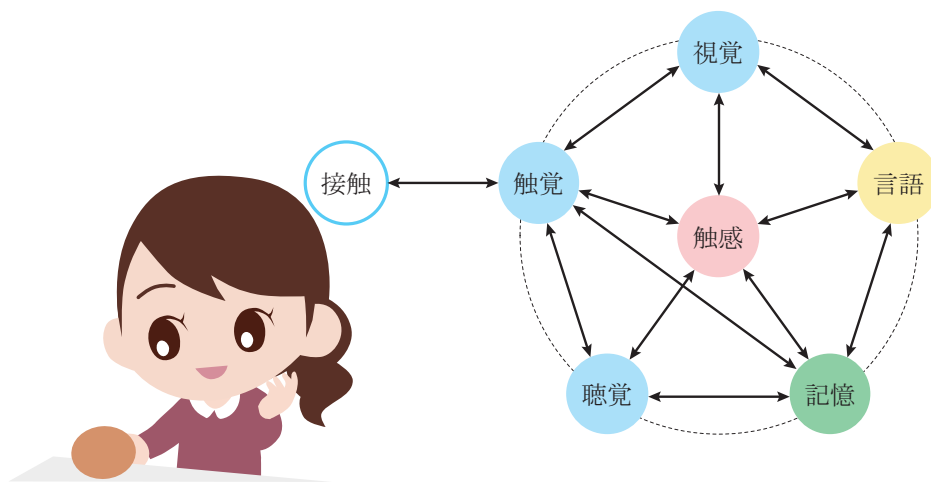


図 2.1: 触感の概念図

ストレス緩和効果を引き出す上で、セラピーロボットの触感はどのようなものであるべきかを検討するためには、触感を構成する各要素がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする必要がある。本章では、実験を通して、触感を構成する各要素がストレス緩和効果に与える影響を明らかにし、セラピーロボットの触感の一設計指針をまとめる。

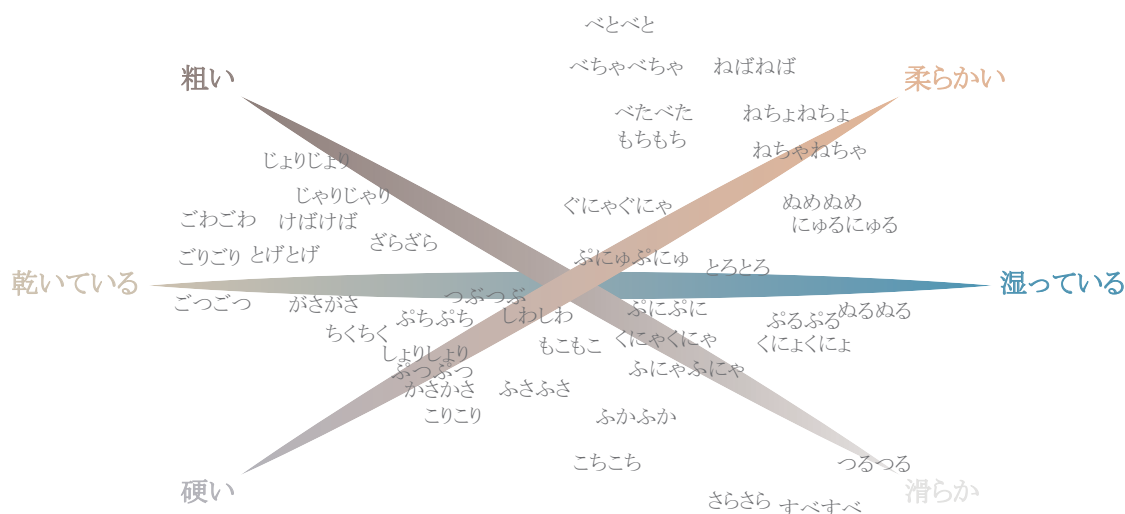


図 2.2: オノマトペの分布図と要素軸（文献 [26] より）

2.1 触感とストレス緩和効果

前章において述べた通り、触感はストレス緩和効果と密接に関係している可能性が高いものの、その関係を明らかにした研究は少ない。したがって、触感そのものの有無がストレス緩和効果に与える影響も不明ということである。そこで本節では、触感を構成する各要素がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする前に、触感そのものの有無がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。図 2.1 より、触感はモノとの接触を起点として生じるものであることから、触感の有無は接触の有無とも捉えることができる。セラピーロボットをはじめとしたインタラクションシステムにおいて、環境との相互作用ができる（＝接触ができる）物理的な身体を有することを身体性と呼ぶことから、接触の有無に代わり、身体性の有無がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。

2.1.1 関連研究

樫淵ら [27] は、身体性の有無がストレス緩和効果に与える影響を明らかにするため、ロボット（AIBO[28]）と CG エージェント（TinyAIBO[29]）、双方とふれあった時のストレス緩和効果を比較したところ、ストレス緩和効果に有意な差は確認できなかったと報告している。しかしながら、樫淵らの研究は、CG エージェントの特性上、音声情報によるふれあい限定されており、身体性による影響を十分に加味できていない可能性が高い。そこで本実験では、接触を主としたふれあいによる影響が比較できるよう、実験を設計する。

2.1.2 評価実験 1：身体性の心理的效果

目的

本実験では、樫淵らの研究を参考に、実験参加者の主観評価に基づき、身体性の有無が心理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。

実験条件

身体性あり条件と身体性なし条件の比較実験とする。

身体性あり条件では、本実験のために試作した猫型ロボット（図 2.3(a) 参照）とふれあう。図 2.3(b) に示す通り、猫型ロボットは、頭部にユーザの接触を検知する接触センサを有し、そのセンサ情報に基づき、制御基板が尻尾にある柔軟アクチュエータ（3.1 節に記載）を駆動する。接触センサは、フォトリフレクタがスポンジフォームの変形度合を検出することにより、接触なし、撫でられた、叩かれたの 3 状態を検知できる。

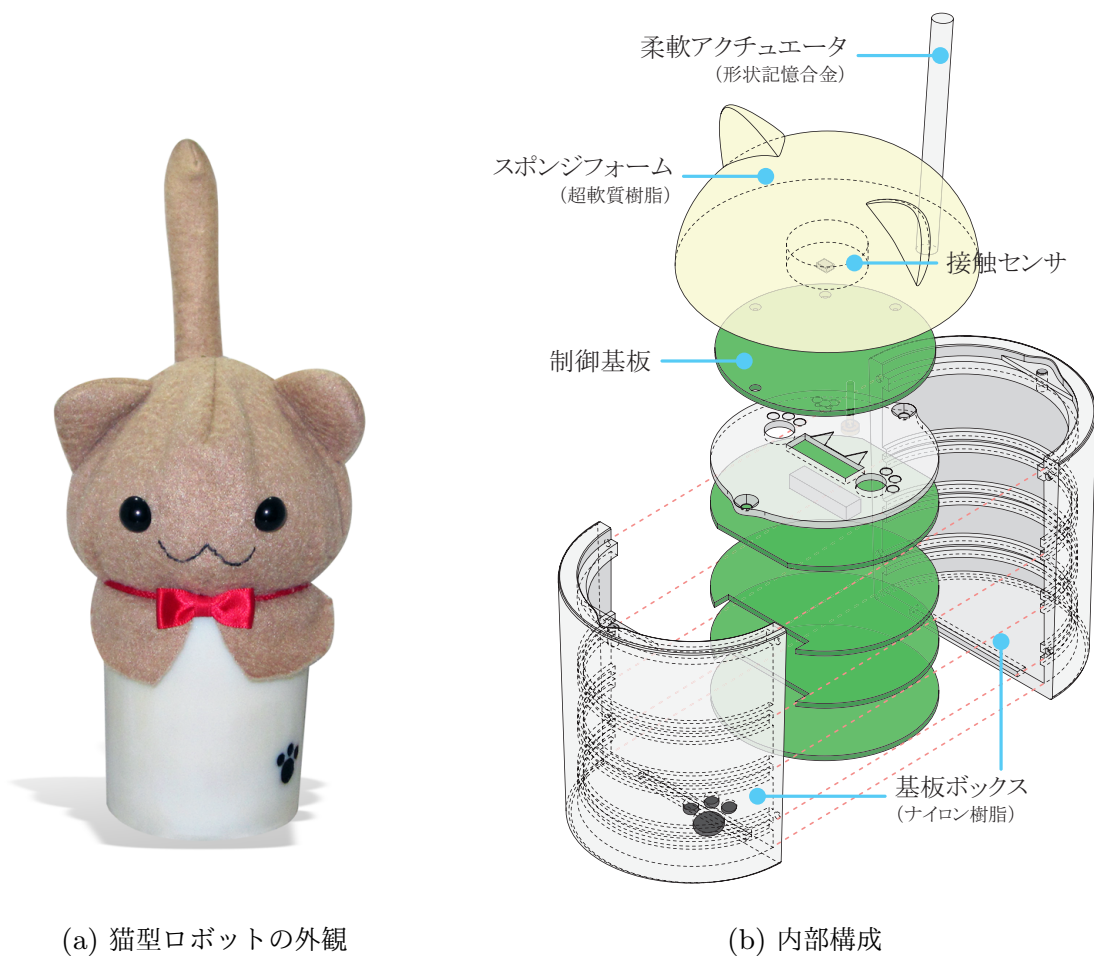
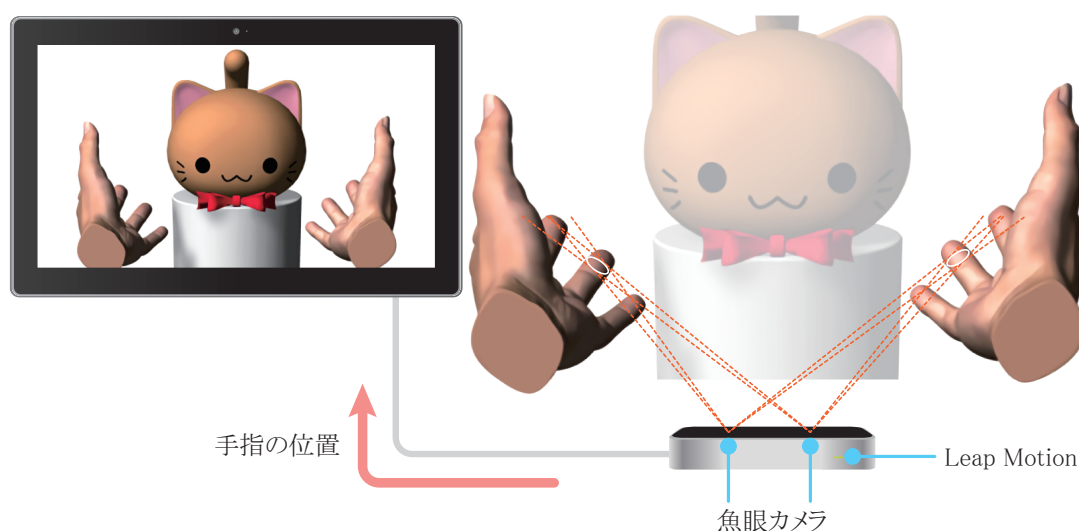


図 2.3: 身体性あり条件

身体性なし条件では、猫型ロボットを模した猫エージェント（図 2.4(a) 参照）とふれあう。身体性なし条件のふれあいを身体性あり条件のふれあい、特に接触を可能な限り近づけるため、図 2.4(b) に示す通り、ユーザの手の動きをハンドジェスチャー入力機器である Leap Motion[30] により画面上の仮想ハンドに反映し、猫エージェントの頭部付近に配置した仮想面を仮想ハンドが通過することを接触として扱い、仮想面を仮想ハンドが通過しない時は接触なし、仮想面に対して平行に仮想ハンドが動いた時を撫でられた、仮想面に対して垂直に仮想ハンドが動いた時を叩かれたとした 3 状態を検知できる。



(a) 猫エージェントの外観



(b) システム構成

図 2.4: 身体性なし条件

ユーザの接触に対する反応動作は、予備実験により選定した図 2.5 に示す 2 つの動作に統一した。ユーザが頭を撫でた時は、頬を赤く染めて尻尾を左右に振り、喜びを表現する（図 2.5(a) 参照）。対して、ユーザが頭を叩いた時は、尻尾を垂れ下げ、悲しみを表現する（図 2.5(b) 参照）。

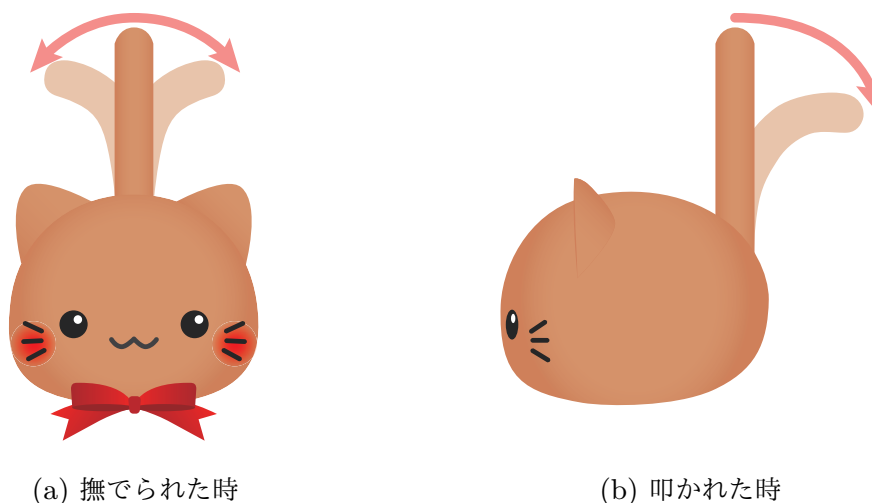


図 2.5: ユーザの接触に対する反応動作

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

次に、実験条件に応じて、猫型ロボット、もしくは猫エージェントと 2 分間自由にふれあう時間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際に猫型ロボット、もしくは猫エージェントの頭を撫でたり、叩いたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

最後に、実験条件に応じて、猫型ロボット、もしくは猫エージェントに対する印象をたずねた。印象評価は、表 2.1 に示す特性形容詞尺度 [31]20 項目に対して 7 件法で回答を求める形で実施した。特性形容詞尺度は、「個人的親しみやすさ」「社会的望ましさ」「力本性」と

いう人が他者の特性を認知する際の3つの主因子に対応した形容詞対をまとめたものである。対人評価尺度ではあるが、対ロボット評価 [32, 33]，対 CG エージェント評価 [34, 35] の尺度としても実績があるため，改変を加えずに用いた。

表 2.1: 特性形容詞尺度の項目（文献 [31]）

個人的親しみやすさ	社会的望ましさ	力本性
感じの悪いー感じの良い	軽率なー慎重な	消極的なー積極的な
親しみにくいー親しみやすい	無分別なー分別のある	非社交的なー社交的な
近づきがたいー人懐っこい	軽薄なー重厚な	恥ずかしがりのー恥知らずの
憎らしいー可愛らしい	無責任なー責任感の強い	沈んだーうきうきした
人の悪いー人の良い	無気力なー意欲的な	卑屈なー堂々とした
心の狭いー心の広い	意地悪なー親切な	自信のないー自信のある
短気なー気長な		
生意気なー生意気でない		

実験の流れを図 2.6 に示す。以上の流れを，条件を変えて2回実施した。順序効果による影響を排除するため，身体性あり条件から提示する実験参加者と，身体性なし条件から提示する実験参加者とに均等に分け，カウンターバランスを取った。また，心理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し，2回の実験は同じ時間，異なる日に実施した。

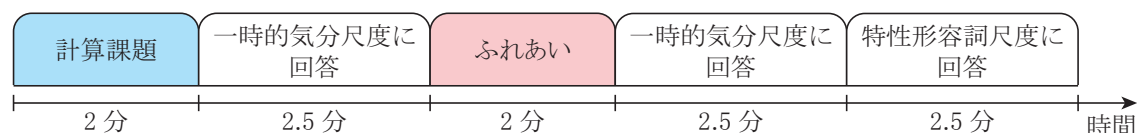


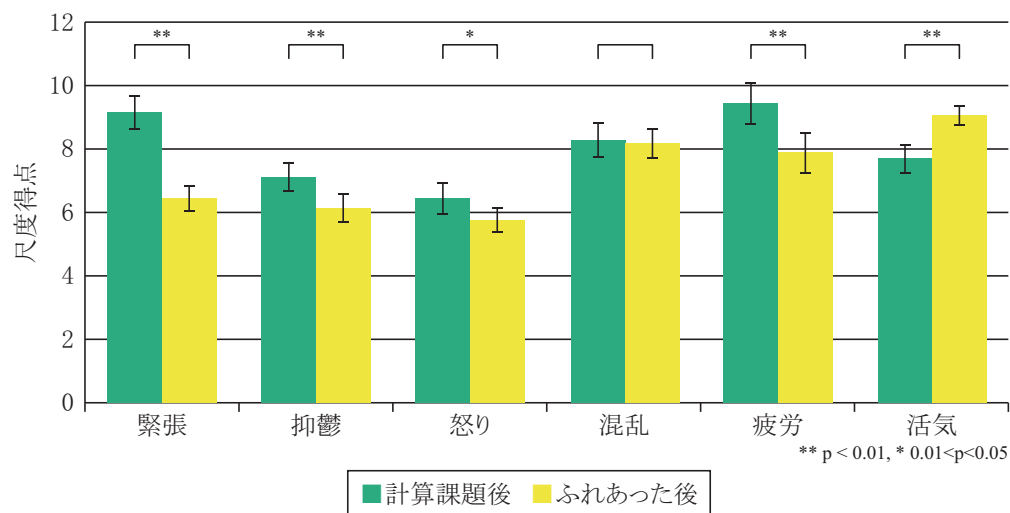
図 2.6: 実験チャート

実験結果

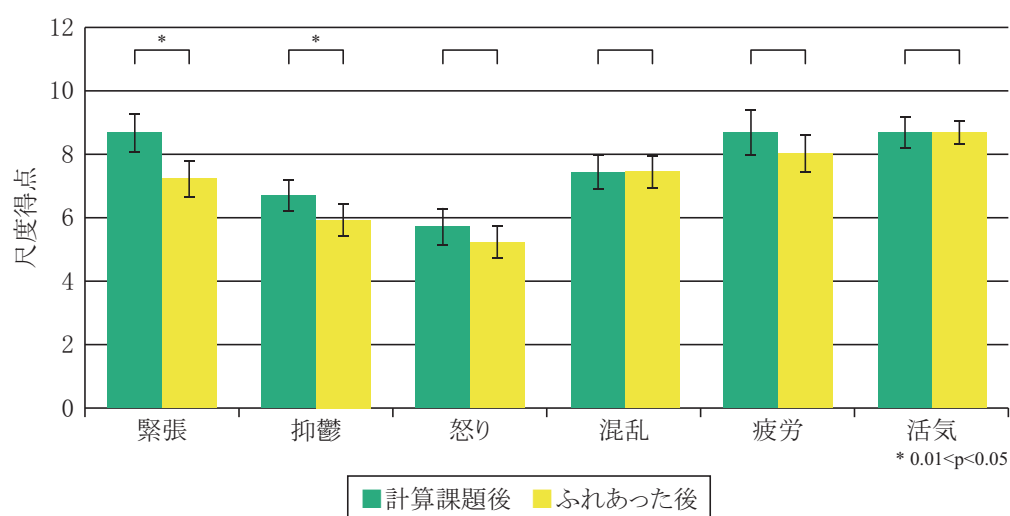
実験参加者は，ストレス問題が深刻化している働く世代に対するストレス緩和効果を検証するため，20～50代（平均年齢 31.56 歳，標準偏差 5.37）の社会人男女 18 名（内，女性 8 名）とした。

まず，身体性あり条件と身体性なし条件，それぞれの心理的ストレス緩和効果の程度を確認するため，各条件における計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 2.7 に示す。心理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため，Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後，対応のある t 検定を実施したところ，身体性あり条件は有意水準 1% で緊張 ($p = 0.000$)，疲労 ($p = 0.001$)，抑鬱 ($p = 0.004$)，活気 ($p = 0.004$)，有意水準 5% で

怒り ($p = 0.050$) において有意な変化を確認した．身体性なし条件は有意水準 5% で緊張 ($p = 0.015$) と抑鬱 ($p = 0.028$) において有意な変化を確認した．



(a) 身体性あり条件



(b) 身体性なし条件

図 2.7: 各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化

身体性あり条件は，身体性なし条件と比較して，有意な変化が認められた尺度が多い．そこで，条件間の心理的ストレス緩和効果の差を比較するため，各条件における計算課題後の一時的気分尺度の尺度得点を基準として，ふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点の相対値を算出した．ただし，緊張，抑鬱，怒り，混乱，疲労については符号を反転する．すなわち，6 因子全てにおいて，心理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出す

る．条件間の平均相対値の比較結果を図 2.8 に示す．条件間の心理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため，Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後，対応のある t 検定を実施したところ，身体性あり条件の方が有意水準 5% で活気 ($p = 0.023$) が有意に向上し，緊張 ($p = 0.047$) が有意に緩和したことを確認した．したがって，身体性を有する方が，ふれあいにより得られる心理的ストレス緩和効果，特に活気の向上と緊張の緩和効果が高いと言える．

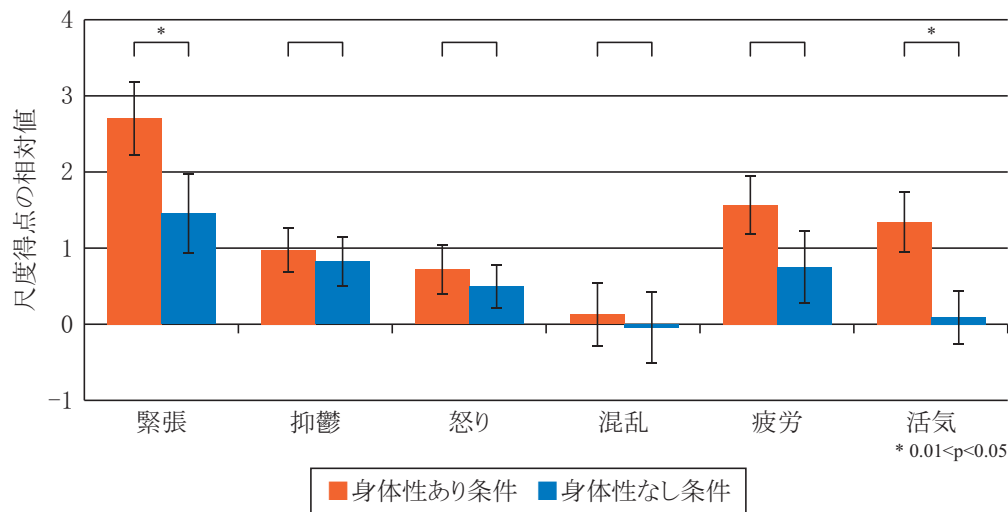


図 2.8: 条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較

次に，身体性あり条件の猫型ロボットと身体性なし条件の猫エージェントの印象の差を比較するため，特性形容詞尺度 20 項目の平均値を算出し，SD 尺度法 [36] にのっとり，図 2.9 に示すセマンティックプロフィールを作成した．条件間の印象の差を統計的に比較するため，Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後，対応のある t 検定を実施したところ，身体性あり条件の猫型ロボットの方が有意水準 5% で可愛らしい ($p = 0.011$)，心が広い ($p = 0.012$)，親しみやすい ($p = 0.012$)，気長な ($p = 0.015$)，うきうきした ($p = 0.022$)，感じの良い ($p = 0.029$) が有意に高く評価され，身体性なし条件の猫エージェントの方が有意水準 5% で分別がある ($p = 0.017$) が有意に高く評価されたことを確認した．

より詳細に身体性あり条件の猫型ロボットと身体性なし条件の猫エージェントの印象の差を比較するため，特性形容詞尺度 20 項目に対して因子分析を実施した．3 因子解を仮定して分析したところ，3 因子までで全分散の 47.9% が説明されたため，3 因子解は妥当であると判断した．Promax 回転後の因子負荷量を表 2.2 に示す．負荷量が 0.5 以上のものを太字で示した．第 1 因子は「憎らしい-可愛らしい」や「感じの悪い-感じの良い」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから親密性の次元であると解釈した．同様に，第 2 因子は「軽薄な-重厚な」や「卑屈な-堂々とした」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから力本性の

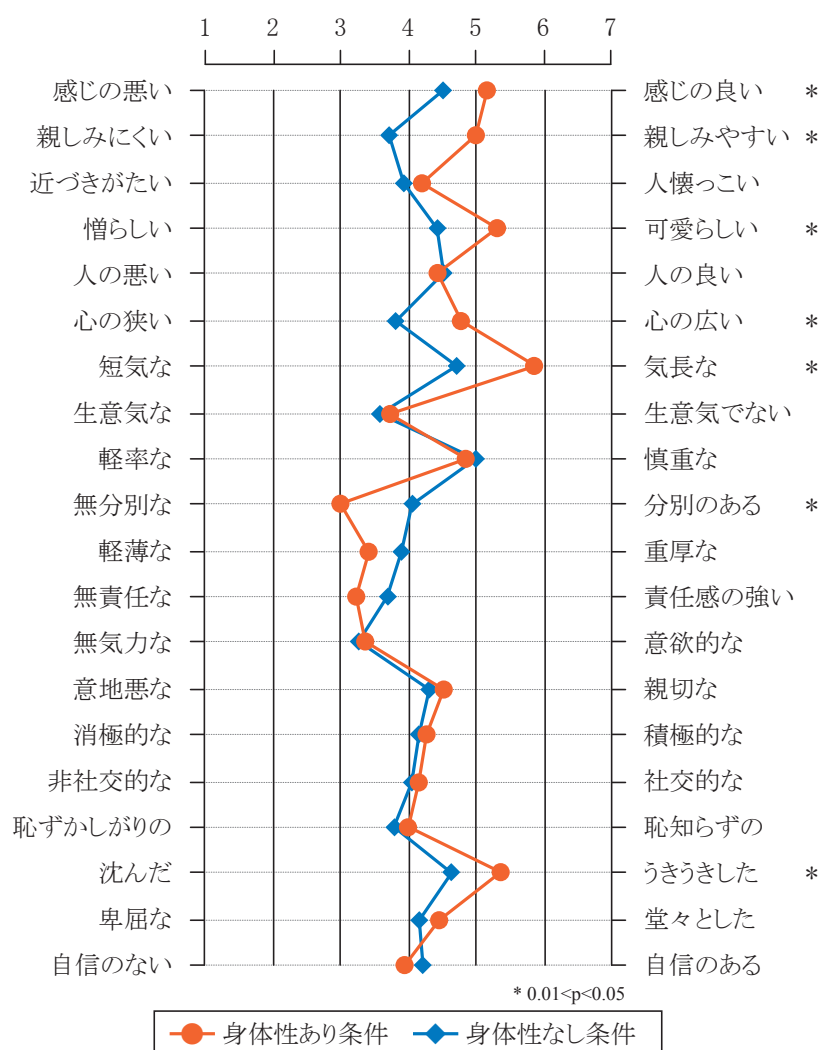


図 2.9: 条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較

次元，第3因子は「自信のない-自信のある」や「恥ずかしがりの-恥知らずの」の形容詞対が高い負荷量を示したことから信頼性の次元であると解釈した。

図 2.10 に条件間の因子得点平均値の比較結果を示す。条件間の印象の差を統計的に確認するため，Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後，対応のある t 検定を実施したところ，身体性あり条件の猫型ロボットの方が有意水準 5% で親密性 ($p = 0.024$) の評価が有意に高いことを確認した。したがって，身体性を有する方が，ふれあいにより親密な印象を与えることができると言える。一方，力本性と信頼性は有意差こそ確認できなかったものの，身体性を有さない方が評価が高い点に留意が必要である。

表 2.2: 因子負荷量

特性形容詞尺度	因子		
	I	II	III
憎らしいー可愛らしい	0.98	-0.11	-0.04
感じの悪いー感じの良い	0.95	-0.23	0.08
沈んだーうきうきした	0.66	-0.15	0.11
意地悪なー親切な	0.58	-0.15	-0.11
近づきがたいー人懐っこい	0.54	0.21	-0.10
無気力なー意欲的な	0.54	0.17	0.01
非社交的なー社交的な	0.50	0.07	0.00
心の狭いー心の広い	0.49	-0.03	-0.09
親しみにくいー親しみやすい	0.49	0.07	-0.24
軽薄なー重厚な	-0.20	0.95	0.07
卑屈なー堂々とした	-0.17	0.95	0.07
無責任なー責任感の強い	-0.11	0.70	-0.13
自信のないー自信のある	-0.01	0.05	0.97
恥ずかしがりのー恥知らずの	0.02	0.07	0.95
軽率なー慎重な	0.26	0.32	0.24
消極的なー積極的な	0.38	0.11	0.23
短気なー気長な	0.20	-0.41	0.19
無分別なー分別のある	0.02	0.39	0.05
生意気なー生意気でない	0.32	0.05	0.00
人の悪いー人の良い	0.33	0.10	-0.01

2.1.3 評価実験2：身体性の生理的効果

目的と実験条件

本実験では、樫淵らの研究を参考に、実験参加者の生体指標に基づき、身体性の有無が生理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。実験条件は評価実験1と同様である。

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った1桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。でき

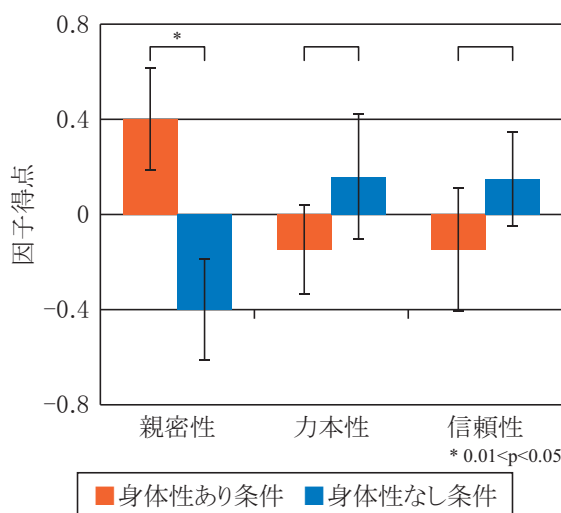


図 2.10: 条件間における因子得点の比較

るだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳波の状態を1分間計測した。脳波の計測には、図 2.11 に示す MindWave Mobile を使用した。MindWave Mobile は簡易脳波計であり、医療用脳波計と比較して精度は落ちるものの、ある程度の相関が確認されており [37]、コスト面・装着面からリアルタイム状態センサとして注目されている。筆者は、セラピーロボットも、このようリアルタイム状態センサと連携し、ユーザの状態に応じた働きかけをすべきであると考えており、連携を視野に入れ、本脳波計を使用した。MindWave Mobile は左耳朶を基準電位として、国際 10-20 法の Fp1 領域の脳波を計測し [38]、専用モジュールを通して、 δ 波 (0.5~2.75Hz)、 θ 波 (3.5~6.75Hz)、low- α 波 (7.5~9.25Hz)、high- α 波 (10~11.75Hz)、low- β 波 (13~16.75Hz)、high- β 波 (18~29.75Hz)、low- γ 波 (31~39.75Hz)、mid- γ 波 (41~49.75Hz) の周波数帯域を取得可能である。以降、Fp1 領域の α 波とは MindWave Mobile により計測される low- α 波と high- α 波を加算したパワースペクトルのことを、Fp1 領域の β 波とは MindWave Mobile により計測される low- β 波と high- β 波を加算したパワースペクトルのことを指す。

次に、実験条件に応じて、猫型ロボット、もしくは猫エージェントと2分間自由にふれあう時間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際に猫型ロボット、もしくは猫エージェントの頭を撫でたり、叩いたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳の状態を1分間計測した。

実験の流れを図 2.12 に示す。以上の流れを、条件を変えて2回実施した。順序効果によ



図 2.11: MindWave Mobile

る影響を排除するため，身体性あり条件から提示する実験参加者と，身体性なし条件から提示する実験参加者との均等に分け，カウンターバランスを取った．また，生理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し，2 回の実験は同じ時間，異なる日に実施した．

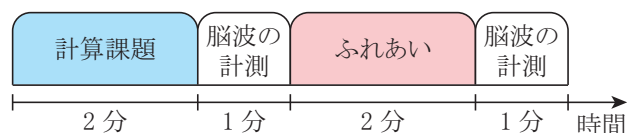


図 2.12: 実験チャート

実験結果

実験参加者は，心理的評価と生理的評価の関係を検証することも念頭に入れ，評価実験 1 に参加した実験参加者と同一である．

まず，身体性あり条件と身体性なし条件，それぞれの生理的ストレス緩和効果の程度を確認するため，各条件における計算課題後とふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の平均値を算出した．各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 2.13 に示す．生理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため，Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後，対応のある t 検定を実施したところ，身体性あり条件は有意水準 1% で α 波の含有率 ($p = 0.006$) において有意な変化を， β 波の含有率 ($p = 0.074$) において変化傾向を確認した．一方，身体性なし条件はいずれも有意な変化を確認できなかった．

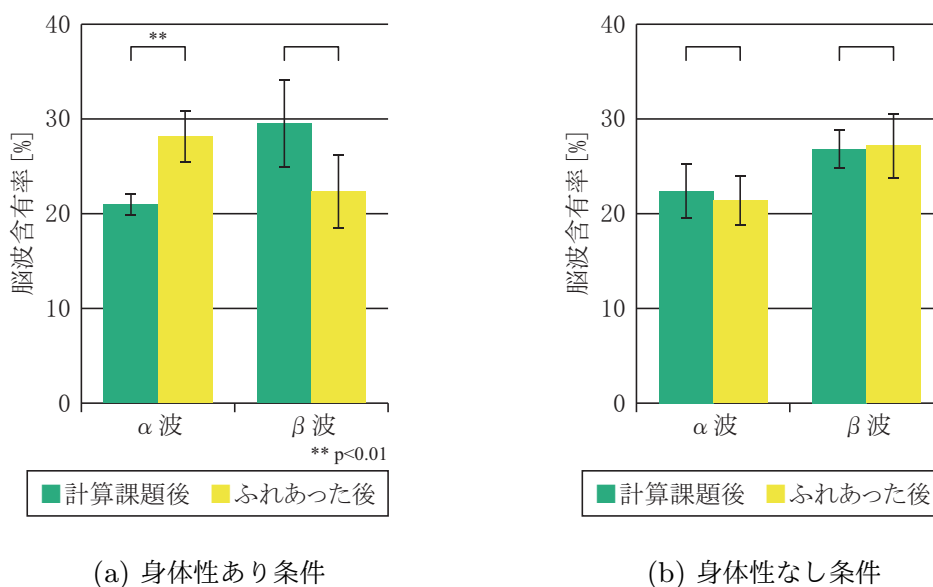


図 2.13: 各条件における脳波含有率の変化

条件間の生理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率を基準として、ふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の相対値を算出した。ただし、 β 波については符号を反転する。すなわち、 α 波、 β 波ともに生理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 2.14 に示す。条件間の生理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、身体性あり条件の方が有意水準 5% で α 波の含有率 ($p = 0.047$) が有意に増加したことを確認した。したがって、身体性を有する方が、ふれあいにより得られる生理的ストレス緩和効果、特に α 波の増進効果が高いと言える。

2.1.4 考察

ロボットと CG エージェントの差異

評価実験 1 と 2 は、樫淵らの研究を参考に、猫型ロボットと猫エージェントの差異が身体性の有無であると仮定して実施したが、その仮定に問題はなかったか、実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューから考察する。猫エージェントの頭を撫でたり、叩いたりするというふれあい自体に違和感はなかったものの、猫エージェントに接触できているのかが分かりづらかったため、猫型ロボットの方がふれあいやすかったと感想を述べた実験参加者が全体の 9 割を占めた。中には、接触したことが分かるように、猫エージェントに触れたというシグナル、すなわち、接触フィードバックを搭載してほしいとの要望もあった。猫型ロボットはスポンジフォームで覆われているため、柔らかい触感という接触フィードバックに

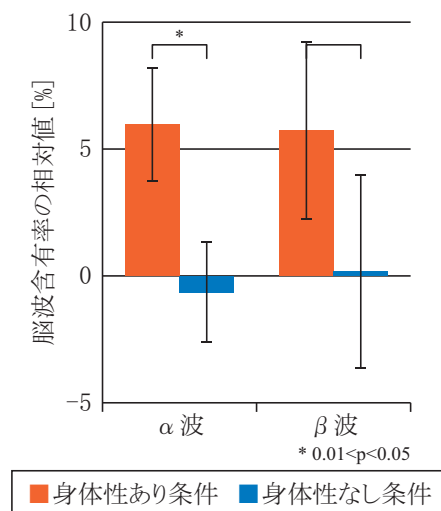


図 2.14: 条件間における脳波含有率の相対値の比較

よる影響が少なからずあった可能性は否めないが、少なくとも、接触フィードバックを有さないことが猫エージェントとのふれあいにおいて弊害となったことは確かである。接触フィードバックは身体性が有する特性の1つであるため、猫型ロボットと猫エージェントの差異が身体性の有無であるとした仮定は正しい。したがって、評価実験1と2の結果より、身体性を有する方が、ふれあいにより得られる心理的・生理的ストレス緩和効果が高い、すなわち、触感の存在は心理的・生理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であると言える。

身体性を有する／有さないことにより得られる効果

評価実験1と2の結果、及び実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューに基づき、セラピーロボットをはじめとしたインタラクションシステムが身体性を有することにより得られる効果、身体性を有さないことにより得られる効果を考察する。実験にて評価した全ストレス指標と印象評価の結果を表2.3に示す。統計的な有意差が確認されたものを太字で示す。

実験参加者へのインタビューから、身体性を有する方が、ふれあいにより親密な印象を与えることができた要因は、身体性が有する特性の1つ、現実感にある可能性が分かった。身体性なし条件の猫エージェントは、タブレット上に表示された映像に過ぎないため、ふれあっているというよりもゲームで遊んでいる感覚に近く、現実味が薄かったと感想を述べた実験参加者が全体の8割を占めた。これに対し、身体性あり条件の猫型ロボットは、動物とふれあっている感覚に近く、楽しむことができたと感想を述べた実験参加者は全体の7割を占めたのである。したがって、ユーザに親密な印象を与える必要がある用途、例えば、クーポンや広告を配布する宣伝や接客等の用途では、身体性を有するインタラクションシステムを使用した方がより効果的であると考えられる。

表 2.3: 身体性を有する／有さないことにより得られる効果

ストレス緩和効果	一時的気分尺度	緊張	身体性あり条件
		抑鬱	身体性あり条件
		怒り	身体性あり条件
		混乱	—
		疲労	身体性あり条件
		活気	身体性あり条件
	脳波含有率	α 波	身体性あり条件
		β 波	身体性あり条件
印象評価		親密性	身体性あり条件
		力本性	身体性なし条件
		信頼性	身体性なし条件

実験参加者へのインタビューの中には、筆者が想定していない興味深い感想も多数あった。猫型ロボットと猫エージェントは、身体性の有無以外の差異がないよう、細心の注意を払って試作した。そのため、当然のことながら、ユーザの接触から反応動作開始までの時間に条件間の差異はない。にもかかわらず、身体性なし条件の猫エージェントの方が、接触に対して正確に反応しているように感じた、すなわち、ユーザの接触から反応動作開始までの時間が適切、かつ正確であると感じた実験参加者が全体の半数を占めたということは、猫エージェントが正確さを感じさせる何らかの特性を有していたためと考えられる。正確さと間接的ではあるが関係のある「無分別な-分別のある」の形容詞対において、身体性なし条件の猫エージェントの方が、分別のある印象を与えたことから、可能性は高い。したがって、情報の正確性が重視される用途、例えば、ナビゲーション等の用途では、身体性を有さないインタラクションシステムを使用した方がより効果的であると考えられる。

本節では身体性の有無という観点からロボットと CG エージェントを比較したが、以上の考察を踏まえると、どちらか一方が優れているというわけではなく、各々に適した用途が存在すると言える。本研究は、ふれあいによりストレス緩和効果を与えるインタラクションシステムの開発を目指しているため、ストレス緩和効果が高い身体性を有するロボットの研究を進めるが、インタラクションシステムを開発する際は、ロボットと CG エージェント、各々が有する特性を考慮し、目指すインタラクションシステムに適した形状を選択する必要がある。

心理的ストレス緩和効果と印象の関係

評価実験 1 において、猫エージェントより親密な印象を与えた猫型ロボットの方が、ふれあいにより得られる心理的ストレス緩和効果が高いことを確認した。この結果に基づき、心理的ストレス緩和効果と印象の関係について考察する。計算課題後とふれあった後の一時的

気分尺度の6尺度の尺度得点の相対値と、親密性の次元において高い因子負荷量を示した7つの形容詞対（「憎らしい-可愛らしい」「感じの悪い-感じの良い」「沈んだ-うきうきした」「意地悪な-親切的な」「近づきがたい-人懐っこい」「無気力な-意欲的な」「非社交的な-社交的な」）の評価値に対し、共分散構造分析 [39] を試みた。共分散構造分析とは、観測データの背後にある様々な要因の関係を分析する統計手法であり、事象の背後にある潜在因子の抽出と、観測変数から結果事象の説明という2つの分析を複合的にを行い、因果関係を構造方程式モデルにより記述する分析手法である。心理的ストレス緩和効果と印象の因果関係が不明なため、計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の6尺度の尺度得点の相対値に主成分分析を適応し潜在変数である親密性を導き、親密性と親密性の次元において高い因子負荷量を示した7つの形容詞対の評価値との回帰分析を実行するモデルと、親密性の次元において高い因子負荷量を示した7つの形容詞対の評価値に主成分分析を適応し潜在変数である心理的ストレス緩和効果を導き、心理的ストレス緩和効果と計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の6尺度の尺度得点の相対値との回帰分析を実行するモデルの2つを仮定した。双方ともMIMIC（Multiple Indicator Multiple Cause）モデルである。モデルごとに共分散構造分析を実施したところ、モデルの相対的な良さを示す情報量基準AICが、前者は1232.3、後者は1203.4であった。複数のモデルを仮定した場合、AICが最も低いモデルを選択するのが良いとされているため、心理的ストレス緩和効果を潜在変数として仮定した後者のモデルを採用した。共分散構造分析の結果を図2.15に示す。ただし、誤差変数は省略している。有意性が確認されたパスを赤い線で示した。

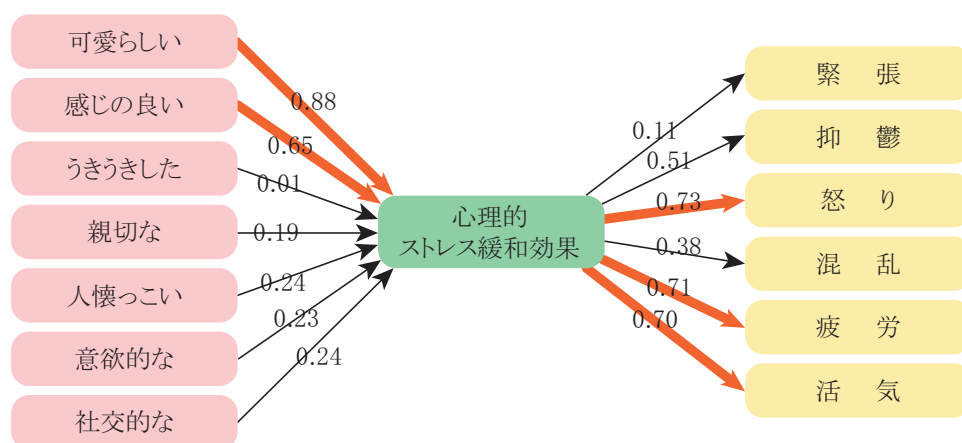


図 2.15: 心理的ストレス緩和効果と印象の関係

「憎らしい-可愛らしい」と「感じの悪い-感じの良い」から心理的ストレス緩和効果へのパスはいずれも有意であり、特に「憎らしい-可愛らしい」から心理的ストレス緩和効果へのパス係数は0.88と高い。また、心理的ストレス緩和効果から怒りと疲労、活気へのパスはいずれも有意であり、いずれのパス係数も0.7以上と高い。したがって、可愛らしさと感じの良さは、怒りや疲労の緩和、活気の向上に影響を及ぼすと言える。

以上より、心理的ストレス緩和効果、特に怒りや疲労の緩和、活気の向上効果を引き出すセラピーロボットを設計する際には、可愛らしさと感じの良さに留意した外観や動作にする必要がある。

簡易脳波計の可能性

評価実験 2 において、MindWave Mobile を使用して計測した脳波に基づき、身体性の有無が生理的ストレス緩和効果に与える影響を検証したが、先述の通り、MindWave Mobile は計測部位が Fp1 領域のみの簡易脳波計であるため、医療用脳波計と比較して取得できる情報は少ない。特に α 波は後頭部や頭頂部において優位に出現することが知られており [40]、Fp1 領域のみの計測によりどのような情報が取得できるか、把握する必要がある。そこで、計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の 6 尺度の尺度得点の相対値と、計算課題後とふれあった後の α 波と β 波の含有率の相対値に対し、Pearson の積率相関分析を実施した。結果を表 2.4 に示す。無相関検定の結果、有意確率 5% 未満のものを太字で示す。

表 2.4: 一時的気分尺度と簡易脳波計の計測脳波含有率の相関

	一時的気分尺度					
	緊張	抑鬱	怒り	混乱	疲労	活気
α 波	0.60	0.38	-0.20	-0.18	0.12	-0.05
β 波	-0.30	-0.17	-0.15	0.06	0.39	-0.05

無相関検定の結果、緊張と抑鬱の緩和と α 波の増進には相関があることを確認した。特に緊張の緩和と α 波の増進は 0.60 と高い相関を示している。緊張が緩和することによりリラックス状態となり、 α 波が増進すると捉えることができるため、定義に反していないことから、Fp1 領域のみの計測であっても、 α 波の含有率を算出することにより、ユーザの緊張状態の変化を捉えることができると言える。一方、疲労の緩和と β 波の増進にも相関があることが確認されたが、 β 波は集中状態、ストレス状態、パニック状態の時に増進する脳波であることから、疲労は悪化すると考えられるため、定義に反している。したがって、Fp1 領域のみの計測では、ユーザの疲労状態の変化を捉えることはできないと言える。

簡易脳波計は、導入コストが低く、拘束性も低いため、セラピーロボットのみならず、セルフケアセラピーの効果を高める上で、重要な役割を果たすと筆者は考える。しかしながら、簡易脳波計は本実験同様、定義に反した状態変化と結びつく可能性があるため、取得したい状態の計測に適した簡易脳波計であるかを確認した上で、連携する必要がある。

2.2 柔らかい触感とストレス緩和効果

前節にて、触感の存在は心理的・生理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であることを確認した。そこで本節以降は、触感を構成する要素に踏み込んで検証する。

外装の素材により、触感を構成する要素の内、粗さ軸（粗い-滑らか）、硬さ軸（硬い-柔らかい）、湿り気軸（湿っている-乾いている）の多くが決まる。本節では、セラピーロボットの触感の一設計指針をまとめる上で、最も重要となるこの3つの要素について検証するが、渡邊 [41] によると、粗く乾いた素材は嫌われる傾向にあることから、硬さ軸に絞ってストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。

2.2.1 評価実験1：柔らかい触感の心理的效果

目的

本実験では、実験参加者の主観評価に基づき、柔らかい触感が心理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。

実験条件

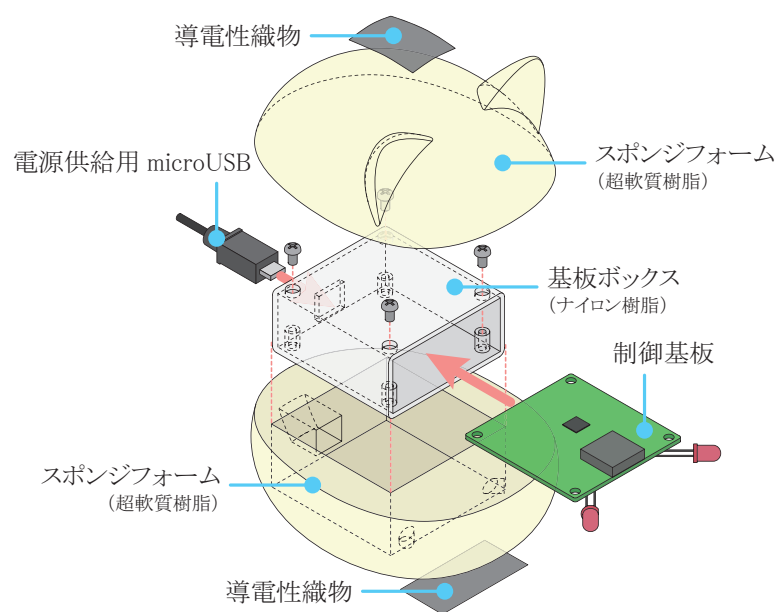
柔らかい触感条件と硬い触感条件の比較実験とする。

柔らかい触感条件では、本実験のために試作した柔らかい猫型ロボット（図 2.16(a) 参照）とふれあう。図 2.16(b) に示す通り、柔らかい猫型ロボットは、頭部と顎部にユーザの接触を検知する接触センサを有し、そのセンサ情報に基づき、制御基板が microSD 内に記憶された音声から 1 つを選択して再生したり、赤色 LED を点灯したりする。接触センサは、導電性織物を使用した静電容量式センサであり、静電容量の時間変化により、接触なし、撫でられた、叩かれたの3状態を検知できる。導電性織物以外の全ての電子部品は、基板ボックスごと柔軟素材で包み、電子部品独特の硬さが触れても分からなくなるようにぬいぐるみに挿入した。ここで柔軟素材とは、アスカー C 硬度 0 程度の超軟質樹脂の造形材である人肌のゲル発砲タイプ [42] により造形したスポンジフォームである。また、ぬいぐるみは、触り心地を考慮し、毛足が 2mm 程度あるソフトボアを使用して縫製した。

硬い触感条件では、本実験のために試作した硬い猫型ロボット（図 2.17(a) 参照）とふれあう。図 2.17(b) に示す通り、根本的な構成は柔らかい猫型ロボットと同様であり、頭部と顎部にユーザの接触を検知する接触センサを有し、そのセンサ情報に基づき、制御基板が microSD 内に記憶された音声から 1 つを選択して再生したり、赤色 LED を点灯したりする。柔らかい猫型ロボットと異なるのは、導電性織物も含めた全ての電子部品を硬い外装に挿入している点である。ここで硬い外装とは、重量が柔らかい猫型ロボットとほぼ等しくなるよう、密度は低いが高硬度は高いナイロン樹脂により造形した、柔らかい猫型ロボットのぬ



(a) 柔らかい猫型ロボットの外観



(b) 内部構成

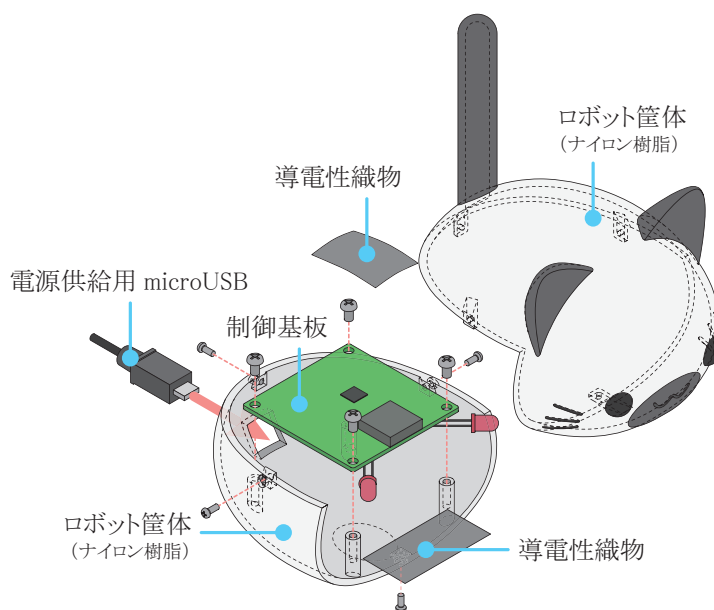
図 2.16: 柔らかい触感条件

いぐるみと同じ外観の筐体である。

ユーザの接触に対する反応動作は、JP Kitty Voice 猫の鳴き声集 [43] から予備実験により選定した、喜び、悲しみ、怒り、心地良いの各感情につき 10 個の音声と、赤色 LED の点灯の組み合わせに統一した。具体的には、ユーザが頭を撫でた時は、頬を赤く染め、喜びを表現する音声からランダムに 1 つ選択し、発声する。ユーザが頭を叩いた時は、悲しみと怒りをランダムに選択し、それぞれ、悲しみを表現する音声、怒りを表現する音声からランダムに 1 つ選択し、発声する。ユーザが顎をゴロゴロさせた時は、頬を赤く染め、心地よさを



(a) 硬い猫型ロボットの外観



(b) 内部構成

図 2.17: 硬い触感条件

表現する音声からランダムに1つ選択し，発声する．

実験手順

本実験は，株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け，予め，実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で，書面にてインフォームドコンセントを得て実施した．

はじめに，実験参加者にストレスを負荷するため，2分間の計算課題を与えた．計算課題

は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

次に、実験条件に応じて、柔らかい猫型ロボット、もしくは硬い猫型ロボットと 2 分間自由にふれあう時間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際に柔らかい猫型ロボット、もしくは硬い猫型ロボットの頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

最後に、実験条件に応じて、柔らかい猫型ロボット、もしくは硬い猫型ロボットに対する印象をたずねた。印象評価は、前節同様、特性形容詞尺度 20 項目に対して 7 件法で回答を求める形で実施した。

実験の流れを図 2.18 に示す。以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。順序効果による影響を排除するため、柔らかい触感条件から提示する実験参加者と、硬い触感条件から提示する実験参加者にと均等に分け、カウンターバランスを取った。また、心理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し、2 回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

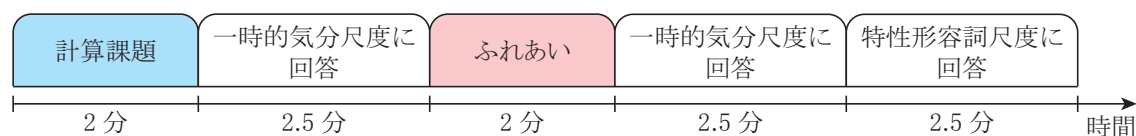
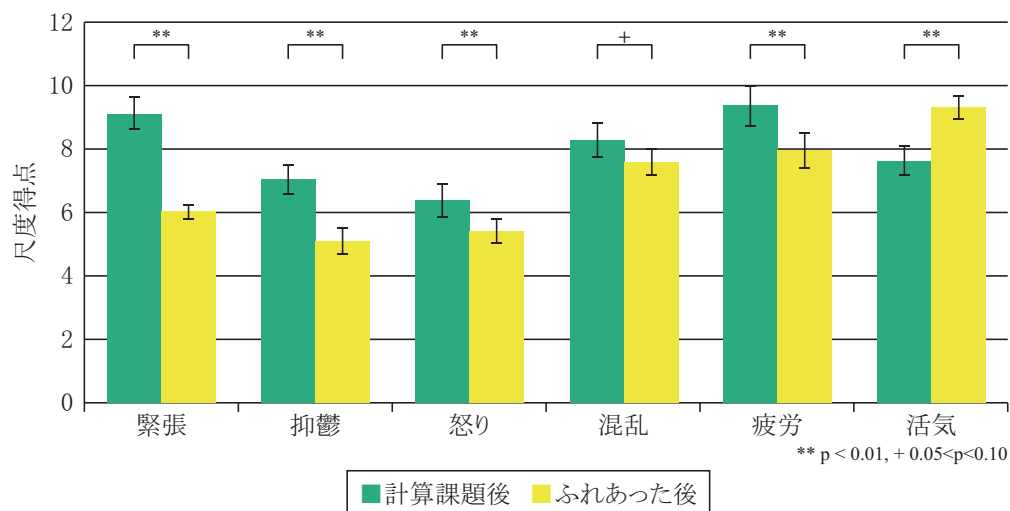


図 2.18: 実験チャート

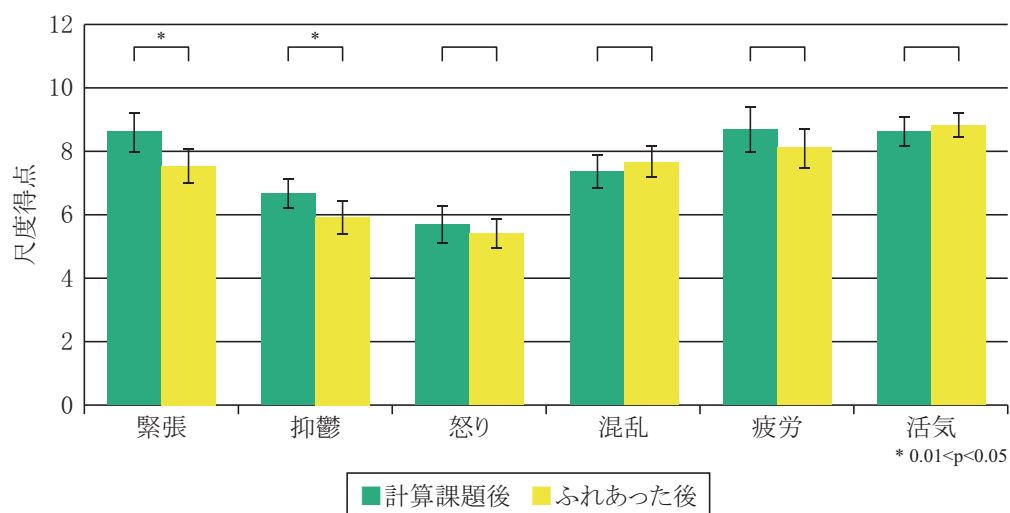
実験結果

実験参加者は、ストレス問題が深刻化している働く世代に対するストレス緩和効果を検証するため、20～50 代（平均年齢 31.78 歳、標準偏差 5.25）の社会人男女 12 名（内、女性 4 名）とした。

まず、柔らかい触感条件と硬い触感条件、それぞれの心理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各条件における計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 2.19 に示す。心理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、柔らかい触感条件は有意水準 1% で緊張 ($p = 0.000$)、抑鬱 ($p = 0.000$)、活気 ($p = 0.000$)、疲労 ($p = 0.001$)、怒り ($p = 0.004$) において有意な変化を、混乱 ($p = 0.055$) において変化傾向を確認した。硬い触感条件は有意水準 5% で緊張 ($p = 0.029$) と抑鬱 ($p = 0.040$) において有意な変化を確認した。



(a) 柔らかい触感条件



(b) 硬い触感条件

図 2.19: 各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化

条件間の心理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の一時的気分尺度の尺度得点を基準として、ふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点の相対値を算出した。ただし、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労については符号を反転する。すなわち、6因子全てにおいて、心理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 2.20 に示す。条件間の心理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、柔らかい触感条件の方が有意水準 1% で緊張 ($p = 0.000$) と抑鬱

($p = 0.000$) が有意に緩和し、活気 ($p = 0.004$) が有意に向上したことを確認した。また、疲労 ($p = 0.053$)、混乱 ($p = 0.056$)、怒り ($p = 0.067$) についても、柔らかい触感条件の方が緩和傾向にあることを確認した。したがって、柔らかい触感を有する方が、ふれあいにより得られる心理的ストレス緩和効果、特に緊張と抑鬱の緩和、活気の向上効果が高いと言える。

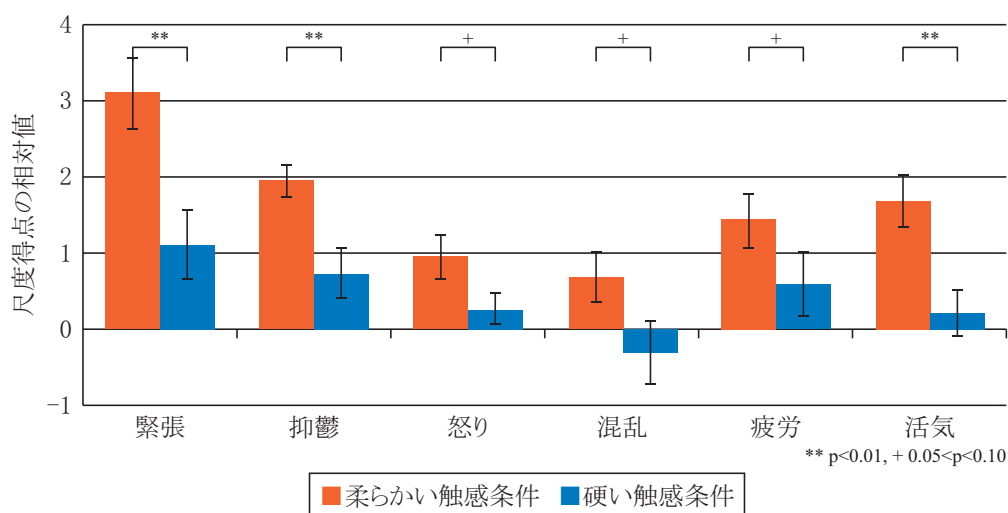


図 2.20: 条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較

次に、柔らかい触感条件の柔らかい猫型ロボットと硬い触感条件の硬い猫型ロボットの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目の平均値を算出し、SD 尺度法にのっとり、図 2.21 に示すセマンティックプロフィールを作成した。条件間の印象の差を統計的に比較するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、柔らかい触感条件の柔らかい猫型ロボットの方が有意水準 1% で可愛らしい ($p = 0.000$)、感じの良い ($p = 0.000$)、気長な ($p = 0.009$)、有意水準 5% で心の広い ($p = 0.012$)、親しみやすい ($p = 0.013$)、うきうきした ($p = 0.022$) が有意に高く評価され、硬い触感条件の硬い猫型ロボットの方が分別のある ($p = 0.053$)、重厚な ($p = 0.062$) と評価される傾向にあることを確認した。

より詳細に柔らかい触感条件の柔らかい猫型ロボットと硬い触感条件の硬い猫型ロボットの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目に対して因子分析を実施した。3 因子解を仮定して分析したところ、3 因子までで全分散の 50.1% が説明されたため、3 因子解は妥当であると判断した。Promax 回転後の因子負荷量を表 2.5 に示す。負荷量が 0.5 以上のものを太字で示した。第 1 因子は「意地悪な-親切的な」や「非社交的な-社交的な」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから社交性の次元であると解釈した。同様に、第 2 因子は「親しみにくい-親しみやすい」と「心の狭い-心の広い」の形容詞対が高い負荷量を示したことから親密性の次元、第 3 因子は「恥ずかしがりの-恥知らずの」と「自信のない-自信のあ

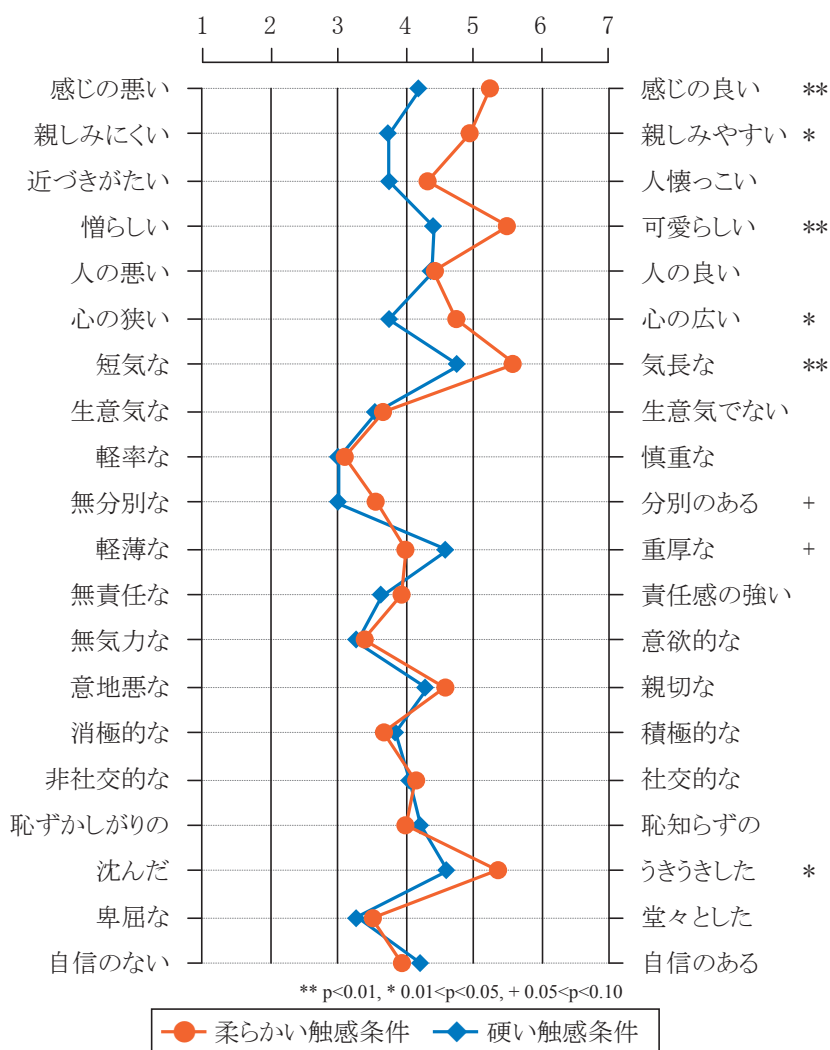


図 2.21: 条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較

る」の形容詞対が高い負荷量を示したことから力本性の次元であると解釈した。

図 2.22 に条件間の因子得点平均値の比較結果を示す。条件間の印象の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、柔らかい触感条件の柔らかい猫型ロボットの方が有意水準 5% で親密性 ($p = 0.014$) と社交性 ($p = 0.029$) の評価が有意に高いことを確認した。したがって、柔らかい触感を有する方が、ふれあいにより親密で社交的な印象を与えることができると言える。

表 2.5: 因子負荷量

特性形容詞尺度	因子		
	I	II	III
意地悪な－親切な	0.80	-0.11	-0.07
非社交的な－社交的な	0.77	-0.18	0.08
沈んだ－うきうきした	0.67	0.24	0.07
生意気な－生意気でない	0.67	-0.38	0.06
憎らしい－可愛らしい	0.64	0.37	-0.23
人の悪い－人の良い	0.61	-0.13	0.00
感じの悪い－感じの良い	0.58	0.27	-0.07
近づきたい－人懐っこい	0.39	0.36	0.05
親しみにくい－親しみやすい	-0.06	1.04	-0.22
心の狭い－心の広い	-0.05	0.97	-0.12
軽薄な－重厚な	-0.22	0.48	0.26
無気力な－意欲的な	0.18	0.38	0.14
無責任な－責任感の強い	0.10	0.30	0.06
恥ずかしがりの－恥知らずの	-0.03	-0.20	1.03
自信のない－自信のある	-0.03	-0.22	1.01
卑屈な－堂々とした	-0.33	0.29	0.47
軽率な－慎重な	0.31	-0.06	0.45
消極的な－積極的な	0.26	0.15	0.31
短気な－気長な	0.13	0.04	-0.02
無分別な－分別のある	0.23	0.19	-0.05

2.2.2 評価実験 2：柔らかい触感の生理的効果

目的と実験条件

本実験では、実験参加者の生体指標に基づき、身体性の有無が生理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。実験条件は評価実験 1 と同様である。

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。でき

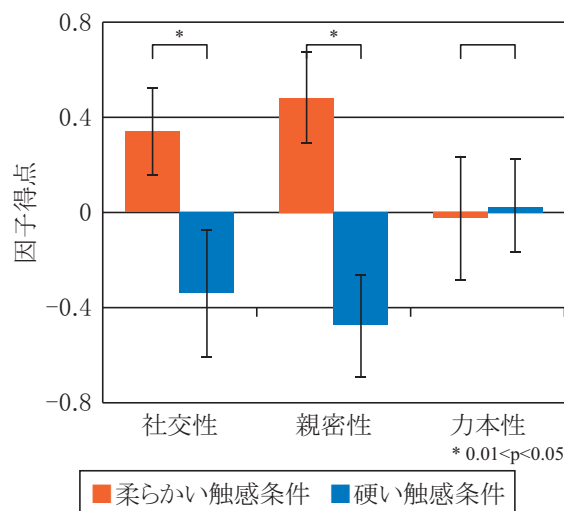


図 2.22: 条件間における因子得点の比較

るだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳波の状態を1分間計測した。脳波の計測には、MindWave Mobile を使用した。

次に、実験条件に応じて、柔らかい猫型ロボット、もしくは硬い猫型ロボットと2分間自由にふれあう時間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際に柔らかい猫型ロボット、もしくは硬い猫型ロボットの頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳の状態を1分間計測した。

実験の流れを図 2.23 に示す。以上の流れを、条件を変えて2回実施した。順序効果による影響を排除するため、柔らかい触感条件から提示する実験参加者と、硬い触感条件から提示する実験参加者との間に均等に分け、カウンターバランスを取った。また、生理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し、2回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

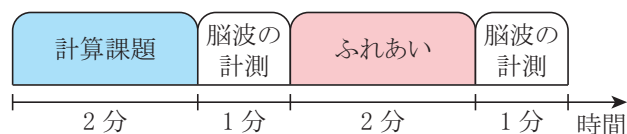


図 2.23: 実験チャート

実験結果

実験参加者は、心理的評価と生理的評価の関係を検証することも念頭に入れ、評価実験 1 に参加した実験参加者と同一である。

まず、柔らかい触感条件と硬い触感条件、それぞれの生理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各条件における計算課題後とふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 2.24 に示す。生理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、柔らかい触感条件は有意水準 1% で α 波の含有率 ($p = 0.000$)、有意水準 5% で β 波の含有率 ($p = 0.024$) において有意な変化を確認した。一方、硬い触感条件はいずれも有意な変化を確認できなかった。

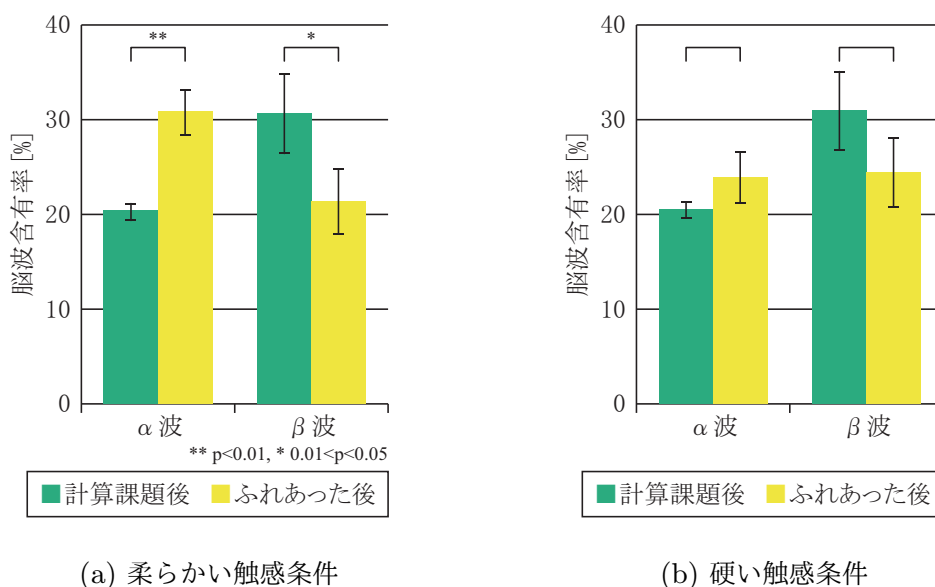


図 2.24: 各条件における脳波含有率の変化

条件間の生理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率を基準として、ふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の相対値を算出した。ただし、 β 波については符号を反転する。すなわち、 α 波、 β 波ともに生理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 2.25 に示す。条件間の生理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、柔らかい触感条件の方が有意水準 5% で α 波の含有率 ($p = 0.049$) が有意に増加したことを確認した。したがって、柔らかい触感を有する方が、ふれあいにより得られる生理的ストレス緩和効果、特に α 波の増進効果が高いと言える。

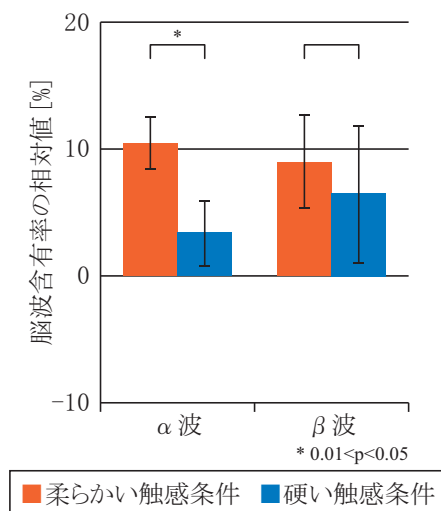


図 2.25: 条件間における脳波含有率の相対値の比較

2.2.3 考察

柔らかいロボットと硬いロボットの差異

評価実験1と2では、柔らかい猫型ロボットと硬い猫型ロボットの差異が硬さであると仮定して実施したが、その仮定に問題はなかったか、実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューから考察する。柔らかい猫型ロボットは表面だけではなく芯まで柔らかかったため、反応に飽きてしまっても、ただモフモフしているだけで癒されたと感想を述べた実験参加者が全体の8割を占めた。一方、硬い猫型ロボットはいかにも機械という感じであり、反応に飽きてしまったら、それ以上ふれあう気が湧かなかったと感想を述べた実験参加者が若干名いた。直接的ではないが、機械らしさは外装の硬さと捉えることができるため、柔らかい猫型ロボットと硬い猫型ロボットの差異が硬さであるとした仮定は正しい。したがって、評価実験1と2の結果より、柔らかい触感を有する方が、ふれあいにより得られる心理的・生理的ストレス緩和効果が高い、すなわち、柔らかい触感とは心理的・生理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であると言える。ただし、実験参加者の表面だけではなく芯まで柔らかかったためという言葉が示す通り、反応に飽きた後も柔らかい猫型ロボットとのふれあいが継続した要因は、内層の柔らかさにあることから、表層だけではなく内層も柔らかい触感でなければならないと考えられる。

柔らかい触感により得られる効果

評価実験1と2の結果、及び実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューに基づき、セラピーロボットをはじめとしたインタラクティブシステムが柔らかい触感を有することにより得られる効果を考察する。実験にて評価した全ストレス指標と印象評価の結果を

表 2.6 に示す．統計的な有意差が確認されたものを太字で示す．

表 2.6: 柔らかい触感により得られる効果

ストレス緩和効果	一時的気分尺度	緊張	柔らかい触感条件
		抑鬱	柔らかい触感条件
		怒り	柔らかい触感条件
		混乱	柔らかい触感条件
		疲労	柔らかい触感条件
		活気	柔らかい触感条件
	脳波含有率	α 波	柔らかい触感条件
		β 波	柔らかい触感条件
印象評価	社交性	柔らかい触感条件	
	親密性	柔らかい触感条件	
	力本性	—	

硬い触感よりも柔らかい触感を有する方が， β 波の減退効果を除き，心理的・生理的ストレス緩和効果が有意に高いことを確認した．実験参加者も実験実施時期も異なるため，単純に比較することはできないが，前節の触感の有無（緊張の緩和，活気の向上， α 波の増進効果において有意な差を確認）と比較して，柔らかい触感の有無の方が心理的・生理的ストレス緩和効果の差が大きい．この要因を考察するにあたり，前述の実験参加者へのインタビューが参考になる．柔らかい猫型ロボットは表面だけではなく芯まで柔らかかったため，反応に飽きてしまっても，ただモフモフしているだけで癒されたという感想から，内層の柔らかさがもたらすロボットの形状，触り心地の変化がインタラクションにつながった可能性が示唆される．また，硬い猫型ロボットはいかにも機械という感じであり，反応に飽きてしまったら，それ以上ふれあう気が湧かなかったという感想から，実験者が設計した反応動作以外にインタラクションの余地がない場合，飽きが早い可能性が示唆される．したがって，表層だけではなく内層も柔らかい触感にすることにより，インタラクションの余地が生まれ，ふれあいたいというユーザの欲求を長期に渡って刺激するという副次的な効果が得られると考えられる．

セラピーロボットをはじめとしたインタラクションシステムの反応動作は，基本的に開発者が設計する有限のものであるため，飽きにどのように対処すればよいかという課題を抱えているが，以上の考察を踏まえると，インタラクションの余地を設けることにより，解決できる可能性が高い．本実験から，表層だけではなく内層も柔らかい触感にすることは，インタラクションの余地を設ける一手段として有効であることを確認したが，このインタラクションの余地は，ぬいぐるみも有している．ぬいぐるみとのふれあいは，セルフケアセラピーの1つとしてロボットセラピーより広く認知されていることから，ロボットセラピーのストレス緩和効果の高さを示すためには，セラピーロボットを開発した後，ぬいぐるみとの

ストレス緩和効果を比較する必要がある。

2.3 主観的重量感覚とストレス緩和効果

前節にて、触感を構成する要素の内、硬さ軸に絞ってストレス緩和効果に与える影響を明らかにし、柔らかい触感は心理的・生理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であることを確認した。そこで本節では、残る触感を構成する要素、重さ軸（重い-軽い）に絞ってストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。

触感は、図 2.1 に示した通り、触覚を中心に諸感覚や記憶、言語等を統合した主観的な質感であるため、多かれ少なかれ、感じ方に個人差がある。しかしながら、重さ軸は、他の要素と比較して、個人差のある筋力に左右される他、視覚情報にも左右されやすいとの報告があり [44, 45]、個人差が大きい。実際、前節の実験において、硬さ軸に対する感想に個人差は確認されなかったのに対し、重さ軸に対する感想は、外観に反して重かったという実験参加者がいる一方で、ロボットなのに意外と軽かったという実験参加者がいるといった具合に個人差が大きく、個人差への考慮なしに重さ軸の検証は難しいと考えられる。そこで本節では、予想重量と実際に持った時に感じる重量の相対による評価（以降、主観的重量感覚という）に着目し、主観的重量感覚がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。

2.3.1 主観的重量感覚の個人差の要因

主観的重量感覚は、知覚矯正仮説 [46] を構成する理論の 1 つ、同化-対比理論により説明できる。同化-対比理論とは、行動前の期待と行動後の評価の相対が、ユーザの順応水準の範囲を逸脱するか否かにより、満足度が決まるという理論である。図 2.26 に示す通り、行動後の評価が行動前の期待より若干上回ったり下回ったりしたとしても、ユーザの順応水準の範囲内に収まっていれば、行動前の期待を正当化、すなわち、同化作用が生じ、認知的不協和が矯正され、別段満足に思うことも不満に思うこともない。逆に、ユーザの順応水準の範囲を少しでも逸脱すれば、行動前の期待と行動後の評価の相対を顕著化、すなわち、対比作用が生じ、認知的不協和が誇張され、順応水準を少しでも上回った場合は実際以上に満足し（正の対比作用）、順応水準を少しでも下回った場合は実際以上に不満に感じる（負の対比作用）。重量評価の場合、行動前の期待より重い方が満足するのか、軽い方が満足するのか定かではないため、正負の判断はできない。しかしながら、同化-対比理論より、少なくとも、ユーザの順応水準の範囲内に収まっていれば同化作用が生じ、主観的重量感覚は予想通りとなり、ユーザの順応水準の範囲を少しでも逸脱すれば対比作用が生じ、主観的重量感覚は予想外（予想より重い、もしくは軽い）となると推測される。

主観的重量感覚がストレス緩和効果に影響を与えると仮定すると、ユーザの順応水準の範囲を可能な限り逸脱しないよう、セラピーロボットの外観と重量の作り込みが必要となる。

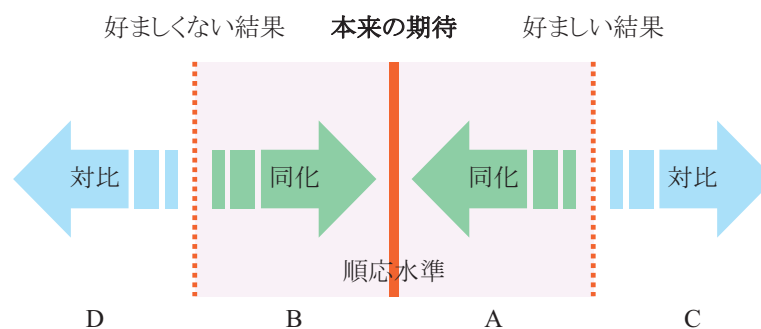


図 2.26: 同化-対比理論

そこで本節では、評価対象のロボットを実際に持った時、同化作用が生じた実験参加者を同化作用群、対比作用が生じた実験参加者を対比作用群に分け、群間のストレス緩和効果を比較することにより、主観的重量感覚がストレス緩和効果に与える影響を明らかにする。

2.3.2 評価実験 1：主観的重量感覚の心理的效果

目的

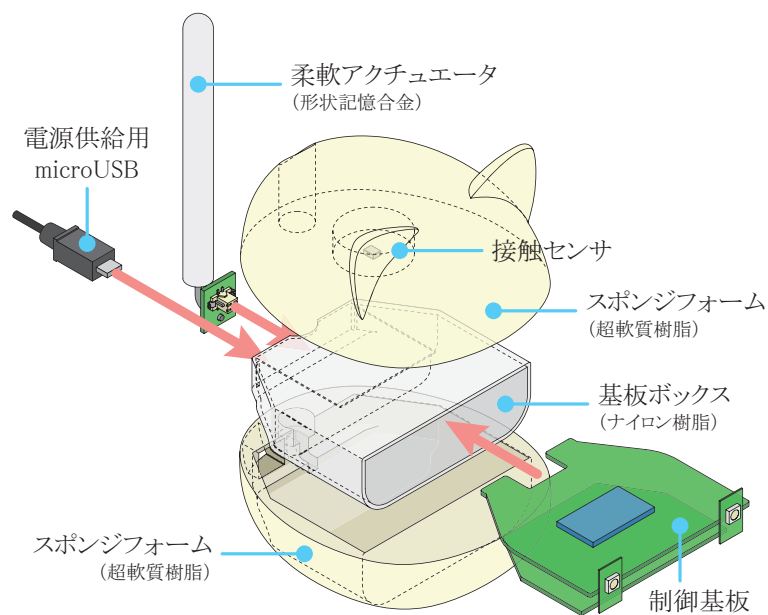
本実験では、実験参加者の主観評価に基づき、主観的重量感覚が心理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。

評価対象

評価対象のロボットは、本実験のために試作した猫型ロボット（図 2.27(a) 参照）である。図 2.27(b) に示す通り、猫型ロボットは、頭部と顎部にユーザの接触を検知する接触センサを、制御基板上にマイクロフォンを有し、そのセンサ情報に基づき、制御基板が尻尾にあるアクチュエータを駆動させたり、microSD 内に記憶された音声から 1 つを選択して再生したり、赤色 LED を点灯したりする。接触センサは、フォトリフレクタがスポンジフォームの変形度合を検出することにより、接触なし、撫でられた、叩かれたの 3 状態を検知できる。マイクロフォンから取得した音声は、大語彙連続音声認識エンジン Julius[47] を使用して、挨拶や「自己紹介して」、「歌を歌って」等の音声認識ができる。全ての電子部品は、基板ボックスごと柔軟素材で包み、電子部品独特の硬さが触れても分からなくなるようにぬいぐるみに挿入した。ここで柔軟素材とは、アスカー C 硬度 0 程度の超軟質樹脂の造形材である人肌のゲル発砲タイプにより造形したスポンジフォームである。また、ぬいぐるみは、触り心地を考慮し、毛足が 2mm 程度あるソフトボアを使用して縫製した。



(a) 猫型ロボットの外観



(b) 内部構成

図 2.27: 評価対象

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

実験開始前、実験参加者の猫型ロボットに対する主観的重量感覚を調査した。調査は、机

の上に置かれた猫型ロボットに触れることなく重量を予想した後、実際に手のひらの上に猫型ロボットをのせ、予想通りの重量であったか、予想より重かったか、予想より軽かったかの回答を得る形で実施した。予想通りと回答した実験参加者を同化作用群、予想より重い、もしくは軽いと回答した実験参加者を対比作用群とする。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

次に、手のひらにのせた状態で、猫型ロボットと 2 分間自由にふれあう時間を設けた。猫型ロボットの反応動作の期待に対する同化・対比作用が生じる可能性を排除するため、猫型ロボットがどのような働きかけに対してどのような動作をするか、実験内容の説明の際、実験参加者に全て教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

最後に、猫型ロボットに対する印象をたずねた。印象評価は、前節同様、特性形容詞尺度 20 項目に対して 7 件法で回答を求める形で実施した。

実験の流れを図 2.28 に示す。

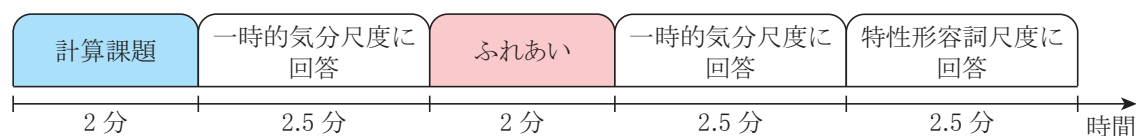
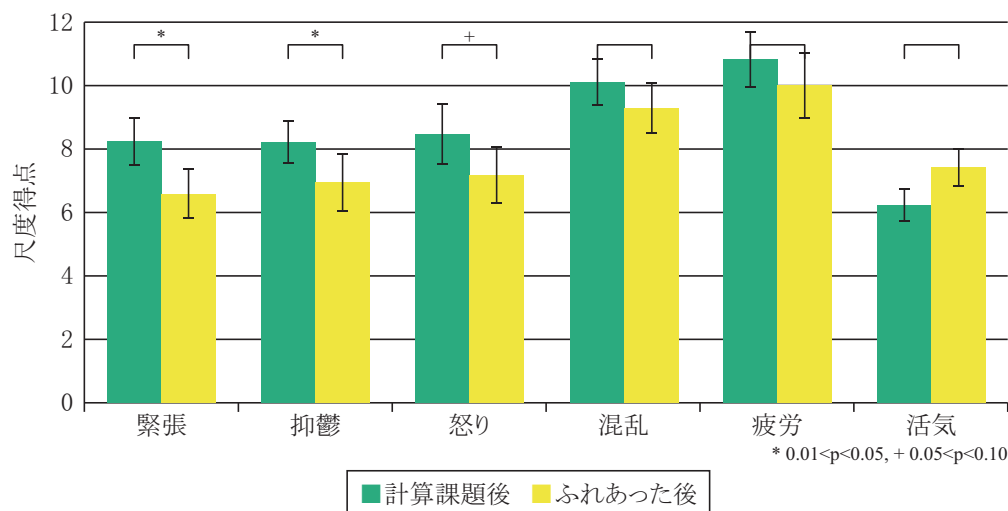


図 2.28: 実験チャート

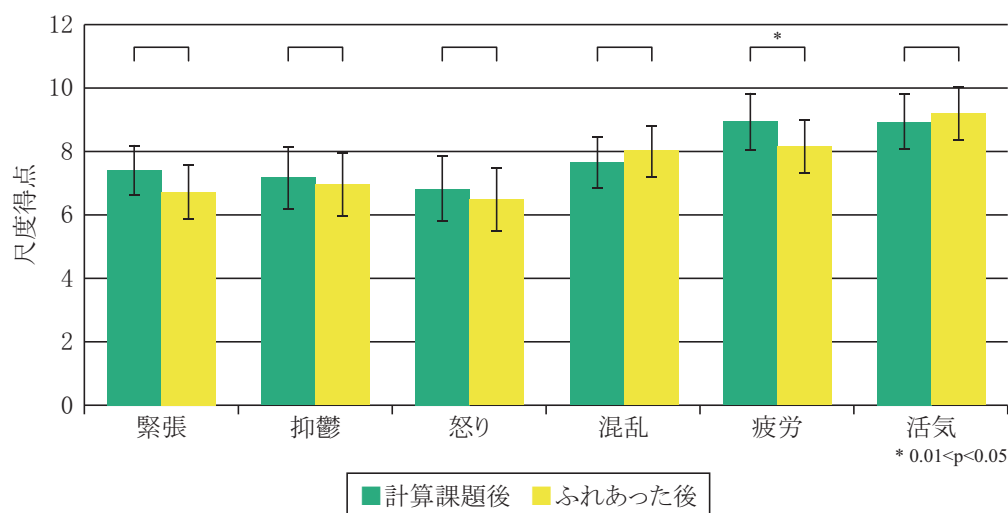
実験結果

実験参加者は、ストレス問題が深刻化している働く世代に対するストレス緩和効果を検証するため、20～50 代（平均年齢 33.92 歳、標準偏差 9.08）の社会人男女 25 名（内、女性 11 名）とした。実験開始前に実施した主観的重量感覚の調査の結果、同化作用群の実験参加者は 11 名（内、女性 5 名）、対比作用群の実験参加者は 14 名（内、女性 6 名）となった。

まず、同化作用群と対比作用群、それぞれの心理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各群における計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点平均値を算出した。各群の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 2.29 に示す。心理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、同化作用群は有意水準 5% で緊張 ($p = 0.013$) と抑鬱 ($p = 0.014$) において有意な変化を、怒り ($p = 0.071$) において変化傾向を確認した。対比作用群は有意水準 5% で疲労 ($p = 0.019$) において有意な変化を確認した。



(a) 同化作用群



(b) 対比作用群

図 2.29: 各群における一時的気分尺度の尺度得点の変化

群間の心理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各群における計算課題後の一時的気分尺度の尺度得点を基準として、ふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点の相対値を算出した。ただし、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労については符号を反転する。すなわち、6因子全てにおいて、心理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。群間の平均相対値の比較結果を図 2.30 に示す。群間の心理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、F 検定により等分散性を確認したところ、抑鬱、怒り、疲労、活気の相対値の分散が等しくないことを確認した。そこで、不等分散性を考慮した Welch の t 検定を実施したところ、同化作用群の方が有

意水準 5% で抑鬱 ($p = 0.014$), 混乱 ($p = 0.043$), 怒り ($p = 0.049$) が有意に緩和したことを確認した。したがって, ロボットを持った時, ロボットの重量が予想通りの重量と感じたユーザの方が, 予想より重い, もしくは軽いと感じたユーザと比較して, ふれあいにより得られる心理的ストレス緩和効果, 特に抑鬱と混乱, 怒りの緩和効果が高いと言える。

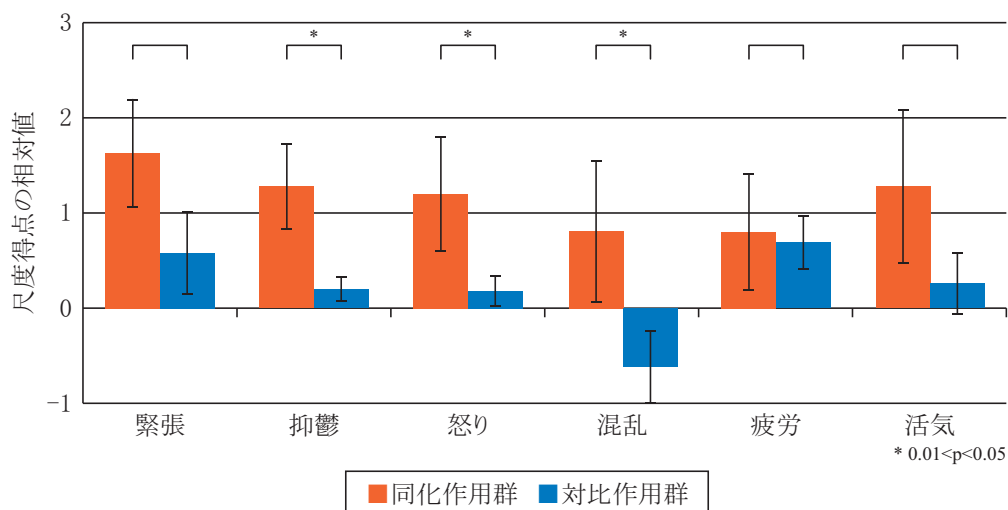


図 2.30: 群間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較

次に, 同化作用群と対比作用群間の猫型ロボットの印象の差を比較するため, 特性形容詞尺度 20 項目の平均値を算出し, SD 尺度法にのっとり, 図 2.31 に示すセマンティックプロフィールを作成した。群間の印象の差を統計的に比較するため, Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後, F 検定により等分散性を確認したところ, いずれの評価値も分散が等しいことを確認した。そこで, Student の t 検定を実施したところ, 同化作用群の方が心が広い ($p = 0.088$), 重厚である ($p = 0.089$) が高く評価される傾向にあることを確認した。

より詳細に同化作用群と対比作用群間の猫型ロボットの印象の差を比較するため, 特性形容詞尺度 20 項目に対して因子分析を実施した。3 因子解を仮定して分析したところ, 3 因子までで全分散の 54.4% が説明されたため, 3 因子解は妥当であると判断した。Promax 回転後の因子負荷量を表 2.7 に示す。負荷量が 0.5 以上のものを太字で示した。第 1 因子は「軽率な-慎重な」や「無分別な-分別のある」, 「無責任な-責任感の強い」の形容詞対が高い負荷量を示す一方で, 「感じの悪い-感じの良い」や「近づきたい-人懐っこい」, 「親しみにくい-親しみやすい」等の形容詞対も高い負荷量を示したことから, 外向性の次元であると解釈した。同様にして, 第 2 因子は「卑屈な-堂々とした」や「自信のない-自信のある」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから力本性の次元, 第 3 因子は「心の狭い-心の広い」や「軽薄な-重厚な」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから寛容性の次元であると解釈した。

図 2.32 に群間の因子得点平均値の比較結果を示す。群間の印象の差を統計的に確認する

表 2.7: 因子負荷量

特性形容詞尺度	因子		
	I	II	III
軽率ないー慎重な	0.83	-0.52	-0.24
無分別なー分別のある	0.76	0.02	-0.26
感じの悪いー感じの良い	0.73	0.40	-0.18
近づきたいー人懐っこい	0.73	0.47	-0.03
無責任なー責任感の強い	0.73	-0.16	0.20
親しみにくいー親しみやすい	0.72	0.37	0.19
憎らしいー可愛らしい	0.68	0.09	0.00
意地悪なー親切な	0.55	-0.02	0.02
卑屈なー堂々とした	0.11	0.84	0.20
自信のないー自信のある	-0.05	0.82	-0.09
消極的なー積極的な	0.15	0.65	0.26
恥ずかしがりのー恥知らずの	-0.36	0.65	0.01
沈んだーうきうきした	-0.03	0.59	-0.02
非社交的なー社交的な	0.14	0.53	0.18
無気力なー意欲的な	0.12	0.50	0.02
心の狭いー心の広い	-0.02	-0.04	0.57
軽薄なー重厚な	0.09	-0.03	0.51
人の悪いー人の良い	0.28	0.07	0.32
生意気なー生意気でない	0.23	-0.32	0.28
短気なー気長な	0.16	-0.32	0.25

2.3.3 評価実験 2：主観的重量感覚の生理的效果

目的と評価対象

本実験では、実験参加者の生体指標に基づき、主観的重量感覚が生理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。評価対象は評価実験 1 と同様である。

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

実験開始前、実験参加者の猫型ロボットに対する主観的重量感覚を調査した。調査は、机の上に置かれた猫型ロボットに触れることなく重量を予想した後、実際に手のひらの上に猫

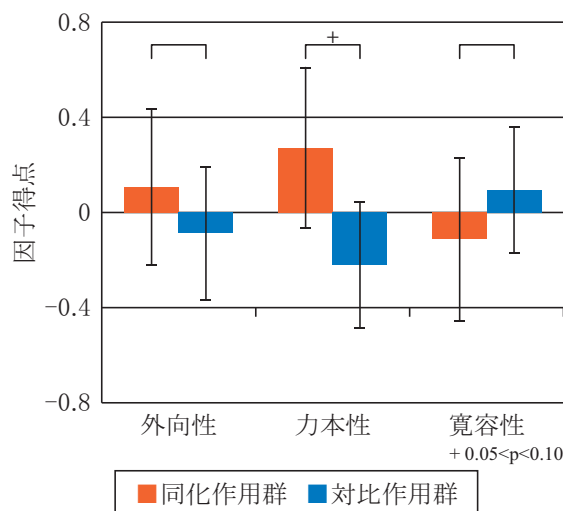


図 2.32: 群間における因子得点の比較

型ロボットをのせ、予想通りの重量であったか、予想より重かったか、予想より軽かったかの回答を得る形で実施した。予想通りと回答した実験参加者を同化作用群、予想より重い、もしくは軽いと回答した実験参加者を対比作用群とする。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳波の状態を 1 分間計測した。脳波の計測には、MindWave Mobile を使用した。

次に、手のひらにのせた状態で、猫型ロボットと 2 分間自由にふれあう時間を設けた。猫型ロボットの反応動作の期待に対する同化・対比作用が生じる可能性を排除するため、猫型ロボットがどのような働きかけに対してどのような動作をするか、実験内容の説明の際、実験参加者に全て教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳の状態を 1 分間計測した。

実験の流れを図 2.33 に示す。

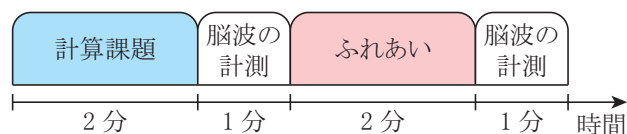


図 2.33: 実験チャート

実験結果

実験参加者は、心理的評価と生理的評価の関係を検証することも念頭に入れ、評価実験 1 に参加した実験参加者と同じである。

まず、同化作用群と対比作用群、それぞれの生理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各群における計算課題後とふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の平均値を算出した。各群の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 2.34 に示す。生理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、同化作用群は α 波の含有率 ($p = 0.085$) において変化傾向にあることを確認した。一方、対比作用群はいずれも有意な変化を確認できなかった。

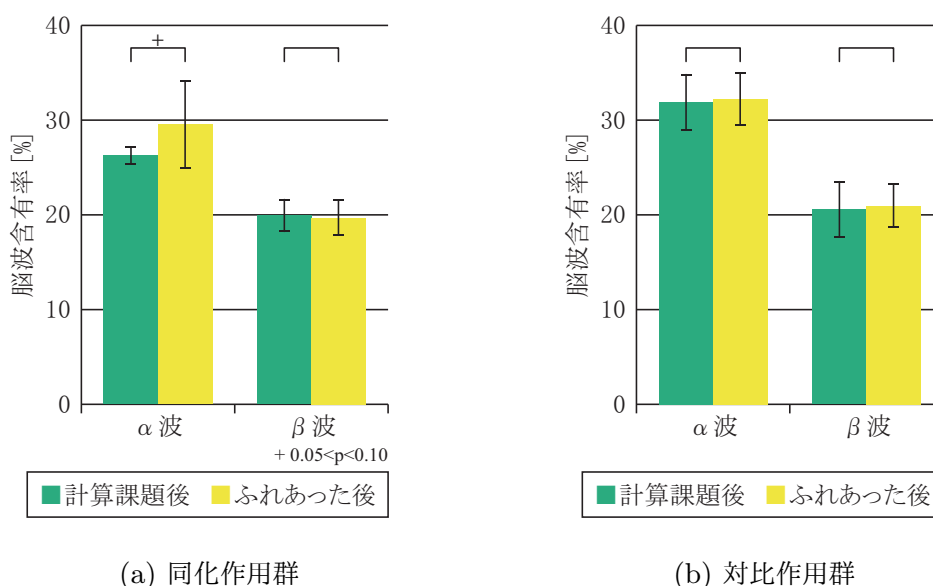


図 2.34: 各群における脳波含有率の変化

群間の生理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各群における計算課題後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率を基準として、ふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の相対値を算出した。ただし、 β 波については符号を反転する。すなわち、 α 波、 β 波ともに生理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。群間の平均相対値の比較結果を図 2.35 に示す。群間の生理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、F 検定により等分散性を確認したところ、 β 波の含有率の相対値の分散が等しくないことを確認した。そこで、不等分散性を考慮した Welch の t 検定を実施したところ、同化作用群の方が α 波の含有率 ($p = 0.094$) が増加傾向にあることを確認した。したがって、ロボットを持った時、ロボットの重量が予想通りの重量と感じたユーザの方が、予想より重い、もしくは軽いと感じたユーザと比較し

て、ふれあいにより得られる生理的ストレス緩和効果、特に α 波の増進効果が高い傾向にあると言える。

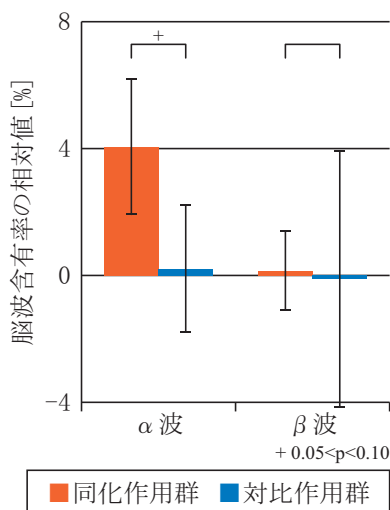


図 2.35: 群間における脳波含有率の相対値の比較

2.3.4 考察

同化作用が生じる重量

評価実験1と2の結果より、ロボットを持った時、ロボットの重量が予想通りの重量と感じたユーザの方が、予想より重い、もしくは軽いと感じたユーザと比較して、ふれあいにより得られる心理的ストレス緩和効果が高い、すなわち、同化作用が生じるような重量の作り込みは心理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であると言える。したがって、同化作用が生じるような重量を作り込む手段を検討する必要がある。同化作用が生じるような重量を作り込むにあたり留意すべきは、順応水準の個人差である。たとえ予想重量は同じであったとしても、順応水準の範囲が広く、同化作用が生じやすいユーザは、予想重量と大幅にずれがなければ問題ないが、順応水準の範囲が狭く、対比作用が生じやすいユーザは、予想重量から少しでもずれがあると対比作用が生じてしまう。そのため、(1) サイズが同程度の既製品の重量を参考にする、(2) 検証実験を通して適切な重量を設定する、(3) ユーザに応じた適切な重量を設定、もしくはユーザ自身が選択する等の対策により、予想重量とずれがない重量に作り込む必要がある。

本研究において開発するセラピーロボットの場合、手のひらサイズのぬいぐるみの重量を調査したところ、軽いもので70g、重いもので140gであった((1)の対策)。それに対して、外観から予想される重量を調査したところ、32名のユーザが回答した予想重量の平均は124.9gであった((2)の対策)。 (1)と(2)に大きなずれはなく、重量を作り込むにあたり参考にできる。したがって、重量が120g前後となるよう機構を軽量化する。

主観的重量感覚と印象の関係

評価実験1において、寛容性は有意差こそ確認できなかったものの、対比作用群の方が評価が高い点に留意が必要であると述べた。統計的な有意差が確認できない結果に基づく考察は本来避けるべきだが、実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューにおいて、対比作用群の実験参加者から興味深い感想が寄せられたため、あえて考察する。予想より重たいと感じた実験参加者から、動物らしいずっしりとした重さがあったため、愛着が持てたという感想が寄せられたが、その要因は、ふれあいを通して動物の命の重さとロボットの重量が関連付けられ、予想外の重さというネガティブな評価からポジティブな印象へと転じたためと考えられる。同様に、ロボットなのに軽かったため、ずっとふれあっていたいと感じたという感想が寄せられたが、その要因は、ふれあいを通してロボットが手にのせても苦にならない重量であることに気付き、予想外の軽さというネガティブな評価からポジティブな印象へと転じたためと考えられる。そもそも、ロボットを持った瞬間に評価が確定する主観的重量感覚は第一印象であり、寛容性や愛着、ふれあいやすさはふれあいを通して変化する第二印象である。当然、一度確定した第一印象を覆すことはできないが、以上の考察より、ふれあいの内容や働きかけによっては、主観的重量感覚がネガティブな評価であっても、ポジティブな印象へと転じさせることができると考えられる。

ロボットを持った後の働きかけを重視する動きは、高齢者福祉施設をはじめとしたセラピーロボットの利用現場において、既に始まっている。例えば、「ロボット・セラピーの手引き」[48]には、利用者がパロを抱いた時に「重いね」という感想を述べた場合、「お孫さんもそれくらい重かったんじゃないですか？」と声を掛け、お孫さんの話題を引き出す例が記載されている。この声掛けには、コミュニケーションを活性化させる狙いの他に、お孫さんを初めて抱いた時の嬉しさとパロの重量を関連付け、パロが予想より重いために生じたネガティブな第一印象からポジティブな印象へと転じさせる狙いもあると考えられる。

2.1 節に記載の通り、心理的ストレス緩和効果と印象には関係があることから、ロボットを持った時、ロボットの重量が予想より重い、もしくは軽いと感じたユーザであっても、ロボットを持った後の働きかけによっては、ストレス緩和効果を高めることができる可能性は高い。したがって、セラピーロボットの開発者は、第一印象がポジティブな評価となるよう、同化作用が生じるような重量に作り込むのはもちろんのこと、第二印象がポジティブな印象となるよう、インタラクションの設計だけではなく、ユーザの周囲にいる人々がどのように働きかけるべきかについても検討する必要がある。

2.4 セラピーロボットの触感の設計指針

2.2 節にて、表層だけではなく内層も柔らかい触感、すなわち、芯まで柔らかい触感であることは心理的・生理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であることを確認した。また、

2.3 節にて、同化作用が生じるような重量，すなわち，外観通りの重量であることは心理的ストレス緩和効果を引き出す上で重要であることを確認した．以上の実験結果を踏まえ，セラピーロボットの触感はどのようなものであるべきか，その一設計指針を以下にまとめた．

セラピーロボットの触感の設計指針

指針1 芯まで柔らかい触感となるよう，表層の素材はもとより，内層の構造にも留意すること．

指針2 外観から予想される重量を予め調査した上で，その重量前後となるよう作り込むこと．

指針1に記載の「芯まで柔らかい触感」とは，セラピーロボットに外力が加えられた場合，ある程度の深さまでセラピーロボットの形状が変形することを指す．指針2に記載の「外観から予想される重量を予め調査」する手段としては，2.3 節に記載の通り，サイズが同程度の既製品の重量を参考にする，検証実験を通して適切な重量を設定する等が挙げられる．

次章では，上記設計指針に基づきセラピーロボットを開発する．

第 3 章

セラピーロボットの開発

本章では，前章においてまとめたセラピーロボットの触感の設計指針に基づきセラピーロボットを開発するにあたり，まず，芯まで柔らかい触感や機構の軽量化を実現する柔軟アクチュエータを考案する．その上で，図 1.3 に示した手のひらサイズの猫型ロボットを開発し，そのストレス緩和効果を評価する．

3.1 柔軟アクチュエータの考案

本研究において開発するセラピーロボットは，尻尾の動作と鳴き声により感性情報を授受するため，尻尾にアクチュエータを搭載する．このアクチュエータは，セラピーロボットの触感の設計指針に基づき，「芯まで柔らかい触感となるよう，表層の素材はもとより，内層の構造にも留意する」と，芯まで柔らかい必要がある．芯まで柔らかいアクチュエータとして，高瀬ら [49] は，モータに連結された複数の糸を側面に通した綿袋を提案している．糸がモータにより巻き取られると綿袋が変形する，その変形を駆動力として利用するのである．このアクチュエータは，駆動部は芯まで柔らかいが，糸をモータにより巻き取るという性質上，駆動部の増加に伴い，モータの必要数も増加する．結果，小型化が難しいばかりか，内層の柔らかさも担保できないという課題がある．そこで本節では，部品が必要最小限であり，かつ，内層の柔らかさも担保できる，芯まで柔らかいアクチュエータを開発する．

3.1.1 柔軟アクチュエータの構造の検討

柔軟アクチュエータの駆動力として，巨大な二方向性形状記憶効果を有する異方性 Ti-Ni(-Cu) 系形状記憶合金線材に着目した．Ti-Ni 系形状記憶合金線材は，ニクロム線と同程度の電気抵抗を有する細い繊維状の素材であり，通電により自己発熱することにより収縮するため，電気・熱駆動方式において優れた性能を発揮する [50]．Ti-Ni 系形状記憶合金線材が有する特性を以下に示す．ロボットの動作音はユーザの心的負荷につながる恐れがあり [51]，セラピーロボットのストレス緩和効果を阻害する一要因でもあることから，柔らかく，

動作音が非常に小さい Ti-Ni 系形状記憶合金線材は、セラピーロボットに使用する芯まで柔らかいアクチュエータの駆動力として適していると考えられる。

- 非常に柔らかい素材である。
- 振動や動作音が非常に小さい。
- ダンピングの効いた柔らかな動作が可能である。
- 高い分解能の微小運動が可能である。
- 動作寿命が長い。
- 低コストである。

考案した柔軟アクチュエータの構造を図 3.1 に示す。まず、4 孔シリコンチューブ（直径 2.5mm）の中心孔（内径 0.8mm）に超弾性合金線材（直径 0.26mm）を、3 つの周辺孔（内径 0.5mm）に Ti-Ni 系形状記憶合金線材（直径 0.075mm）を通し、各孔が駆動により摩耗しないよう電気ハトメにより補強し、超弾性合金線材と Ti-Ni 系形状記憶合金線材の計 4 本を束ねてかしめ、かしめ部分の保護のため、3mmLED 用光拡散キャップをかぶせてシリコン樹脂によりモールドする。次に、導通部分の処理だが、Ti-Ni 系形状記憶合金線材ははんだ付けが困難である点を考慮し、電気ハトメに Ti-Ni 系形状記憶合金線材を通してかしめ、かしめた電気ハトメの上からはんだ付けし、かしめ部分が緩まないよう、シリコン樹脂によりモールドする。このような構造にすることにより、Ti-Ni 系形状記憶合金線材の通電時に得られる自己伸縮（運動ひずみ約 4%）を駆動力として利用できる。

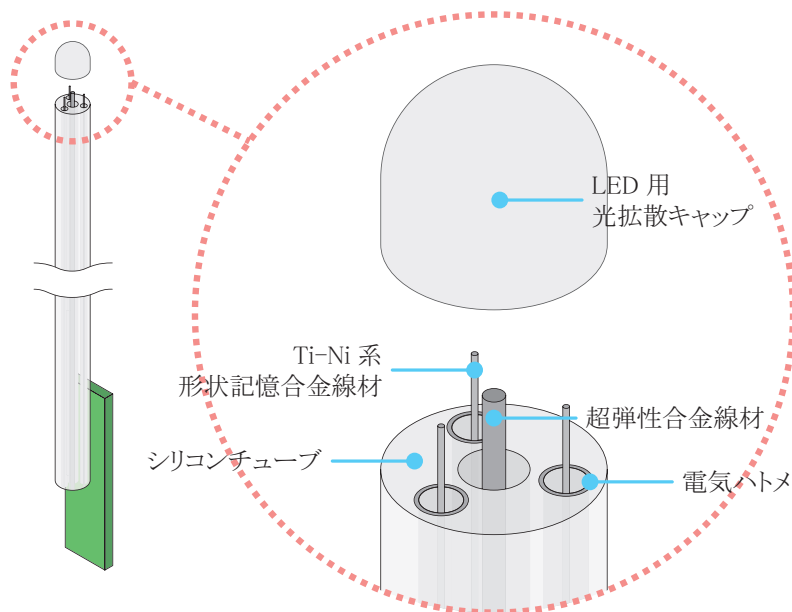


図 3.1: 柔軟アクチュエータの構造

図 3.2 は、柔軟アクチュエータの駆動原理を図解したものである。初期状態の時、柔軟アクチュエータが直立するよう、4 孔シリコンチューブ、Ti-Ni 系形状記憶合金線材、超弾性合金線材の底面は基板に固定されているものとする。通電時、Ti-Ni 系形状記憶合金線材は長さ方向に収縮するが、4 孔シリコンチューブ中心からずれた位置に配されているため、4 孔シリコンチューブを屈曲させる力となる。通電を止めると、Ti-Ni 系形状記憶合金線材は自然空冷により冷却され、元の長さに戻り、超弾性合金線材と 4 孔シリコンチューブ自体の弾性により、直立状態に戻る。図 3.2 では右方向への屈曲例を示したが、3 本の Ti-Ni 系形状記憶合金線材に加える電流を調整することにより、360 度いずれの方向にも屈曲可能である。

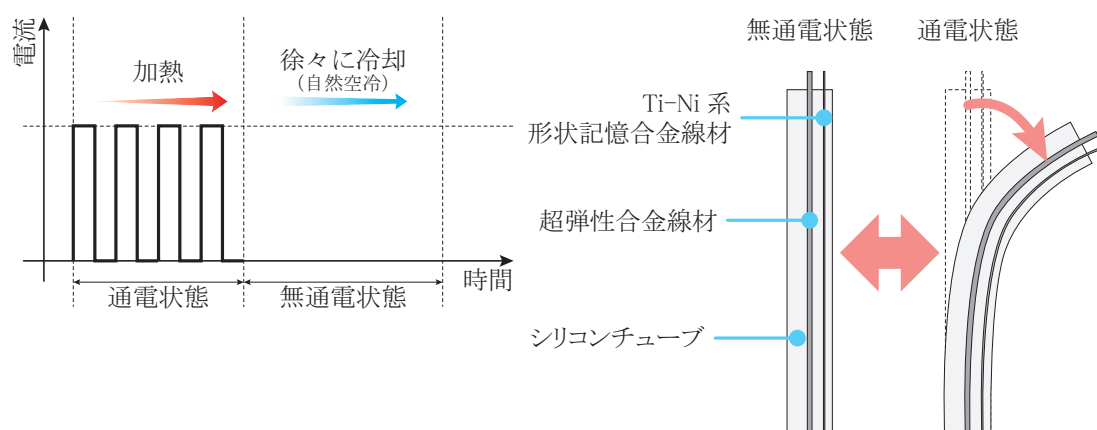


図 3.2: 柔軟アクチュエータの駆動原理

3.1.2 柔軟アクチュエータの動作評価

1.3 節にも記載の通り、猫をはじめとした身近な動物を模したロボットは、本物の動物と比較され、印象が低下することがある。こうした印象の低下を不気味の谷現象 [52] と呼ぶ。2.1 節に記載の通り、心理的ストレス緩和効果と印象には関係があることから、不気味の谷現象は心理的ストレス緩和効果の低下につながりかねない。本研究において開発するセラピーロボットはデフォルメされた猫ではあるが、不気味の谷現象は外観と動作の齟齬とも考えられていることから、本研究において開発するセラピーロボットのデザインと柔軟アクチュエータによる尻尾の動作に齟齬はないか、確認する。

目的

本実験では、実験参加者の主観評価に基づき、本研究において開発するセラピーロボットに関して、柔軟アクチュエータによる尻尾の動作の有無が印象に与える影響を検証する。

実験条件

動作あり条件と動作なし条件の比較実験とする。

動作あり条件では、2.1 節に記載の評価実験のために試作した猫型ロボット（図 2.3(a) 参照）とふれあう。図 2.3(b) に示す通り、猫型ロボットは、頭部にユーザの接触を検知する接触センサを有し、そのセンサ情報に基づき、制御基板が尻尾にあるアクチュエータを駆動させたり、赤色 LED を点灯したりする。接触センサは、フォトリフレクタがスポンジフォームの変形度合を検出することにより、接触なし、撫でられた、叩かれたの 3 状態を検知できる。ユーザの接触に対する反応動作は、ユーザが頭を撫でた時も叩いた時も、頬を赤く染めて尻尾を振る。尻尾の振り方は、前に曲げる、後ろに曲げる、左に曲げる、右に曲げる、左右にゆっくり振る、左右に素早く振るという 6 つの中からランダムに選択するものとした。

動作なし条件でも、動作あり条件と同じ猫型ロボットとふれあうが、ユーザの接触に対する反応動作が異なる。ユーザが頭を撫でた時も叩いた時も、頬を赤く染めるだけであり、尻尾は振らない。

実験手順

本実験は、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

実験条件に応じて、尻尾を動かす猫型ロボット、もしくは尻尾を動かさない猫型ロボットと 2 分間自由にふれあう時間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際に猫型ロボットの頭を撫でたり、叩いたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、実験条件に応じて、尻尾を動かす猫型ロボット、もしくは尻尾を動かさない猫型ロボットに対する印象をたずねた。印象評価は、前章同様、特性形容詞尺度 20 項目に対して 7 件法で回答を求める形で実施した。

以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。順序効果による影響を排除するため、動作あり条件から提示する実験参加者と、動作なし条件から提示する実験参加者との均等に分け、カウンターバランスを取った。

実験結果

実験参加者は、20 代（平均年齢 23.83 歳、標準偏差 2.40）の大学生男女 12 名（内、女性 4 名）とした。

まず、動作あり条件の猫型ロボットと動作なし条件の猫型ロボットの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目の平均値を算出し、SD 尺度法にのっとり、図 3.3 に示すセマンティックプロフィールを作成した。条件間の印象の差を統計的に比較するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したとこ

ろ、動作あり条件の猫型ロボットの方が有意水準 1% でうきうきした ($p = 0.000$), 積極的な ($p = 0.002$), 感じの良い ($p = 0.003$), 意欲的な ($p = 0.006$), 可愛らしい ($p = 0.009$), 人の良い ($p = 0.009$), 有意水準 5% で親しみやすい ($p = 0.012$), 心の広い ($p = 0.013$), 社交的な ($p = 0.014$) が有意に高く評価され, 人懐っこい ($p = 0.054$), 分別のある ($p = 0.089$) が高く評価される傾向にあることを確認した。

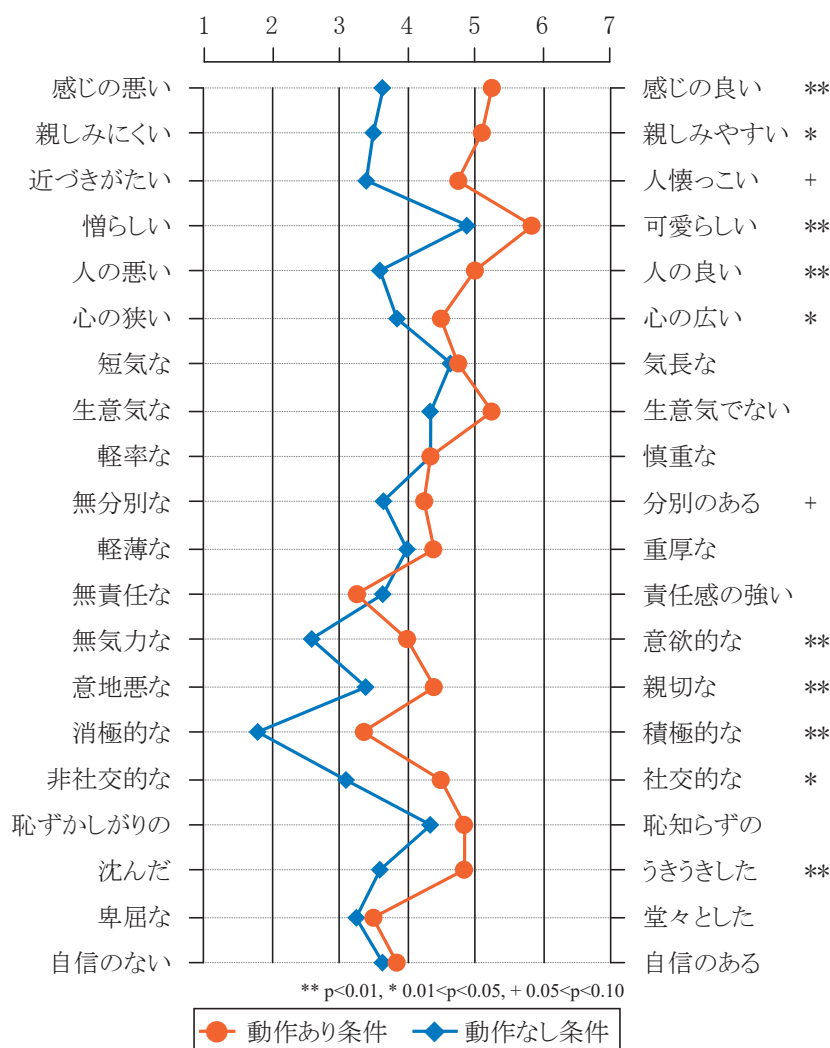


図 3.3: 条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較

より詳細に動作あり条件の猫型ロボットと動作なし条件の猫型ロボットの印象の差を比較するため, 特性形容詞尺度 20 項目に対して因子分析を実施した. 3 因子解を仮定して分析したところ, 3 因子までで全分散の 56.8% が説明されたため, 3 因子解は妥当であると判断した. Promax 回転後の因子負荷量を表 3.1 に示す. 負荷量が 0.5 以上のものを太字で示した. 第 1 因子は「憎らしい-可愛らしい」や「親しみにくい-親しみやすい」, 「感じの悪い-感じの良い」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから親密性の次元であると解釈した. 同様に, 第 2 因子は「無分別な-分別のある」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから礼

儀性の次元，第3因子は「軽率な-慎重な」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから思慮性の次元であると解釈した。

表 3.1: 因子負荷量

特性形容詞尺度	因子		
	I	II	III
憎らしいー可愛らしい	0.92	-0.33	-0.02
親しみにくいー親しみやすい	0.91	-0.14	0.21
感じの悪いー感じの良い	0.91	0.16	0.08
非社交的なー社交的な	0.85	0.12	-0.08
近づきがたいー人懐っこい	0.70	-0.06	-0.03
人の悪いー人の良い	0.62	0.35	0.03
沈んだーうきうきした	0.61	0.32	-0.03
無気力なー意欲的な	0.55	0.47	-0.24
無分別なー分別のある	-0.07	0.91	0.42
意地悪なー親切的な	0.22	0.72	-0.13
自信のないー自信のある	0.10	0.67	-0.18
卑屈なー堂々とした	-0.36	0.62	0.03
軽率なー慎重な	-0.08	-0.06	0.93
軽薄なー重厚な	-0.28	0.20	0.65
短気なー気長な	0.35	0.03	0.62
心の狭いー心の広い	0.15	0.18	0.57
生意気でないー生意気な	0.23	-0.06	0.41
恥ずかしがりのー恥知らずの	0.09	0.25	0.37
無責任なー責任感の強い	0.15	0.03	0.32
消極的なー積極的な	0.43	0.47	-0.17

図 3.4 に条件間の因子得点平均値の比較結果を示す。条件間の印象の差を統計的に確認するため，Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後，対応のある t 検定を実施したところ，動作あり条件の猫型ロボットの方が有意水準 1% で親密性 ($p = 0.004$) の評価が有意に高く，礼儀性 ($p = 0.058$) の評価が高い傾向にあることを確認した。したがって，本研究において開発するセラピーロボットに関して，柔軟アクチュエータにより尻尾を動作させた方が，ふれあいにより親密な印象を与えることができると言える。

考察

本実験は，本研究において開発するセラピーロボットのデザインと柔軟アクチュエータによる尻尾の動作の齟齬を直接評価することはできないため，齟齬がある場合は印象が低下することを利用し，柔軟アクチュエータによる尻尾の動作の印象を評価した。その結果，柔軟

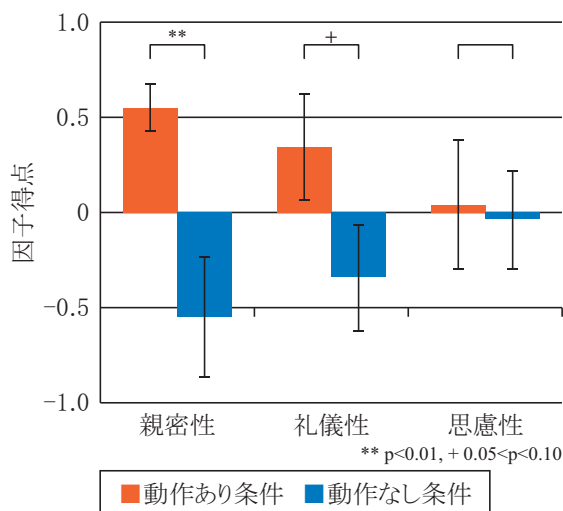


図 3.4: 条件間における因子得点の比較

アクチュエータにより尻尾を動作させた方が、ふれあいにより親密な印象を与えることができることを確認したため、本研究において開発するセラピーロボットのデザインと柔軟アクチュエータによる尻尾の動作に齟齬はなく、本研究において開発するセラピーロボットの尻尾に搭載するアクチュエータとして適していると判断する。

3.2 セラピーロボット「ちょぼにゃん」の開発

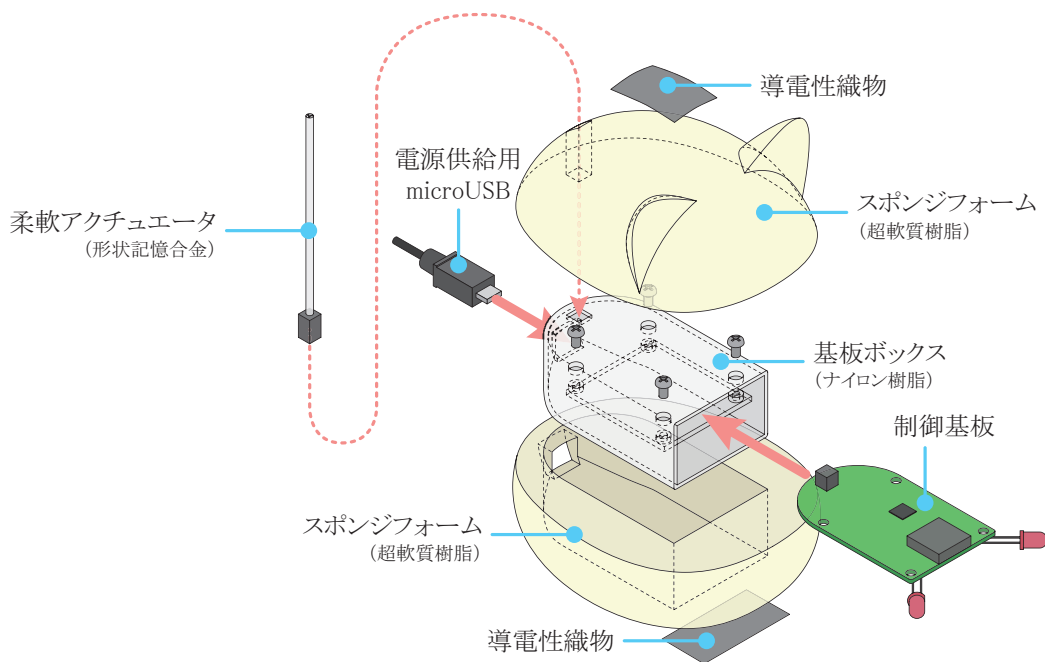
セラピーロボットの触感の設計指針に基づきセラピーロボット「ちょぼにゃん」*1を開発した。外観を図 3.5(a) に、内部構成を図 3.5(b) に示す。ちょぼにゃんは、頭部と顎部にユーザの接触を検知する接触センサを、制御基板上にマイクロフォンを有し、そのセンサ情報に基づき、制御基板が尻尾にある前節にて考案した柔軟アクチュエータを駆動させたり、Open JTalk[53] により合成された音声を再生したり、赤色 LED を点灯したりする。接触センサは、導電性織物を使用した静電容量式センサであり、静電容量の時間変化により、接触なし、撫でられた、叩かれたの 3 状態を検知できる。マイクロフォンから取得した音声は、大語彙連続音声認識エンジン Julius を使用して、挨拶や「自己紹介して」、「歌を歌って」等の音声認識ができる。ちょぼにゃんは、基本的にマイクロコンピュータに書き込まれたプログラムにしたがい、ユーザの接触や声掛けに対する反応動作、ユーザからの働きかけがない時の定常動作を表出するが、高齢者福祉施設における介護者等、ユーザの周囲にいる人がちょぼにゃんの振る舞いを制御することも考慮し、別の端末から制御コマンドを送信できるよう、Bluetooth Low Energy を搭載した。Bluetooth Low Energy により、センサデバイスと連携し、振る舞いを制御することも可能である。導電性織物以外の全ての電子部品

*1 「ちょ」っとした癒しを与えるかわいい「にゃん」こ型口「ボ」ットという意味を込めて命名

は、基板ボックスごと柔軟素材で包み、電子部品独特の硬さが触れても分からなくなるようにぬいぐるみに挿入した。ここで柔軟素材とは、アスカ C 硬度 0 程度の超軟質樹脂の造形材である人肌のゲル発砲タイプにより造形したスポンジフォームである。また、ぬいぐるみは、触り心地を考慮し、毛足が 2mm 程度あるソフトボアを使用して縫製した。



(a) ちょぼにゃんの外観



(b) 内部構成

図 3.5: セラピーロボット「ちょぼにゃん」

開発したちょぼにゃんの重量を測定したところ、リチウムイオンポリマー電池の 60g を含めて 116g であった。2.3 節に記載の通り、サイズが同程度の既製品の重量と事前調査の結

果より、目標重量は 120g 前後であり、セラピーロボットの触感の設計指針の 2 つの指針を満たしていることを確認した。

3.3 セラピーロボット「ちょぼにゃん」のストレス緩和効果

本節では、セラピーロボットの触感の設計指針に基づき開発したセラピーロボット「ちょぼにゃん」とのふれあいにより得られるストレス緩和効果を検証する。ちょぼにゃんのストレス緩和効果を検証するにあたり、2.2 節に記載のロボットセラピーとぬいぐるみセラピーのストレス緩和効果の比較も同時に実施する。

3.3.1 評価実験 1：セラピーロボット「ちょぼにゃん」の心理的效果

目的

本実験では、実験参加者の主観評価に基づき、ちょぼにゃんの心理的ストレス緩和効果を検証するとともに、ロボットセラピーとぬいぐるみセラピーの心理的ストレス緩和効果を比較検証する。

実験条件

ロボット条件とぬいぐるみ条件の比較実験とする。

ロボット条件では、前節にて開発したちょぼにゃんとふれあう。ユーザの接触や声掛けに対する反応動作は、尻尾を振ったり、頬を赤く染めたり、お話しをしたり、歌ったり等、約 50 パターンである。

ぬいぐるみ条件では、ちょぼにゃんと同じ外観のぬいぐるみとふれあう。ユーザの接触や声掛けに対する反応動作がない以外の差異がないよう、縫製に使用する生地、ぬいぐるみ内層の素材はもちろんのこと、重量も同一となるよう細心の注意を払った。

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

次に、実験条件に応じて、ちょぼにゃん、もしくはぬいぐるみと 2 分間自由にふれあう時

間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際にちょぼにゃん、もしくはぬいぐるみの頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

最後に、実験条件に応じて、ちょぼにゃん、もしくはぬいぐるみに対する印象をたずねた。印象評価は、前章同様、特性形容詞尺度 20 項目に対して 7 件法で回答を求める形で実施した。

実験の流れを図 3.6 に示す。以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。順序効果による影響を排除するため、ロボット条件から提示する実験参加者と、ぬいぐるみ条件から提示する実験参加者との均等に分け、カウンターバランスを取った。また、心理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し、2 回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

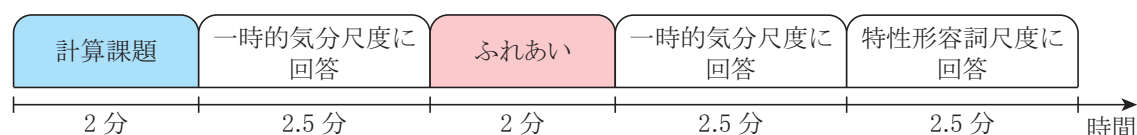


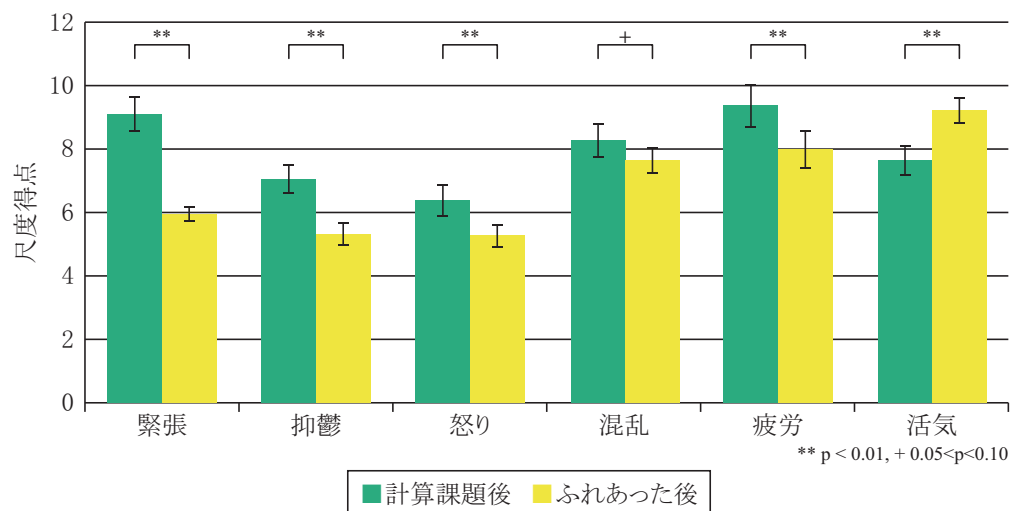
図 3.6: 実験チャート

実験結果

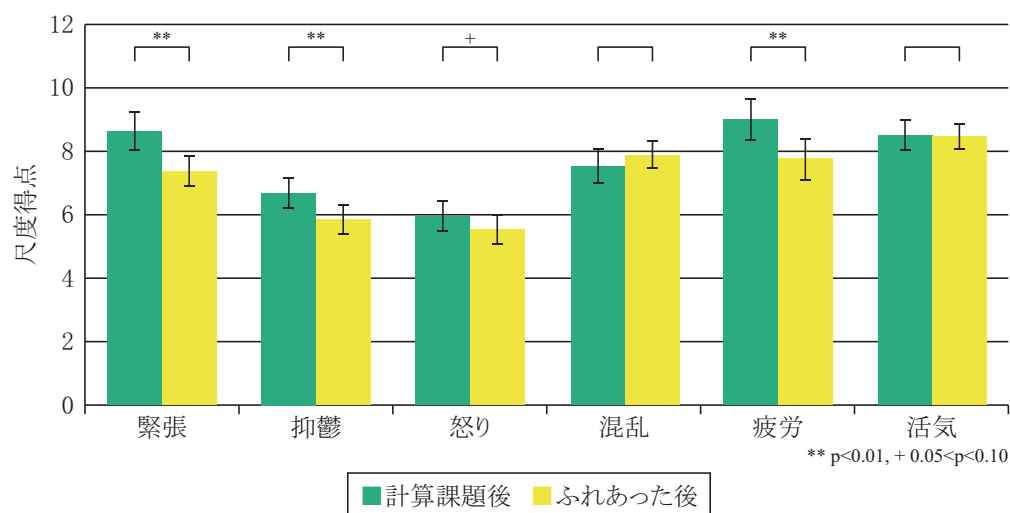
実験参加者は、ストレス問題が深刻化している働く世代に対するストレス緩和効果を検証するため、20～50 代（平均年齢 31.78 歳、標準偏差 5.25）の社会人男女 12 名（内、女性 4 名）とした。

まず、ロボット条件とぬいぐるみ条件、それぞれの心理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各条件における計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 3.7 に示す。心理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、ロボット条件は有意水準 1% で緊張 ($p = 0.000$)、抑鬱 ($p = 0.000$)、活気 ($p = 0.000$)、疲労 ($p = 0.002$)、怒り ($p = 0.004$) において有意な変化を、混乱 ($p = 0.055$) において変化傾向を確認した。したがって、ちょぼにゃんとふれあうことにより心理的ストレス緩和効果が得られると言える。ぬいぐるみ条件は有意水準 1% で抑鬱 ($p = 0.004$)、緊張 ($p = 0.007$)、疲労 ($p = 0.008$) において有意な変化を、怒り ($p = 0.088$) において変化傾向を確認した。

条件間の心理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の一時的気分尺度の尺度得点を基準として、ふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点の相対値を算出した。ただし、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労については符号を反転する。すなわち、



(a) ロボット条件



(b) めいぐるみ条件

図 3.7: 各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化

6 因子全てにおいて、心理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 3.8 に示す。条件間の心理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、ロボット条件の方が有意水準 1% で抑鬱 ($p = 0.000$) と緊張 ($p = 0.005$) が有意に緩和し、活気 ($p = 0.000$) が有意に向上したことを確認した。また、混乱 ($p = 0.059$) についても、ロボット条件の方が緩和傾向にあることを確認した。したがって、ちょぼにゃんの方が、ふれあいにより得られる心理的ストレス緩和効果、特に抑鬱

と緊張の緩和、活気の向上効果が高いと言える。

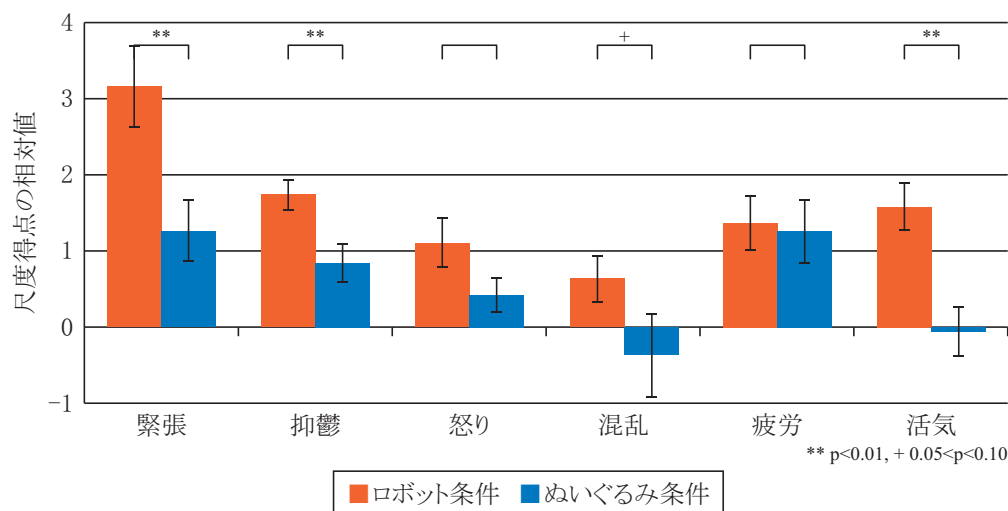


図 3.8: 条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較

次に、ロボット条件のちょぼにゃんとぬいぐるみ条件のぬいぐるみの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目の平均値を算出し、SD 尺度法にのっとり、図 3.9 に示すセマンティックプロフィールを作成した。条件間の印象の差を統計的に比較するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、ロボット条件のちょぼにゃんの方が有意水準 1% でうきうきした ($p = 0.000$)、可愛らしい ($p = 0.000$)、感じの良い ($p = 0.000$)、親しみやすい ($p = 0.000$)、心の広い ($p = 0.008$)、有意水準 5% で堂々とした ($p = 0.025$) が有意に高く評価され、社交的な ($p = 0.069$)、意欲的な ($p = 0.073$)、積極的な ($p = 0.091$)、分別のある ($p = 0.095$) と高く評価される傾向にあり、ぬいぐるみ条件のぬいぐるみの方が有意水準 5% で気長な ($p = 0.018$)、慎重な ($p = 0.038$) が有意に高く評価されることを確認した。

より詳細にロボット条件のちょぼにゃんとぬいぐるみ条件のぬいぐるみの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目に対して因子分析を実施した。3 因子解を仮定して分析したところ、3 因子までで全分散の 47.4% が説明されたため、3 因子解は妥当であると判断した。Promax 回転後の因子負荷量を表 3.2 に示す。負荷量が 0.5 以上のものを太字で示した。第 1 因子は「親しみにくい-親しみやすい」や「心の狭い-心の広い」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから親密性の次元であると解釈した。同様に、第 2 因子は「軽薄な-重厚な」や「軽率な-慎重な」、「短気な-気長な」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから力本性の次元、第 3 因子は「生意気な-生意気でない」と「人の悪い-人の良い」の形容詞対が高い負荷量を示したことから心根性の次元であると解釈した。

図 3.10 に条件間の因子得点平均値の比較結果を示す。条件間の印象の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実

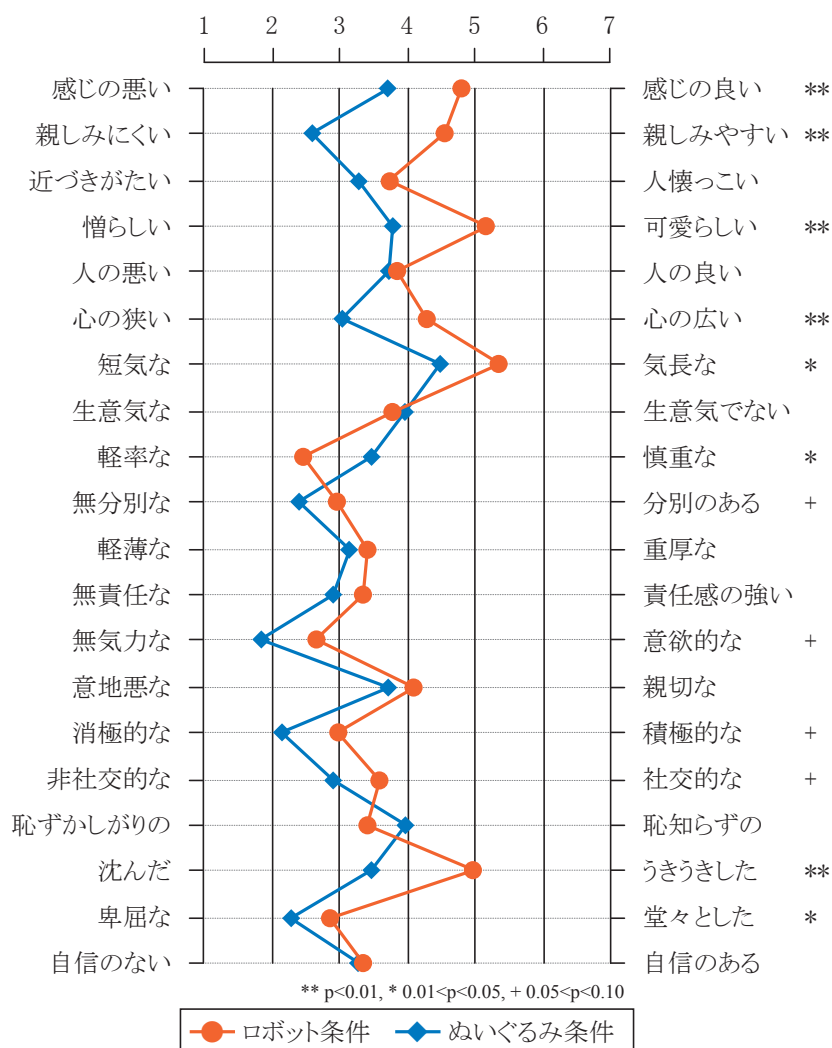


図 3.9: 条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較

施したところ、ロボット条件のちょぼにゃんの方が有意水準 1% で親密性 ($p = 0.000$) の評価が有意に高いことを確認した。したがって、ちょぼにゃんの方が、ふれあいにより親密な印象を与えることができると言える。

3.3.2 評価実験 2 : セラピーロボット「ちょぼにゃん」の生理的効果

目的と実験条件

本実験では、実験参加者の生体指標に基づき、ちょぼにゃんの生理的ストレス緩和効果を検証するとともに、ロボットセラピーとぬいぐるみセラピーの生理的ストレス緩和効果を比較検証する。実験条件は評価実験 1 と同様である。

表 3.2: 因子負荷量

特性形容詞尺度	因子		
	I	II	III
親しみにくいー親しみやすい	0.90	0.03	-0.30
心の狭いー心の広い	0.90	0.01	-0.19
沈んだーうきうきした	0.68	-0.09	0.16
憎らしいー可愛らしい	0.61	-0.16	0.21
感じの悪いー感じの良い	0.58	-0.16	0.15
無気力なー意欲的な	0.52	0.40	-0.04
近づきたいー人懐っこい	0.51	0.23	0.00
非社交的なー社交的な	0.48	-0.16	0.12
意地悪なー親切な	0.43	-0.23	0.23
消極的なー積極的な	0.41	0.28	0.11
軽薄なー重厚な	0.08	0.71	-0.03
軽率なー慎重な	-0.26	0.68	0.15
短気なー気長な	0.32	-0.63	-0.07
無責任なー責任感の強い	0.35	0.51	0.17
自信のないー自信のある	0.05	0.50	0.05
生意気でないー生意気な	-0.23	0.06	1.00
人の悪いー人の良い	0.04	0.12	0.89
恥ずかしがりのー恥知らずの	-0.19	0.36	0.18
無分別なー分別のある	0.30	-0.05	-0.11
卑屈なー堂々とした	0.30	0.43	-0.37

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った1桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳波の状態を1分間計測した。脳波の計測には、MindWave Mobileを使用した。

次に、実験条件に応じて、ちょぼにゃん、もしくはぬいぐるみと2分間自由にふれあう時間を設けた。実験参加者に積極的な接触を促すため、実験内容の説明の際、実験者が実際に

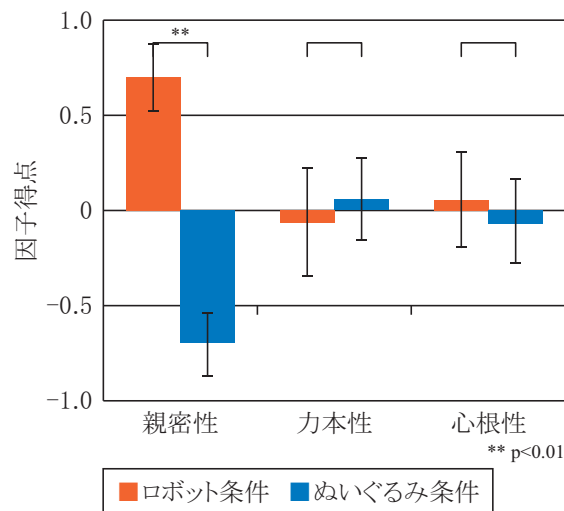


図 3.10: 条件間における因子得点の比較

ちょぼにゃん、もしくはめいぐるみの頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたりしながら、「頭を撫でたり、叩いたり、顎をゴロゴロさせたり、話しかけたりと、自由にふれあってください」と教示しておくものとする。ふれあい終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳の状態を 1 分間計測した。

実験の流れを図 3.11 に示す。以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。順序効果による影響を排除するため、ロボット条件から提示する実験参加者と、めいぐるみ条件から提示する実験参加者にと均等に分け、カウンターバランスを取った。また、生理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し、2 回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

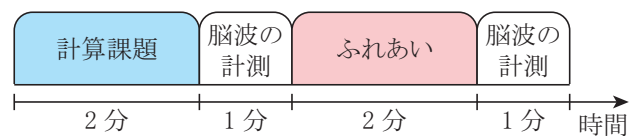


図 3.11: 実験チャート

実験結果

実験参加者は、心理的評価と生理的評価の関係を検証することも念頭に入れ、評価実験 1 に参加した実験参加者と同一である。

まず、ロボット条件とめいぐるみ条件、それぞれの生理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各条件における計算課題後とふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 3.12 に示す。生理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正

規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、ロボット条件は有意水準 1% で α 波の含有率 ($p = 0.000$)、有意水準 5% で β 波の含有率 ($p = 0.012$) において有意な変化を確認した。したがって、ちょぼにゃんとふれあうことにより生理的ストレス緩和効果が得られると言える。ぬいぐるみ条件は有意水準 5% で α 波の含有率 ($p = 0.018$) と β 波の含有率 ($p = 0.045$) において有意な変化を確認した。

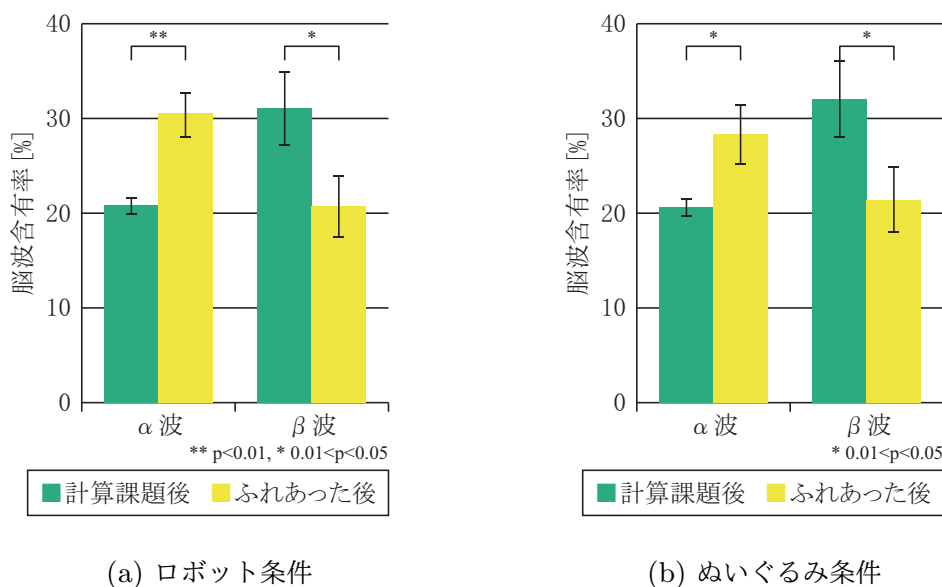


図 3.12: 各条件における脳波含有率の変化

条件間の生理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率を基準として、ふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の相対値を算出した。ただし、 β 波については符号を反転する。すなわち、 α 波、 β 波ともに生理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 3.13 に示す。条件間の生理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、いずれも有意な差を確認できなかった。

3.3.3 考察

評価実験 1 と 2 の結果、及び実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューに基づき、セラピーロボットの触感の設計指針に基づき開発したちょぼにゃんにおけるロボットセラピーとぬいぐるみセラピーのストレス緩和効果の差異について考察する。実験にて評価した全ストレス指標と印象評価の結果を表 3.3 に示す。統計的な有意差が確認されたものを太字で示す。

注目すべきは、ロボットセラピーの方がふれあいにより得られる心理的ストレス緩和

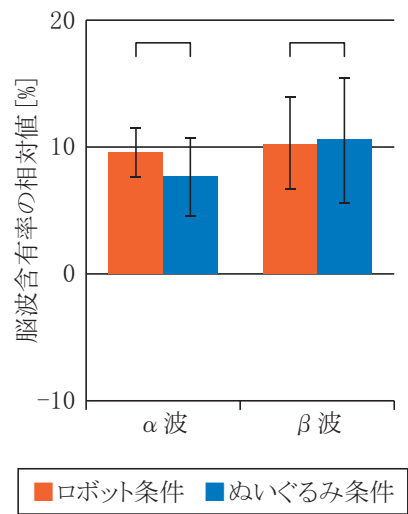


図 3.13: 条件間における脳波含有率の相対値の比較

表 3.3: セラピーロボットとぬいぐるみセラピーの効果の比較

ストレス緩和効果	一時的気分尺度	緊張	ロボット条件
		抑鬱	ロボット条件
		怒り	ロボット条件
		混乱	ロボット条件
		疲労	ロボット条件
		活気	ロボット条件
	脳波含有率	α 波	－
		β 波	－
印象評価		親密性	ロボット条件
		力本性	－
		心根性	－

効果が高い一方、生理的ストレス緩和効果に差は確認できなかった点である。本実験は、MindWave Mobile により計測した脳波の含有率を生理的ストレス緩和効果の指標としているため、2.1 節に記載の通り、必ずしも、心理的ストレス緩和効果の指標とした一時的気分尺度と同じ結果が導き出されるとは限らないが、一考の余地はある。考察するにあたり、ぬいぐるみ条件において、反応がないためロボットではないことに気付き、物足りなさを感じたものの、モフモフしているだけで癒されたという実験参加者の感想を参考にする。2.1 節に記載の通り、心理的ストレス緩和効果と印象には関係があることから、反応行動がないことによる物足りなさというネガティブな印象を与えてしまったぬいぐるみとのふれあいでは、十分に心理的ストレス緩和効果を引き出すことができなかったと考えられる。一方、ぬ

いぐるみは外力により形状，触り心地が変化するため，2.2 節に記載の芯まで柔らかいことによる副次的な効果により，生理的ストレス緩和効果は十分に引き出すことができたと考えられる．本実験は，2 分間という非常に短時間のふれあいにおけるストレス緩和効果を検証したため，反応行動がないことによる物足りなさというネガティブな印象が生理的ストレス緩和効果に影響を与えることはなかったが，ふれあいが長時間になれば，当然，影響が大きくなると推測される．インタラクションの真価は長期的なふれあいにあることから，今後，長期的なふれあいにおけるロボットセラピーとぬいぐるみセラピーのストレス緩和効果を比較検証する必要がある．

第4章

ストレス緩和効果向上に向けた検討

本研究では，セラピーロボットの触感の一設計指針をまとめ，その指針に基づきセラピーロボット「ちょぼにゃん」を開発したが，当然のことながら，触感以外にもストレス緩和効果に影響を与える要素は多数存在する．例えば，クラシックをはじめとした音楽により聴覚を刺激するミュージックセラピー，好きな色や効果的な色彩により視覚を刺激するカラーセラピー，植物から抽出した香り成分である精油により嗅覚を刺激するアロマセラピー等，各種感覚に応じたセルフケアセラピーがあることから説明できる（図 4.1 参照）．ロボットセラピーは五感全てに複合的に刺激を与えるセルフケアセラピーであることから，触感以外の感覚刺激についても設計指針をまとめることが望ましい．ちょぼにゃんは尻尾の動作と鳴き声により感性情報を授受するため，本章では聴覚刺激に着目し，セラピーロボットの音声の一設計指針をまとめる第一段階の検討を行う．

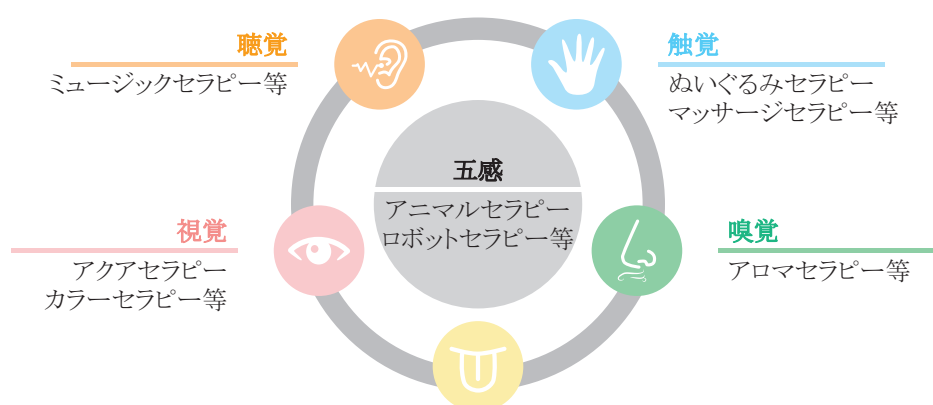


図 4.1: 五感とセルフケアセラピー

また，セルフケアセラピーは，自身の状態に応じてミュージックセラピーであれば音楽を，アロマセラピーであれば精油を選択する等，適切な施術を選択するのが一般的であり，セラピーロボットも同様の機能を有することが望ましい．ちょぼにゃんは Bluetooth Low

Energy を搭載しており、センサデバイスと連携し、振る舞いを制御することも可能であるため、ユーザの状態に応じて振る舞いを変化させることにより、状態に適したストレス緩和効果を引き出すセラピーロボットシステムについても、別途検討する。

4.1 音声調整によるストレス緩和効果向上に向けた検討

セラピーロボットに限らず、ぬいぐるみに機械的な装置を内蔵することにより、動作や音声により感性情報を授受する機能を付加する試みは数多くなされている。特に、コミュニケーショントイの進化は目覚ましいが、近年、改めて注目を集めているのがモノマネぬいぐるみである。モノマネぬいぐるみは、ユーザの発話音声を録音し、基本周波数を高くする等の処理を施した上で再生する非常にシンプルなコミュニケーショントイだが、音声認識技術に応用した対話ぬいぐるみ以上の人気を誇っている。本節では、セラピーロボットの音声の一設計指針をまとめる第一段階として、モノマネぬいぐるみ人気の裏にある心理的知見を開発したセラピーロボット「ちょぼにゃん」に応用した場合、ストレス緩和効果を向上させることができるか検証する。

4.1.1 コミュニケーションにおける同調の効果

対人コミュニケーション場面において、コミュニケーション相手の非言語情報、例えば、話し方や身振り手振り、表情、姿勢、癖等に引き込まれ、自身の非言語情報がそれと類似する、もしくは連動することがある [54]。この現象は、同調傾向 [55] や引き込み現象 [56] として知られている。同調傾向は、コミュニケーション場面において常に生じるわけではなく、コミュニケーション相手への親密度や共感度等の要因により変化することから、円滑なコミュニケーションの指標と考えられている。これを逆手に取り、コミュニケーション相手の非言語情報を、相手にそれと悟られないよう模倣することにより、コミュニケーションをとりやすい状況を作り、互いの印象を向上させるコミュニケーション術として、カメレオン効果 [57] が知られている。カメレオン効果は、対 CG エージェント [58] や対アンドロイド [59] でもその効果が確認されていることから、セラピーロボットにも応用可能であると考えられる。

同調傾向の研究は多種多様な分野で進められているが、特に韻律情報に関するものが多い。例えば、発話音声の大きさ [60] や基本周波数 [61]、発話速度 [62] がコミュニケーション相手のそれと同調することが確認されている。モノマネぬいぐるみは、それと意図して設計されている訳ではないが、ユーザの発話をオウム返しするという性質上、発話音声の大きさや基本周波数、発話速度が完全にユーザのそれと同調する。モノマネぬいぐるみが対話ぬいぐるみ以上の人気を誇っているのは、同調傾向により引き出される好印象効果によるところが大きいと考えられる。とはいえ、モノマネぬいぐるみはあくまでユーザの発話をオウム返

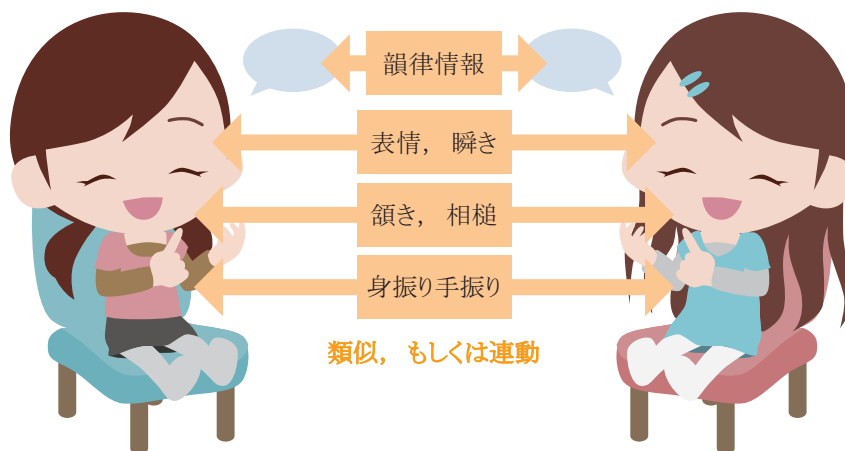


図 4.2: 同調傾向

しするだけであり、その仕組みをそのまま対話システムに応用することは不可能である。そこで本節では、西村ら [63] の研究を参考に、韻律情報の内、コミュニケーションが活性化されている時に最も強く同調傾向が確認される基本周波数に着目し、モノマネぬいぐるみのようにシンプルな仕組みでありながら、同調傾向を疑似的に引き起こす基本周波数同調システムを検討し、そのシステムを対話システムに組み込んだちょぼにゃんのストレス緩和効果を評価する。

4.1.2 基本周波数同調システムの構築

基本周波数同調システムは、西村らの研究を参考に、ユーザの発話音声の基本周波数と同調するよう、応答音声の基本周波数を調整するシステムとした。一般的な対話システム（マイクロフォンから取得した観測信号から、音声信号が存在する区間を検出し、その音声信号に対する応答文を生成、音声を合成し、発声する）をベースにして、構築したシステムの概要を図 4.3 に、各ステップにおける詳細なアルゴリズムを以下に示す。

1) 音声区間検出

マイクロフォンから取得した観測信号から、音声信号が存在する区間を検出し、ユーザの発話音声を取得する。音声区間検出には、観測信号の振幅と零交差数を用いる方法 [64] を使用した。本手法は、音声区間であれば振幅が大きくなり、非音声区間であれば零交差数が大きくなるという性質を利用して音声区間を検出する。すなわち、予め設定した閾値レベルを超える振幅の零交差数が 1 秒間に指定した数以上になった時に音声区間が開始したと判断し、音声区間中に零交差数が指定した数以下になった時に音声区間が終了したと判断する。本システムでは、振幅の閾値を 2000、零交差

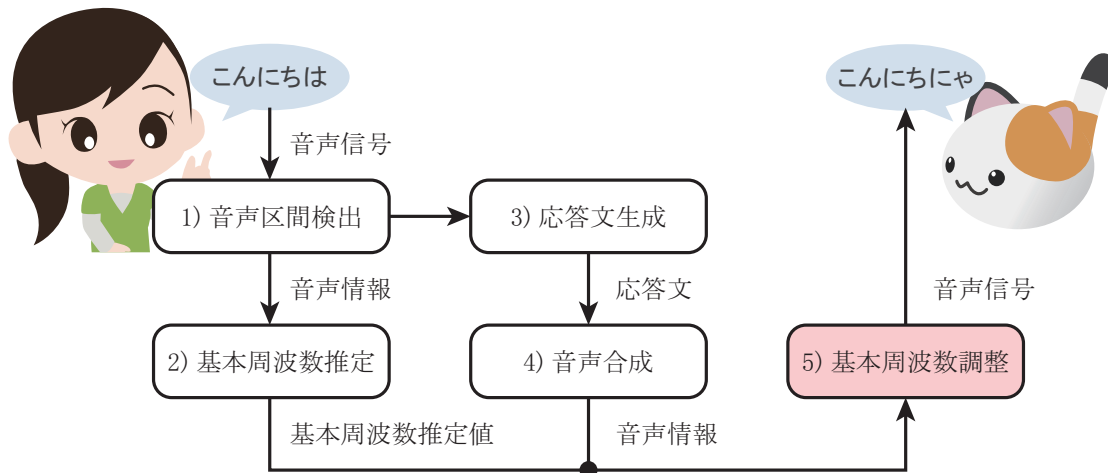


図 4.3: 基本周波数同調システム

の閾値を 60 回/秒とした。頑健に切り出しを行うため、音声区間の開始と終了前後に 300ms のマージンを持たせて切り出しを行う。本手法は、雑音環境下になく、観測信号の SN 比が高いことを前提としているが、少ない計算量で音声区間を検出できるという利点がある。

2) 基本周波数推定

取得した発話音声の基本周波数を推定する。基本周波数は、Sawtooth Waveform Inspired Pitch Estimator (SWIPE) [65] を使用して推定した。本手法は、音声信号のパワースペクトルは、基本周波数の整数倍にピークを持つ調波構造をとる性質を利用して基本周波数を推定する。誤差を低減させる処理に複雑な計算を要するため計算コストは大きいですが、推定誤差が小さいという利点がある。サンプリング周波数は 16kHz、探索する周波数は 60Hz から 240Hz とした。

3) 応答文生成

取得した発話音声の言葉を認識し、応答文を生成する。音声認識には、Julius を使用した。Julius は単独でも音声認識可能だが、単語を登録しておくことによりその単語の認識速度と精度を向上させる辞書システムがある。そこで本システムでは、辞書に登録された挨拶等の簡単な文言に対しては予め登録された文言を、それ以外の文言に関しては相槌（例えば、単純相槌やオウム返し等）を生成するものとした。

4) 音声合成

生成した応答文の音声合成する。音声合成には、Open JTalk を使用した。合成した音声は、ユーザの発話音声同様、基本周波数を推定する。

5) 基本周波数調整

合成した応答音声の基本周波数を、ユーザの発話音声の基本周波数に同調するように調整する。取得した発話音声の内、最も音量が大きい時点の基本周波数を発話音声側の

調整基準とする．同様に，合成した応答音声の音声区間の内，最も音量が大きい時点の基本周波数を応答音声側の調整基準とする．発話音声側の調整基準と応答音声側の調整基準の差が常に一定の値（以降，基準間基本周波数差という）となるよう応答音声の基本周波数を調整することにより，基本周波数を同調させる．基本周波数は，Speech Signal Processing Toolkit (SPTK) [66] を使用して調整した．本システムでは，システム起動後，初めて発声する応答音声の基本周波数は調整せず，その時の発話音声側の調整基準と応答音声側の調整基準との差を，基準間基本周波数差とする．基本周波数を調整した応答音声は，取得した発話音声の音声区間終了時点から 200ms 後に発声させるものとした．

本システムによる基本周波数の同調例を図 4.4 に示す．システム起動後，初めて検出したユーザの「こんにちは」という発話音声に対しては，基本周波数を調整せず，音声合成時の基本周波数のまま「ニャー」という応答音声を発声する．この時，発話音声の「こんにちは」と応答音声の「ニャー」の基本周波数を推定し，双方の最大音量時の基本周波数の差を基準間基本周波数差とする．その後は，発話音声と応答音声，双方の最大音量時の基本周波数の差が基準間基本周波数差となるよう調整する．

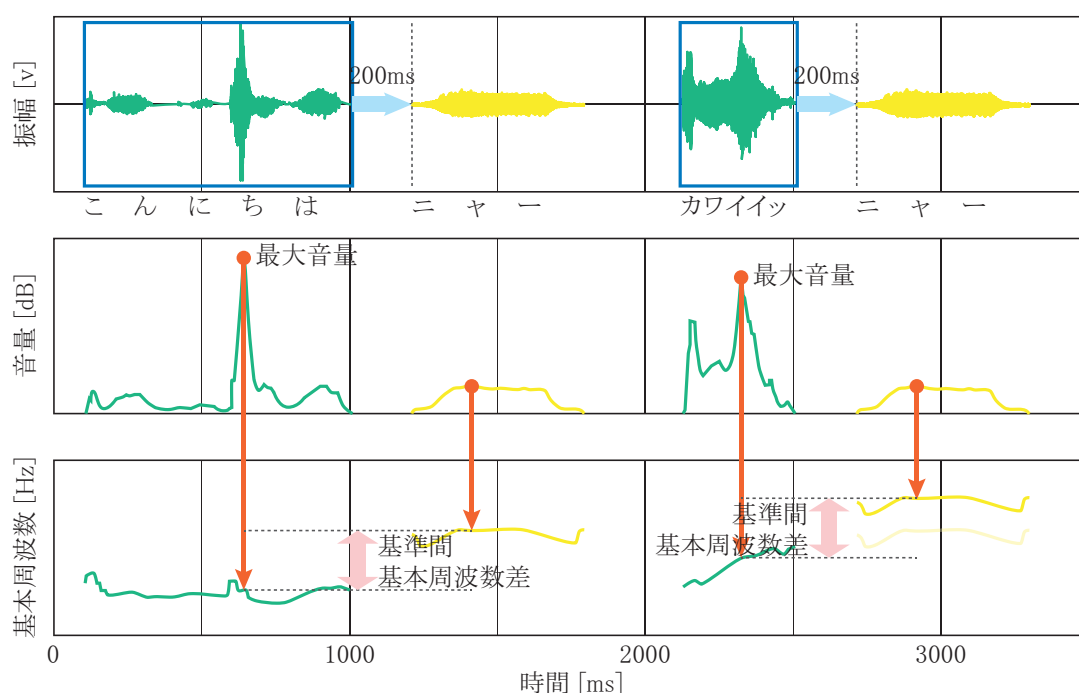


図 4.4: 基本周波数の調整例

4.1.3 評価実験1：基本周波数調整の心理的効果

目的

本実験では、実験参加者の主観評価に基づき、応答音声の基本周波数調整の有無が心理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。

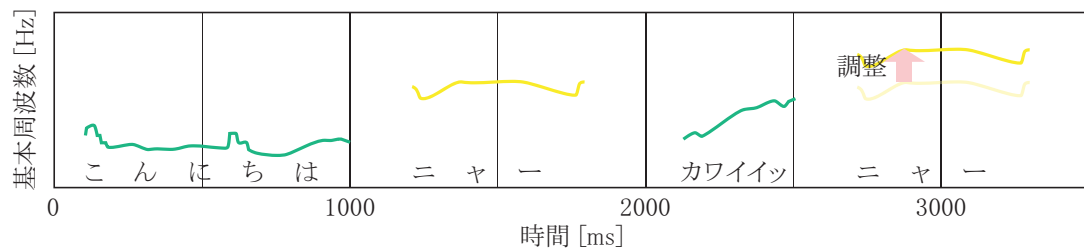
実験条件

調整あり条件と調整なし条件の比較実験とする。

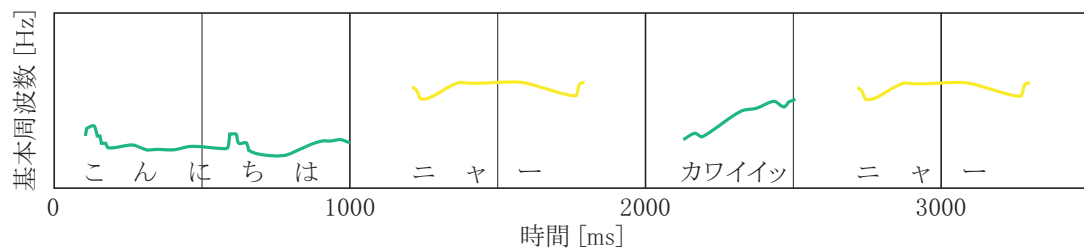
調整あり条件では、構築した基本周波数同調システムを組み込み、基本周波数調整ステップを機能させたちょぼにゃんとふれあう。ちょぼにゃんには、対話に必要なマイク、スピーカの他、ユーザの接触を検知するセンサや感情を表現するアクチュエータ等が搭載されているが、応答音声以外の影響を排除するため、機能させないものとした。また、応答文生成ステップにて生成される応答文は、内容による影響を極力抑えるため、「ニャ」「ニャー」「ニャオ」「ニャーン」「ミャーオ」「ンニャーオ」という6つの猫の鳴き声からランダムに選択するものとした。

調整なし条件では、調整あり条件と同じちょぼにゃんとふれあうが、基本周波数調整ステップは機能させない。統制条件として、基本周波数をランダムに調整することも検討したが、予備実験を実施したところ、基本周波数をランダムに調整した場合、印象が非常に悪くなることが判明したため、避けた。

各条件における基本周波数の具体例を図4.5に示す。システム起動後、初めて検出した実験参加者の「こんにちは」という発話音声に対する応答文が「ニャー」であったとする。実験毎にシステムを起動し直すため、初めての応答音声発声時には基準間基本周波数が未設定である。したがって、両条件ともOpen JTalkにより合成された音声「ニャー」をそのまま発声するため、この時点では条件間に差はない。ただし、この時に調整あり条件では、発話音声の「こんにちは」と応答音声の「ニャー」の基本周波数を推定し、双方の最大音量時の基本周波数の差を基準間基本周波数差として設定する。その後の実験参加者の発話音声に対しては、調整あり条件では設定した基準間基本周波数差にしたがい、基本周波数を調整して発声するが、調整なし条件では基本周波数を調整せず、音声合成時の基本周波数のまま発声する。そのため、同じ応答文「ニャー」であっても、調整あり条件では実験参加者の発話音声の基本周波数が「こんにちは」より「カワイイッ」が高いため、応答音声も「こんにちは」より「カワイイッ」に対する「ニャー」の方が高くなる（図4.5(a)参照）が、調整なし条件では変化しない（図4.5(b)参照）。



(a) 調整あり条件



(b) 調整なし条件

図 4.5: 各条件における基本周波数の例

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

次に、実験条件に応じて、基本周波数調整ステップを機能させたちよぼにゃん、もしくは基本周波数調整ステップを機能させないちよぼにゃんに自己紹介をする時間を 2 分間設けた。自由会話ではなく、自己紹介というテーマを与えた理由としては、実験参加者の活発な発話を促すことにより、ちよぼにゃんの応答を聞く機会を可能な限り多くするためである。会話終了後、その時の心理的ストレス状態を把握するため、一時的気分尺度 18 項目への回答を求めた。

最後に、実験条件に応じて、基本周波数調整ステップを機能させたちよぼにゃん、もしくは

は基本周波数調整ステップを機能させないちょぼにゃんに対する印象をたずねた。印象評価は、特性形容詞尺度 20 項目に対して 7 件法で回答を求める形で実施した。

実験の流れを図 4.6 に示す。以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。順序効果による影響を排除するため、調整あり条件から提示する実験参加者と、調整なし条件から提示する実験参加者との均等に分け、カウンターバランスを取った。また、心理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し、2 回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

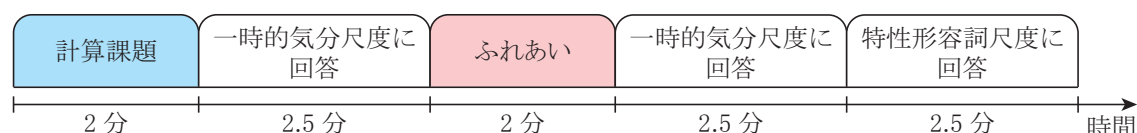


図 4.6: 実験チャート

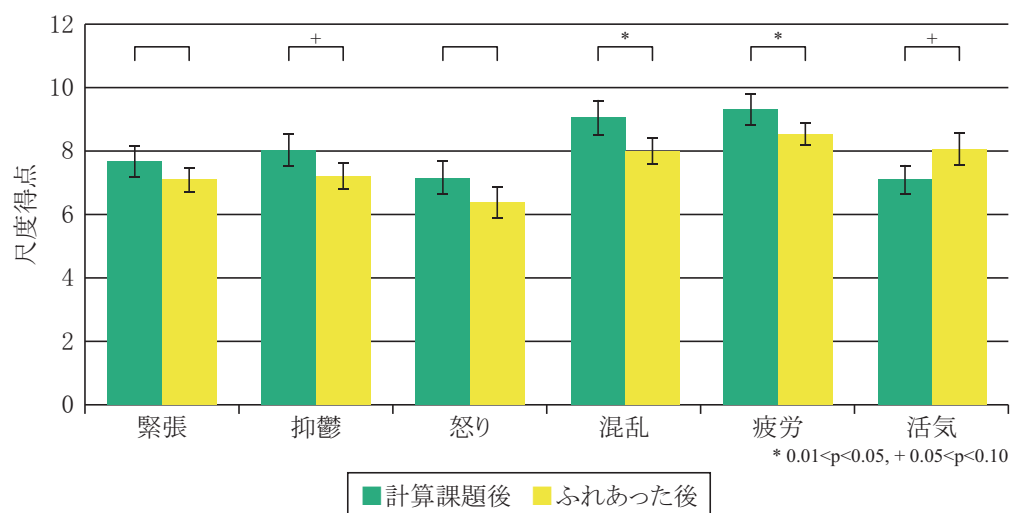
実験結果

実験参加者は、ストレス問題が深刻化している働く世代に対するストレス緩和効果を検証するため、20～50 代（平均年齢 32.77 歳、標準偏差 8.73）の社会人男女 26 名（内、女性 11 名）とした。

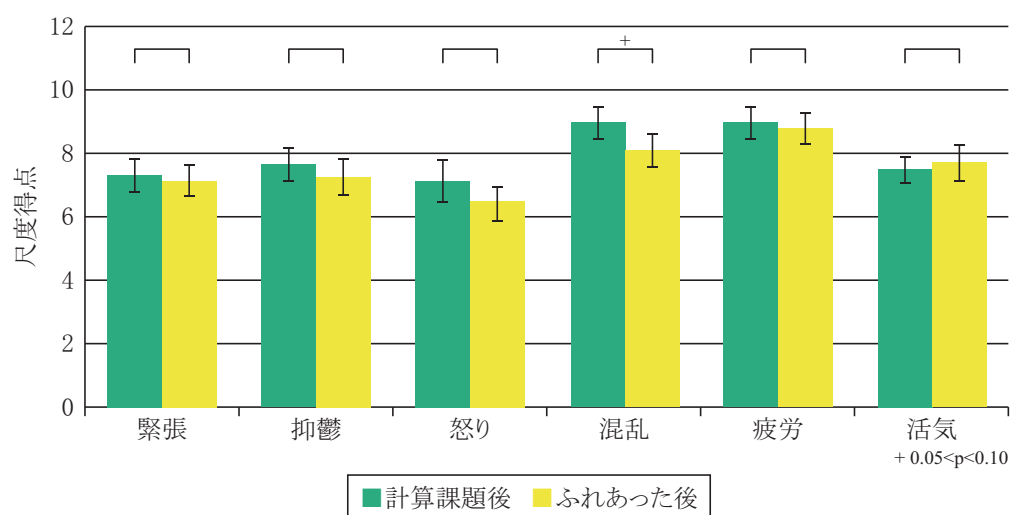
まず、調整あり条件と調整なし条件、それぞれの心理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各条件における計算課題後とふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 4.7 に示す。心理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、調整あり条件は有意水準 5% で疲労 ($p = 0.025$) と混乱 ($p = 0.033$) において有意な変化を、活気 ($p = 0.065$) と抑鬱 ($p = 0.072$) において変化傾向を確認した。調整あり条件は混乱 ($p = 0.080$) において変化傾向を確認した。

条件間の心理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の一時的気分尺度の尺度得点を基準として、ふれあった後の一時的気分尺度の尺度得点の相対値を算出した。ただし、緊張、抑鬱、怒り、混乱、疲労については符号を反転する。すなわち、6 因子全てにおいて、心理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 4.8 に示す。条件間の心理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、調整あり条件の方が有意水準 1% で活気 ($p = 0.007$) が有意に向上し、有意水準 5% で疲労 ($p = 0.035$) が有意に緩和したことを確認した。したがって、基本周波数を発話音声に基づき調整した方が、会話により得られる心理的ストレス緩和効果、特に活気の向上と疲労の緩和効果が高いと言える。

次に、調整あり条件のちょぼにゃんと調整なし条件のちょぼにゃんの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目の平均値を算出し、SD 尺度法にのっとり、図 4.9 に示



(a) 調整あり条件



(b) 調整なし条件

図 4.7: 各条件における一時的気分尺度の尺度得点の変化

すセマンティックプロフィールを作成した。条件間の印象の差を統計的に比較するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、調整あり条件のちょぼにゃんの方が有意水準 5% でうきうきした ($p = 0.047$)、気長な ($p = 0.050$) が有意に高く評価され、調整なし条件のちょぼにゃんの方が有意水準 5% で恥知らずの ($p = 0.043$) が有意に高く評価されたことを確認した。

より詳細に調整あり条件のちょぼにゃんと調整なし条件のちょぼにゃんの印象の差を比較するため、特性形容詞尺度 20 項目に対して因子分析を実施した。3 因子解を仮定して分析

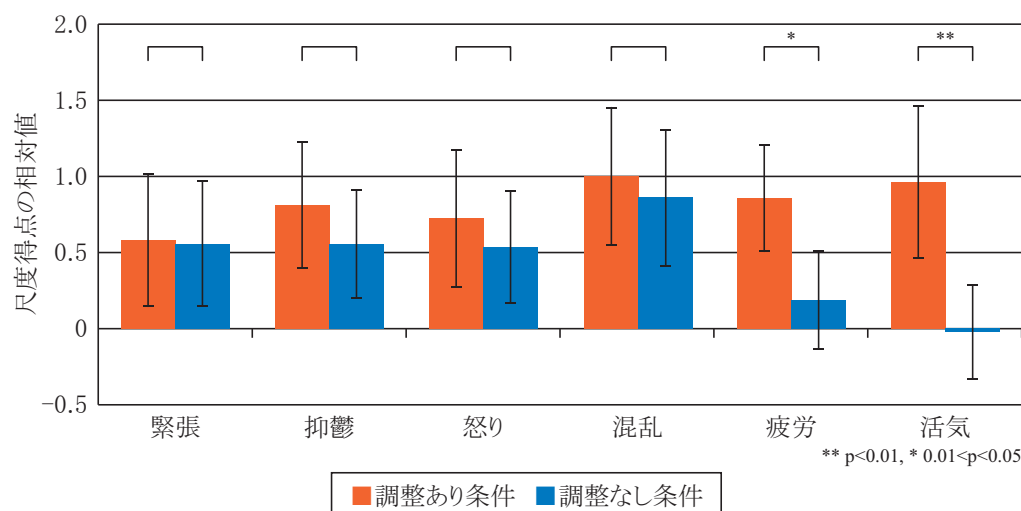


図 4.8: 条件間における一時的気分尺度の尺度得点の相対値の比較

したところ、3 因子までで全分散の 59.6% が説明されたため、3 因子解は妥当であると判断した。Promax 回転後の因子負荷量を表 4.1 に示す。負荷量が 0.5 以上のものを太字で示した。第 1 因子は「心の狭い-心の広い」や「感じの悪い-感じの良い」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから温厚性の次元であると解釈した。同様に、第 2 因子は「自信のない-自信のある」や「無気力な-意欲的な」、「消極的な-積極的な」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから力本性の次元、第 3 因子は「軽率な-慎重な」や「軽薄な-重厚な」等の形容詞対が高い負荷量を示したことから堅実性の次元であると解釈した。

図 4.10 に条件間の因子得点平均値の比較結果を示す。条件間の印象の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、調整あり条件のちよぼにゃんの方が有意水準 5% で堅実性 ($p = 0.044$) の評価が有意に高いことを確認した。したがって、基本周波数を発話音声に基づき調整した方が、会話により堅実な印象を与えることができると言える。

4.1.4 評価実験 2：基本周波数調整の生理的効果

目的と実験条件

本実験では、実験参加者の生体指標に基づき、応答音声の基本周波数調整の有無が生理的ストレス緩和効果に与える影響を検証する。実験条件は評価実験 1 と同様である。

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

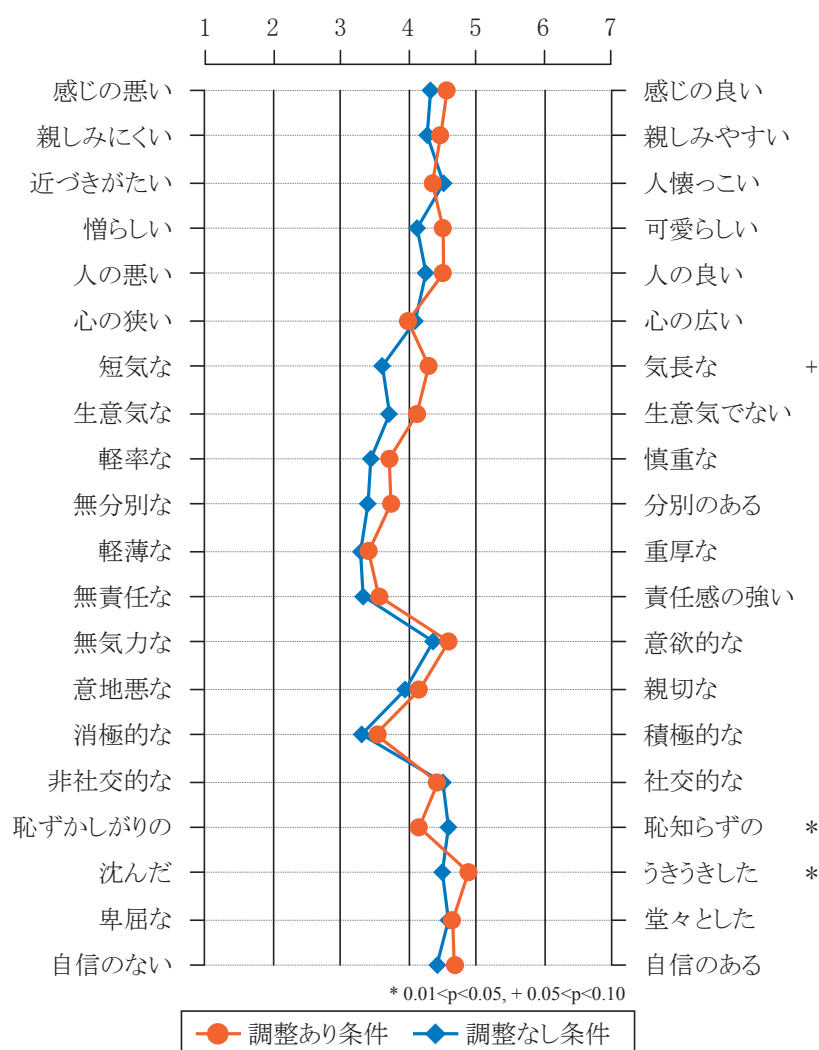


図 4.9: 条件間における特性形容詞尺度の評価値の比較

はじめに、実験参加者にストレスを負荷するため、2 分間の計算課題を与えた。計算課題は、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する作業とした。できるだけ速く、正確にと条件を課すことにより、働く世代のストレスの要因とされる仕事量の多さと質の高さを疑似的に再現した。計算課題終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳波の状態を 1 分間計測した。脳波の計測には、MindWave Mobile を使用した。

次に、実験条件に応じて、基本周波数調整ステップを機能させたちよぼにゃん、もしくは基本周波数調整ステップを機能させないちよぼにゃんに自己紹介をする時間を 2 分間設けた。自由会話ではなく、自己紹介というテーマを与えた理由としては、実験参加者の活発な発話を促すことにより、ちよぼにゃんの応答を聞く機会を可能な限り多くするためである。会話終了後、その時の生理的ストレス状態を把握するため、実験参加者の安静閉眼時の脳の状態を 1 分間計測した。

表 4.1: 因子負荷量

特性形容詞尺度	因子		
	I	II	III
心の狭いー心の広い	0.93	-0.14	-0.16
感じの悪いー感じの良い	0.90	0.01	0.08
生意気なー生意気でない	0.79	-0.27	0.09
短気なー気長な	0.76	-0.36	-0.14
憎らしいー可愛らしい	0.76	0.16	0.03
意地悪なー親切な	0.74	0.04	-0.01
人の悪いー人の良い	0.71	0.23	0.12
非社交的なー社交的な	0.67	0.27	-0.13
近づきたいー人懐っこい	0.66	0.24	-0.11
親しみにくいー親しみやすい	0.58	0.33	0.20
自信のないー自信のある	0.06	0.76	-0.11
無気力なー意欲的な	-0.04	0.75	0.18
消極的なー積極的な	-0.07	0.75	0.01
卑屈なー堂々とした	-0.03	0.74	-0.01
沈んだーうきうきした	0.40	0.54	-0.15
恥ずかしがりのー恥知らずの	-0.44	0.52	-0.26
軽率なー慎重な	-0.17	-0.21	0.85
軽薄なー重厚な	0.04	0.07	0.76
無責任なー責任感の強い	0.09	0.27	0.66
無分別なー分別のある	0.27	-0.11	0.43

実験の流れを図 4.11 に示す。以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。順序効果による影響を排除するため、調整あり条件から提示する実験参加者と、調整なし条件から提示する実験参加者との均等に分け、カウンターバランスを取った。また、生理的ストレス状態を評価するという実験の性質を考慮し、2 回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

実験結果

実験参加者は、心理的評価と生理的評価の関係を検証することも念頭に入れ、評価実験 1 に参加した実験参加者と同一である。

まず、調整あり条件と調整なし条件、それぞれの生理的ストレス緩和効果の程度を確認するため、各条件における計算課題後とふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の平均値を算出した。各条件の計算課題後とふれあった後の比較結果を図 4.12 に示す。生理的ストレス緩和効果の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、調整あり条件は有意水準 5% で α 波

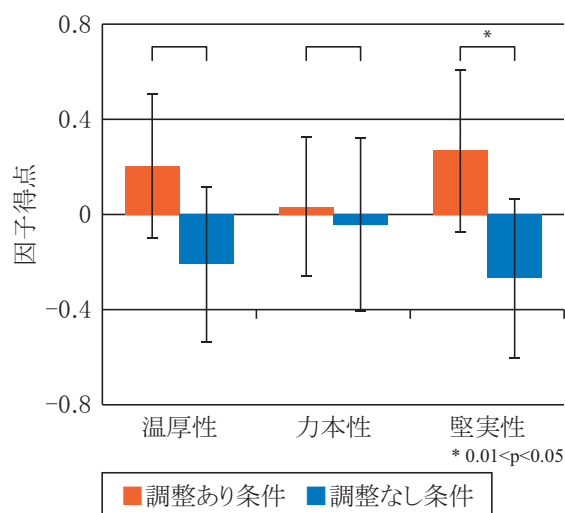


図 4.10: 条件間における因子得点の比較

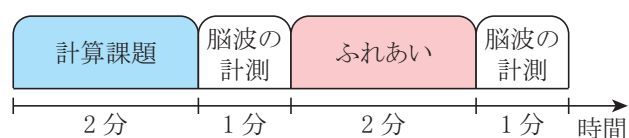
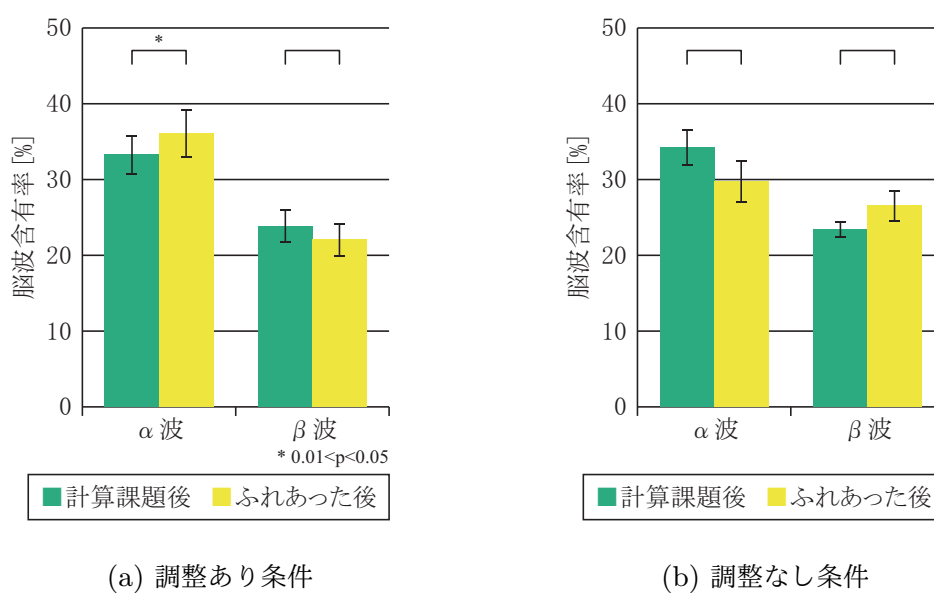


図 4.11: 実験チャート

の含有率 ($p = 0.025$) において有意な変化を確認した。一方、調整なし条件はいずれも有意な変化を確認できなかった。



(a) 調整あり条件

(b) 調整なし条件

図 4.12: 各条件における脳波含有率の変化

条件間の生理的ストレス緩和効果の差を比較するため、各条件における計算課題後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率を基準として、ふれあった後の Fp1 領域の α 波と β 波の含有率の相対値を算出した。ただし、 β 波については符号を反転する。すなわち、 α 波、 β 波ともに生理的ストレス緩和効果が高ければ変化量が正になるよう算出する。条件間の平均相対値の比較結果を図 4.13 に示す。条件間の生理的ストレス緩和効果の差を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、調整あり条件の方が有意水準 5% で α 波の含有率 ($p = 0.037$) が有意に増加し、 β 波の含有率 ($p = 0.092$) が減少傾向にあることを確認した。したがって、基本周波数を発話音声に基づき調整した方が、会話により得られる生理的ストレス緩和効果、特に α 波の増進効果が高いと言える。

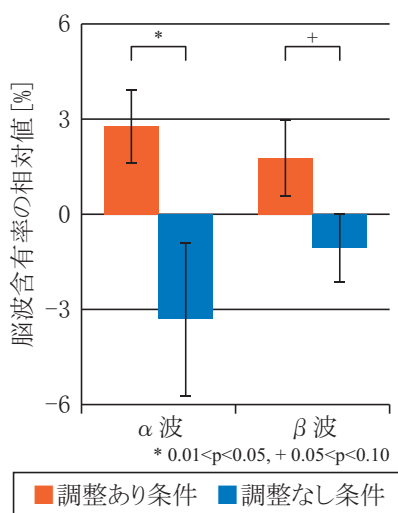


図 4.13: 条件間における脳波含有率の相対値の比較

4.1.5 考察

基本周波数の調整により得られる効果

評価実験 1 と 2 の結果、及び実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューに基づき、対話システムが発声する音声の基本周波数を発話音声に基づき調整することにより得られる効果を考察する。実験にて評価した全ストレス指標と印象評価の結果を表 4.2 に示す。統計的な有意差が確認されたものを太字で示す。

調整なし条件において発声される音声は、音声合成時の基本周波数のままの「ニャ」「ニャー」「ニャオ」「ニャーン」「ミャーオ」「ンニャーオ」しかない。応答音声に限りがあり、飽きが早い可能性はあるものの、実験参加者の発話に対して応答しないわけではないため、多少のストレス緩和効果はあると筆者は想定していた。しかし実際は、ストレス負荷を目的として課した計算課題後の状態と比較して、混乱が変化傾向にある以外、有意な変化を

表 4.2: 基本周波数の調整により得られる効果

ストレス緩和効果	一時的気分尺度	緊張	—
		抑鬱	調整あり条件
		怒り	調整あり条件
		混乱	調整あり条件
		疲労	調整あり条件
		活気	調整あり条件
	脳波含有率	α波	調整あり条件
		β波	調整あり条件
印象評価		温厚性	調整あり条件
		力本性	調整あり条件
		堅実性	調整あり条件

確認できなかった。応答音声聞いた回数は評価実験 1, 2 ともに平均 21 回と条件間に差はなく、調整なし条件の応答音声は単調だと感じた実験参加者は確認できなかったことから、このような結果となった要因は、基本周波数調整の有無にあると考えられる。

本実験は、会話のテーマを自己紹介としたため、自分の発話に傾聴していると感じたかが評価ポイントとなったと考えられる。印象評価に使用した特性形容詞対 20 項目の内、「無責任な-責任感の強い」が最もこの評価ポイントに近い形容詞対である。因子分析の結果、「無責任な-責任感の強い」をはじめとした 3 つの形容詞対は堅実性を表す次元と解釈されたが、堅実性は調整なし条件の方が有意に低く評価されたことを確認したことから、基本周波数を発話音声に基づき調整していない場合、発話に傾聴していないと感じさせる恐れがあると言える。ここで、本実験における応答音声は特定の意味を持たない猫の鳴き声であるため、相槌に相当すると解釈できるが、そもそも相槌自体に相手の話しを傾聴している、理解していることを示す機能があり [67, 68]、発話に傾聴していないと感じさせる恐れはないはずである。にもかかわらず、発話に傾聴していないと感じさせてしまったということは、ただ相槌を打つだけでは、相槌の機能は働かないということに他ならない。

以上の考察より、対話システムは、ユーザの発話に対してただ応答するのではなく、何らかの手段により、傾聴していることを相手に伝えなければならないと考えられる。本実験により、傾聴を伝える一手段として、発話音声に基づく基本周波数の調整は有効である可能性が示唆されたが、よりシンプルな仕組みでありながら傾聴を伝えることができる対話システムの確立に向け、今後、基本周波数以外の韻律情報にも焦点をあて、最も効果的な手段を模索し、最終的には、セラピーロボットの音声の一設計指針につなげたい。

ストレス緩和効果を引き出す基本周波数

本節にて構築した基本周波数同調システムは、システム起動後、初めて発声する応答音声の基本周波数は調整せず、その時の発話音声側の調整基準と応答音声側の調整基準との差を、基準間基本周波数差とし、その後は、発話音声と応答音声、双方の最大音量時の基本周波数の差が基準間基本周波数差となるよう調整しており、この調整をした方が、会話により得られるストレス緩和効果が高いことを確認した。しかし、この調整により基本周波数が高くなってしまった応答音声を不快に感じたと感想を述べた実験参加者、特に男性の実験参加者が少なからずいたことから、今後、基本周波数調整システムを改良すべく、基準間基本周波数差の適切な設定方法を検討する必要がある。検討にあたっては、前述の通り、男性の実験参加者と女性の実験参加者では感じ方に差がある点、感じの良い人の声は「ソ」の音程であることが知られている点 [69] に着目したい。

4.2 状態に適したストレス緩和効果を引き出す

セラピーロボットシステムの検討

スマートフォンやウェアラブルデバイスをはじめとした IT 機器の普及により、特殊な医療機器に頼らずとも自身の健康状態をチェックできるようになった。ロボット分野においても、こうした IT 機器と連携することにより、生活支援、栄養管理、運動支援等といったサービスの提供が既に始まっており、今後、このような動きは加速していくと考えられる。しかしながら、IT 機器と連携するセラピーロボットの検討はあまり進んでいないのが現状である。前述の通り、セルフケアセラピーの多くは、自身の状態に応じて適切な施術を選択するのが一般的であり、セラピーロボットも IT 機器と連携し、ユーザの状態を把握し、その状態に応じて振る舞いを選択するといった機能を有することが望ましい。本節では、ユーザの状態に応じて振る舞いを変化させることにより、状態に適したストレス緩和効果を引き出すセラピーロボットシステムの実現に向け、ユーザを煩わせることなくストレス状態を把握できる生体指標を選定し、選定した生体指標を計測するウェアラブルデバイスを開発する。

4.2.1 ストレス状態の推定に適した生体指標

ストレス状態を把握する生体指標として、心拍間隔のゆらぎを周波数解析して得られる低周波成分 LF (0.05Hz~0.15Hz) と高周波成分 HF (0.15Hz~0.40Hz) の比 LF/HF が広く使用されている。HF 優位、すなわち LF/HF の減少は副交感神経優位を示しており、副交感神経は休息時、リラックス時に活発に働く神経であることから、ストレス状態が低いと推定し、LF 優位、すなわち LF/HF の増加は交感神経優位を示しており、交感神経は活動時、ストレス時に活発に働く神経であることから、ストレス状態が高いと推定するのである。

[70]. しかしながら, LF と HF の算出には時系列信号の周波数領域への変換や高速フーリエ変換, 場合によっては周波数分解能を上げるためにリサンプリングの必要がある等, 計算処理が煩雑であり, 計算処理能力が低いウェアラブルデバイス向きではない.

この課題を解決すべく, 時系列信号から交感神経活動や副交感神経活動と相関のある指標を算出する研究が進められており, 実績をあげているのが心拍間隔のローレンツプロット [71] である. 心拍間隔のローレンツプロットとは, 図 4.14(a) に示す心拍間隔の連続データが I_1, I_2, \dots, I_n と表される時, 横軸を I_k , 縦軸を I_{k+1} としてグラフ上にプロットした散布図 (図 4.14(b) 参照) のことであり, 計算処理能力が低いウェアラブルデバイスであってもリアルタイム処理ができるという利点がある.

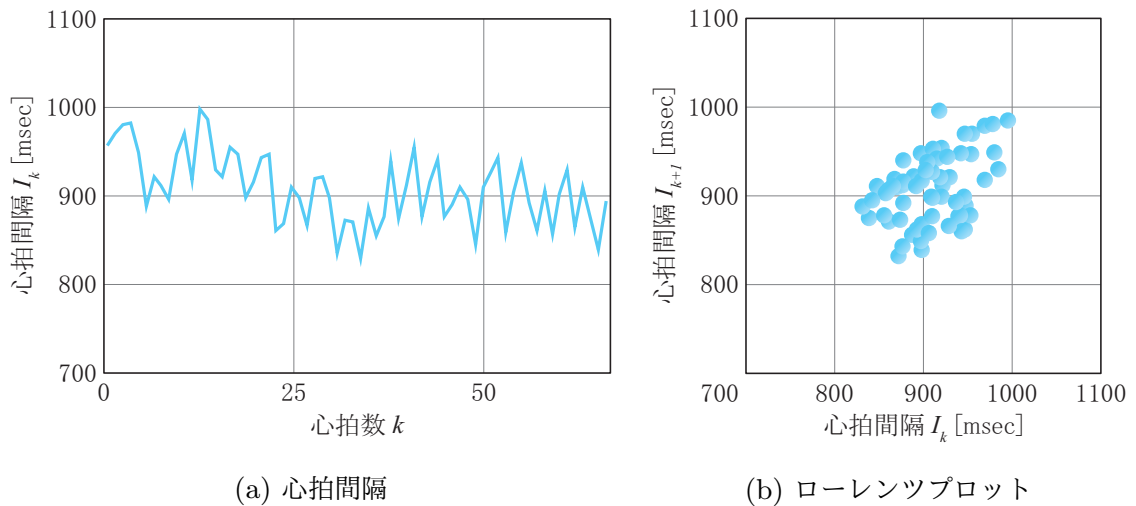


図 4.14: 心拍間隔のローレンツプロット

そこで本節では, 十一ら [72] が開発した, 心拍間隔のローレンツプロットから算出される交感神経活動指標 CSI (Cardiac Sympathetic Index) と副交感神経活動指標 CVI (Cardiac Vagal Index) に着目した. CSI と CVI は, 図 4.15 に示す心拍間隔のローレンツプロットから心拍間隔の変動に関連した 2 変数, $I_k = I_{k+1}$ に垂直な長軸の長さ T と $I_k = I_{k+1}$ と平行な短軸の長さ L により, 以下のように定義される.

$$\text{CSI} = L/T \quad (4.1)$$

$$\text{CVI} = \log_{10}(L \times T) \quad (4.2)$$

交感神経活動を抑える β 受容体遮断薬 (プロプラノール 10mg) を投与すると CSI が減少し, 副交感神経活動を抑える抗コリン薬 (アトロピン 0.5mg) を投与すると CVI が減少することが確認されていることから, CSI が減少した時はストレス状態が低いと推定でき, CVI が減少した時はストレス状態が高いと推定できる.

ここで, 心拍と脈拍は原則として同数値となり, 心拍の逆数である心拍間隔は脈拍の逆数から算出することができるため, 脈波から CSI と CVI を算出できると考えられる. 脈波の

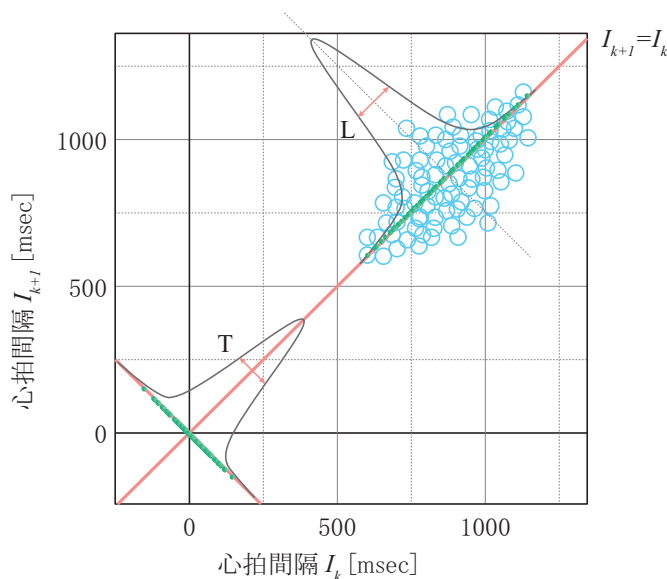


図 4.15: CSI と CVI の定義

計測は、心拍の計測と比較して、ユーザを煩わせることなく容易にできることから、本節では、脈波から算出した CSI と CVI によりストレス状態を推定することができるか検証した上で、脈波を計測するウェアラブルデバイスを開発する。

4.2.2 予備実験：脈波によるストレス状態の推定

目的と実験条件

本実験では、脈波から算出した CSI と CVI によりストレス状態を推定することができるか検証する。実験条件は、交感神経優位の時と副交感神経優位の時の CSI と CVI を確認するため、ストレス条件とリラックス条件の実験とした。

実験手順

本実験は、株式会社デンソーの人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を受け、予め、実験参加者に対し書面と口頭による実験内容の説明を十分に行った上で、書面にてインフォームドコンセントを得て実施した。

はじめに、安静時の実験参加者のストレス状態を推定するため、脈波を2分間計測し、CSI と CVI を算出した。脈波の計測には、図 4.16 に示すパルス・ラボを使用した。パルス・ラボはパルスオキシメータ開発用キットであり、付属する USB 接続脈拍センサ IWS920 により脈波を約 500Hz 周期で取得できる [73]。USB 接続脈拍センサ IWS920 には、波長が 660nm の赤色 LED、波長が 900nm の近赤外 LED、2つの光を受光するフォトランジスタが搭載されており、一般的なパルスオキシメータ同様、酸素と結合した酸素化ヘモグロビン O_2Hb と酸素を放出した脱酸素化ヘモグロビン RHb の吸光度の差異を、フォトランジ

スタに到達する赤色光信号と赤外光信号の信号レベルから算出し、脈波を計測する。計測した脈波から、前項に記載の算出方法にしたがい、CSI と CVI を算出した。

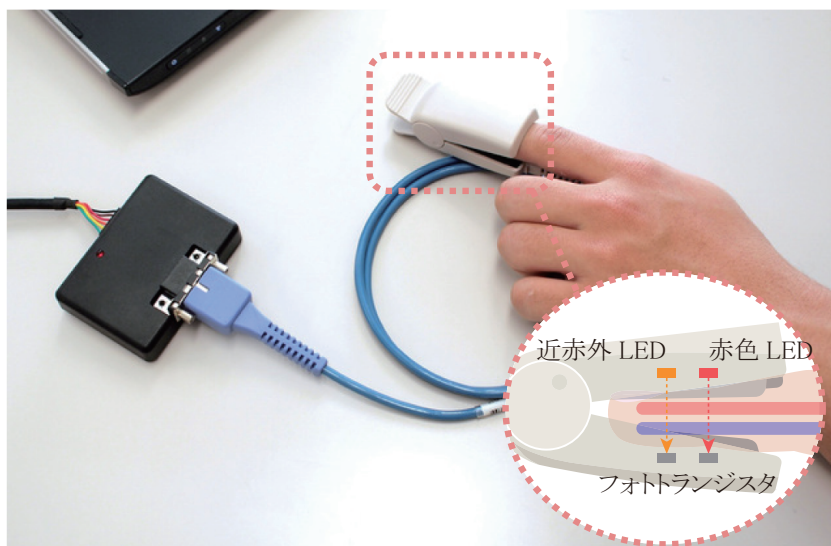


図 4.16: パルス・ラボ

次に、実験条件に応じて、実験参加者に刺激を提示する。ストレス条件では、実験参加者にストレスを負荷するため、隣り合った 1 桁の正整数乱数をできるだけ速く、正確に加算する計算課題を課した。対して、リラックス条件では、実験参加者をリラックスさせるため、Mindlab International 社の実験により現存する音楽の中で最もリラックス効果が高い音楽と評価された「Weightless」[74] を再生した。刺激提示時間は、「Weightless」の再生時間が 8 分であることから、8 分に統一した。刺激提示後、その時のストレス状態を推定するため、脈波を 2 分間計測し、CSI と CVI を算出した。

以上の流れを、条件を変えて 2 回実施した。生体指標を算出するという実験の性質を考慮し、2 回の実験は同じ時間、異なる日に実施した。

実験結果

実験参加者は、20～50 代（平均年齢 32.17 歳、標準偏差 8.03）の社会人男女 12 名（内、女性 3 名）とした。

ストレス条件とリラックス条件、それぞれの脈波から算出した CSI と CVI の変化を確認するため、各条件における刺激提示前と刺激提示後の脈波から算出した CSI と CVI の平均値を算出した。各条件の刺激提示前と刺激提示後の比較結果を図 4.17 に示す。変化の程度を統計的に確認するため、Shapiro-Wilk 検定によりデータの正規性を確認した後、対応のある t 検定を実施したところ、ストレス条件は有意水準 1% で CSI が有意に増加 ($p = 0.002$) し、CVI が有意に減少 ($p = 0.006$) したことを確認した。また、リラックス条件は有意水準 1% で CSI が有意に減少 ($p = 0.009$) し、有意水準 5% で CVI が有意に増加 ($p = 0.028$)

したことを確認した。

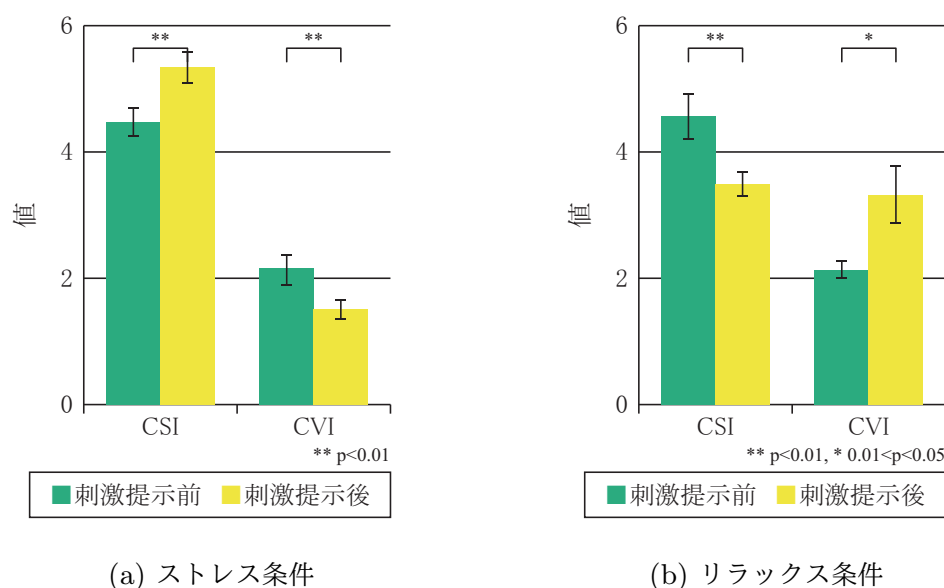


図 4.17: 各条件における脈波から算出した CSI と CVI の変化

ストレスを負荷したストレス条件において CVI が減少し、リラックスする刺激を与えたリラックス条件において CSI が減少しており、CSI が減少した時はストレス状態が低いと推定でき、CVI が減少した時はストレス状態が高いと推定できる心拍から算出した CSI と CVI と同じ変化が得られた。したがって、脈波から算出した CSI と CVI に基づきストレス状態を推定できると言える。

4.2.3 ストレス状態に応じた振る舞いをするセラピーロボットシステムの考案

予備実験の結果を受け、ユーザの脈波から算出した CSI と CVI に基づきストレス状態を推定し、推定結果をセラピーロボット「ちょぼにゃん」に送信するウェアラブルデバイスを開発し、ストレス状態に応じたちょぼにゃんの振る舞いを検討する。

ストレス状態推定デバイスの開発

脈波は、大きく分けて、光電センサや圧電センサをユーザの皮膚に接触させて計測する接触方式、ユーザに照射した電波や超音波の反射量から計測する非接触方式の 2 つの計測方式がある。非接触方式は、ユーザを煩わせることなく計測できる点において接触方式に優るが、いつでもどこでも計測する機器としては劣る。そこで本節では、ユーザが気軽に装着できることを考慮して腕時計型とし、光電脈波センサ方式を採用することとした。

開発した腕時計型ストレス状態推定デバイス「ちょぼっち」の外観を図 4.18(a) に、内部

構成を図 4.18(b) に示す．脈波は，光電脈波センサ BH1790（ローム株式会社製）により計測する．BH1790 は，脈波検出に最適な緑波長に対する感度が高いフォトダイオードを使用することにより緑色光を強調し，かつ人体を通過しやすい外乱光の赤外・赤色光をカットするフィルタを搭載しているため，スポーツバンドやスマートウォッチ等の開発に最適なセンサ IC である．BH1790 により計測された脈波はマイクロコンピュータ内において計算処理され，脈拍，CSI 及び CVI が算出され，CSI と CVI に基づきストレス状態を推定する．算出された脈拍，CSI，CVI，及びストレス状態は，Bluetooth を経由して，ちょぼにゃんに送信される．また，ちょぼっち上に描かれた猫の頬部分にはフルカラー LED が 2 個搭載されており，ストレス状態が低いと推定された時は赤色，ストレス状態が高くなるにしたがい青色の明滅により脈拍を表現するため，ちょぼっち単体でも自身のストレス状態が把握できる．

ストレス状態に応じたちょぼにゃんの振る舞い

前節にて，韻律情報の同調に着目した対話システムを開発したが，本節では生体信号のリズム同調に着目し，ストレス状態に応じたちょぼにゃんの振る舞いを検討する．情動変動と密接に関連した心拍間隔変動や呼吸等といった生体信号への同調も，インタラクションにおいて重要な役割を果たしていることが確認されており [75]，その性質を用いたシステムが多数提案されている．例えば，西ら [76] は，ユーザの脈拍リズムに同期して明滅するホタルを模したモジュールにより，ユーザからポジティブな印象を引き出すことができることを確認している．そこで，ストレス状態が低いと推定された時は，ちょぼっちから転送される脈拍に基づき，ちょぼにゃんの尻尾と頬の明滅を制御するものとした．制御例を図 4.19 に示す．

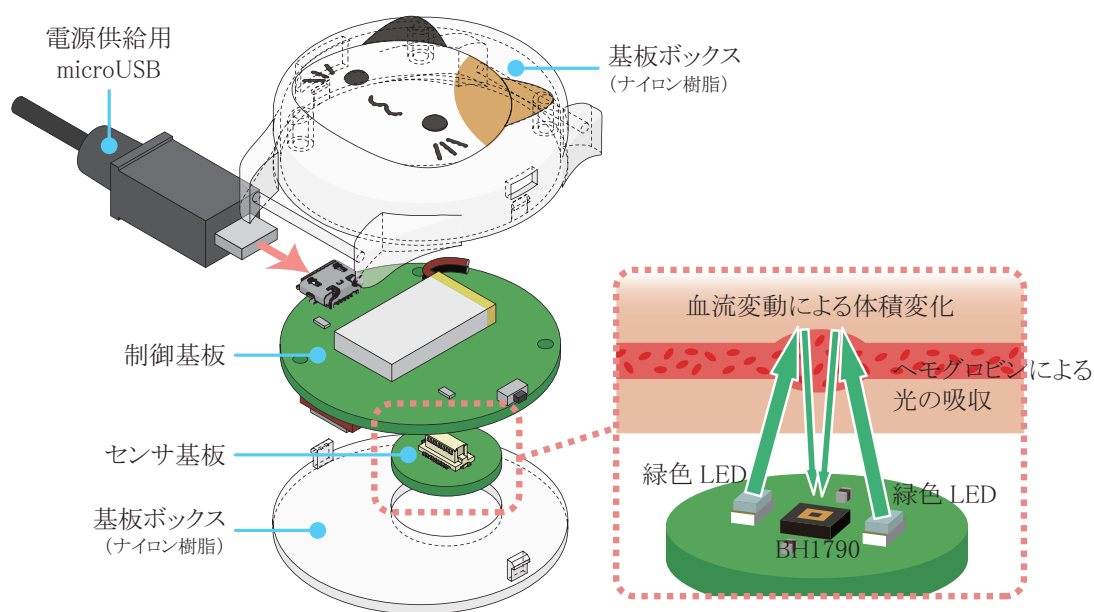
同調の性質を利用し，外部刺激により生体信号を誘導する試みもなされている．例えば，浦谷ら [77] は，エアバッグの動作によりユーザの呼吸を誘導し，ストレス緩和効果を引き出す呼吸誘導ぬいぐるみを提案している．そこで，ストレス状態が高いと推定された時は，ストレス緩和効果を引き出すのに適したリズムに基づき，ちょぼにゃんの尻尾と頬の明滅を制御するものとした．ここでは，ストレス緩和効果を引き出すのに適したリズムとして， $1/f$ ゆらぎを用いた [78]． $1/f$ ゆらぎとは，不規則さと規則正しさが調和した心地良いゆらぎのことを指し，自然界に普遍的に見られる現象であることが確認されている．自然界に存在する $1/f$ ゆらぎとして，小川のせせらぎ，小鳥の囀り，爽やかなそよ風等が挙げられる．また，ミュージックセラピーに使用される音楽にも $1/f$ ゆらぎが存在する他，心拍や脳波にも存在することが確認されている． $1/f$ ゆらぎは，セルオートマトン，間欠カオス法， $1/2$ 階積分法等により生成できるが，本節では計算量が少ない間欠カオス法により生成した．間欠カオス法による $1/f$ ゆらぎは，下式により算出される．

$$x(t+1) = \begin{cases} x(t) + 2 \times x(t)^2 & (x(t) < 0.5) \\ x(t) - 2 \times (1 - x(t))^2 & (x(t) \geq 0.5) \end{cases} \quad (4.3)$$

制御例を図 4.20 に示す．



(a) ちょぼっちの外観



(b) 内部構成

図 4.18: 腕時計型ストレス状態推定デバイス「ちょぼっち」

4.2.4 今後の課題

本節では、ストレス状態に応じたちょぼにゃんの振る舞いとして、生体信号のリズム同調に着目し、ユーザからの働きかけがない時の定常動作を検討したが、今後は、この定常動作のストレス緩和効果を検証するとともに、ユーザの接触や声掛けに対する反応動作についても検討し、ストレス緩和効果を検証する必要がある。また、1章にて紹介したパロは、臨床

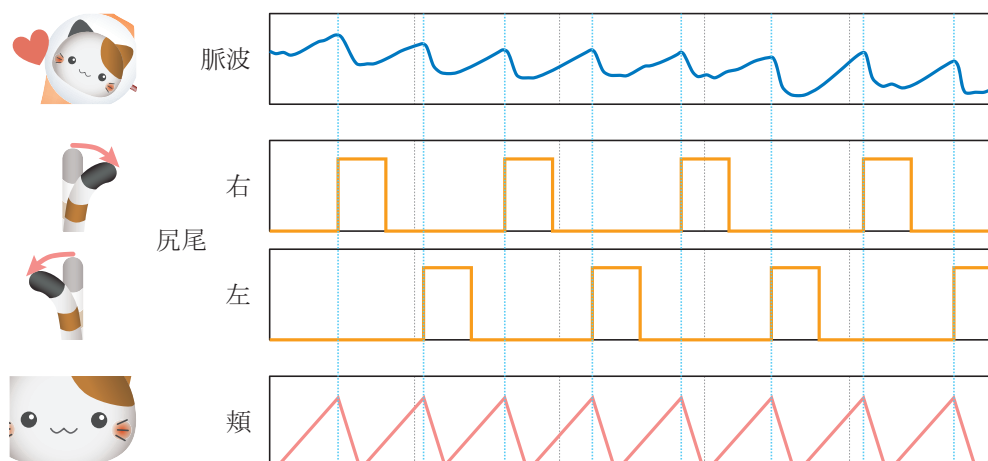


図 4.19: ストレス状態が低い時の振る舞い

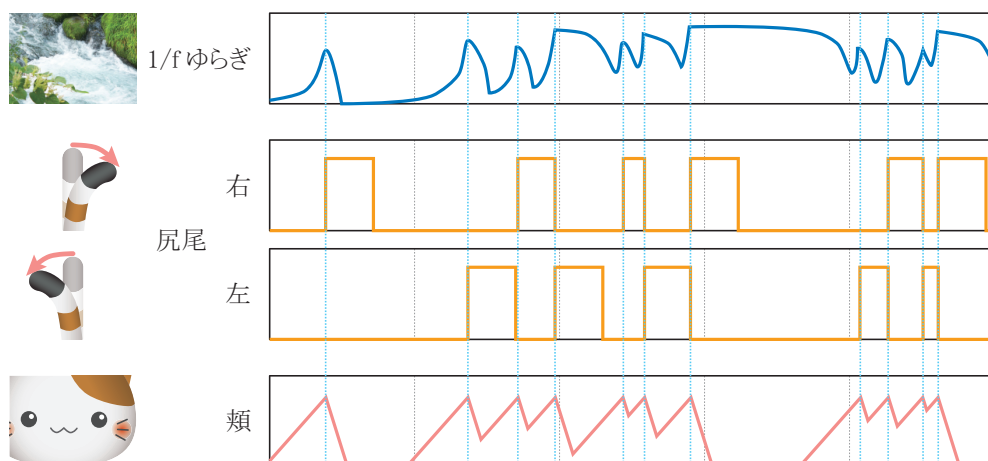


図 4.20: ストレス状態が高い時の振る舞い

現場の声をつぶさに反映し、ユーザの病態に応じた振る舞いをするよう設計する試みを既に始めている。例えば、ネガティブな反応に対して混乱する傾向がある認知症者に適したセラピーロボットの需要を受け、叩かれても嫌がらない寛容な性格のパロが登場している [79]。セルフケアセラピーにおいて、適切な施術を選択する材料は自身の状態であると述べたが、選択する材料は他にも数多く存在すると考えられることから、セラピーロボットの設計指針と合わせて検討を進める必要がある。

第 5 章

結論

5.1 本研究のまとめ

日々のストレスに対処する一手段として注目を集めているロボットセラピーだが，その施術に必要となるセラピーロボットの開発現場において課題となっているストレス緩和効果を引き出す要素を設計指針としてまとめるべく，本研究では，開発者と利用現場の意見に齟齬が生じている触感に焦点をあて，触感とストレス緩和効果の関係を明らかにし，セラピーロボットの触感はどのようなものであるべきか，その一設計指針をまとめ，その設計指針に基づきセラピーロボット「ちょぼにゃん」を開発した．

はじめに，触感そのものの有無がストレス緩和効果に与える影響を明らかにするため，触感の有無は身体性の有無とも捉えることができると発想を転換し，同形状のロボットと CG エージェントとのふれあいにより得られるストレス緩和効果を比較した．その結果，身体性を有するロボットの方が，有意水準 5% で緊張の緩和，活気の向上，及び α 波の増進効果が高いことを確認した．触感そのものがストレス緩和効果を引き出す上で重要であることを確認したため，触感を構成する要素の内，セラピーロボットの外装の素材に関連する硬さ軸（硬い-柔らかい）がストレス緩和効果に与える影響を明らかにすべく，同形状の柔らかいロボットと硬いロボットとのふれあいにより得られるストレス緩和効果を比較した．その結果，柔らかいロボットの方が，有意水準 1% で緊張と抑鬱の緩和，活気の向上が，有意水準 5% で α 波の増進効果が高いことを確認し，実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューから，この効果は表層だけではなく内層も柔らかいことにより生じる，インタラクションの余地によるところが大きいことを見出した．また，触感を構成する要素の内，セラピーロボットの重量に関連する重さ軸（重い-軽い）は，他の触感と比較して感じ方の個人差が大きいと報告されていることを鑑み，知覚矯正仮説の同化-対比理論に基づき，実験参加者をロボットの重量が予想通りの重量と感じた同化作用群，予想より重い，もしくは軽いつと感じた対比作用群とに分け，同じロボットとのふれあいにより得られるストレス緩和効果を比較した．その結果，同化作用群の方が有意水準 5% で抑鬱，怒り，混乱の緩和効果が高い

ことを確認した。以上の結果を踏まえ、セラピーロボットの触感の一設計指針として、指針1に「芯まで柔らかい触感となるよう、表層の素材はもとより、内層の構造にも留意すること」、指針2に「外観から予想される重量を予め調査した上で、その重量前後となるよう作り込むこと」を挙げた。

次に、セラピーロボットの触感の設計指針に基づきセラピーロボットを開発するのだが、指針1を満たすためには芯まで柔らかいアクチュエータが必要となる。そこで、柔らかく、動作音が非常に小さい Ti-Ni 系形状記憶合金線材を駆動力とした柔軟アクチュエータを考案した。柔軟アクチュエータはシリコンチューブ内に中心からずれた位置に3本の Ti-Ni 系形状記憶合金線材を通したものであり、通電と空冷により Ti-Ni 系形状記憶合金線材が自己伸縮することを利用して駆動する。柔軟アクチュエータを尻尾に搭載し、事前調査により判明した外観から予想される平均重量 124.9g に対して 116g と指針2も満たすセラピーロボット「ちょぼにゃん」を開発し、そのストレス緩和効果をぬいぐるみと比較したところ、ちょぼにゃんの方が有意水準 1% で緊張と抑鬱の緩和、活気の向上効果が高いことを確認した。

開発したちょぼにゃんのストレス緩和効果向上に向けた取り組みとして、(1) セラピーロボットの触感以外の感覚刺激の設計指針をまとめるための第一段階の検討と、(2) ユーザの状態に適したストレス緩和効果を引き出すセラピーロボットシステムの検討を行った。(1)では、ちょぼにゃんは尻尾の動作と鳴き声により感性情報を授受することから聴覚刺激に着目し、対人コミュニケーション場面において確認されている基本周波数の同調を疑似的に引き起こす基本周波数同調システムを構築した。構築したシステムをちょぼにゃんの対話システムに組み込み、会話により得られるストレス緩和効果を検証したところ、システムを機能させた方が、有意水準 1% で活気の向上効果が、有意水準 5% で疲労の緩和、 α 波の増進効果が高いことを確認した。(2)では、ユーザのストレス状態の推定に適した生体指標として、交感神経活動指数 CSI と副交感神経活動指数 CVI に着目し、本来、心拍間隔から算出する CSI と CVI を脈拍間隔から算出してもストレス状態を推定できるか確認した上で、計測した脈波から CSI と CVI を算出する腕時計型ストレス状態推定デバイス「ちょぼっち」を開発した。また、生体信号のリズム同調に着目し、ちょぼっちにより推定されたユーザの状態に応じて、ちょぼにゃんはどのように振る舞えば良いかについても検討した。

5.2 今後の課題

今後の課題として、下記の5つが挙げられる。

1) 指針1に記載の「芯まで柔らかい触感」を明確に定義する

「芯まで柔らかい触感となるよう、表層の素材はもとより、内層の構造にも留意すること」を指針1として挙げたが、芯まで柔らかい触感とした根拠は、実験終了後に実施した実験参加者へのインタビューに基づく考察であり、より確実な根拠を掴むため

には、内層が柔らかいロボットと内層が硬いロボットとのふれあいにより得られるストレス緩和効果を比較する必要がある。また、芯まで柔らかい触感を明確に定義する検証も必要である。例えば、本研究では、ロボットである以上、必要不可欠である電子部品を、触れても硬さが分からなくなるようにアスカー C 硬度 0 程度のスポンジフォームで包み、ぬいぐるみに挿入したが、触れても硬さが分からないとはどの程度であるか、ストレス緩和効果が最も高くなる硬度はどの程度であるか、明らかにする必要がある。

2) 指針 2 に記載の「外観から予想される重量」を明確に定義する

「外観から予想される重量を予め調査した上で、その重量前後となるよう作り込むこと」を指針 2 として挙げたが、順応水準の範囲が狭く、対比作用が生じやすいユーザであっても、同化作用が生じる重量に作り込むためには、サイズが同程度の既製品の重量を参考にする、検証実験を通して適切な重量を設定する等の対策だけでは、十分ではない可能性がある。そのため、外観から予想される重量を密度という観点から紐解く検証が必要である。

3) セラピーロボットの触感以外の感覚刺激の設計指針をまとめる

本研究では、触感に関して開発者と利用現場の意見に齟齬が生じていることを鑑み、セラピーロボットの触感の一設計指針をまとめたが、ロボットセラピーは五感全てに複合的に刺激を与えるセルフケアセラピーであることから、触感以外の感覚刺激についても設計指針をまとめることが望ましい。聴覚刺激に関しては基本周波数調整システムを足掛かりとして、他の感覚刺激に関しても同様に、その感覚刺激において確認されているストレス緩和効果につながる可能性のある心理的知見を見出すところから、検討を進める必要がある。

4) ストレス状態に応じた適切な振る舞いを明らかにする

本研究では、生体信号のリズム同調に着目し、ストレス状態に応じた振る舞いとして、ストレス状態が低い時には心拍と同調した振る舞いを、ストレス状態が高い時にはストレス緩和効果のあるリズムと同調した振る舞いを検討したが、生体信号のリズム同調によりストレス緩和効果を引き出すことができるか、できるのであればどのようなリズムが有効か、検証する必要がある。

5) セラピーロボット「ちょぼにゃん」の長期的なストレス緩和効果を検証する

本研究では、計算課題を課した後の状態とちょぼにゃんと 2 分間ふれあった後の状態との比較によりストレス緩和効果を検証したが、インタラクションの真価は長期的なふれあいにあること、セラピーロボットをはじめとしたインタラクションシステムは反応の有限性による飽きという課題を抱えていることから、長期的なストレス緩和効果の検証が必要である。また、ロボットセラピーの効果の高さを発信するためには、長期的なストレス緩和効果の検証を通して、ロボットセラピーとぬいぐるみセラピーのストレス緩和効果の比較も必要である。

上記の課題を解決しつつ，ちょぼにゃんのストレス緩和効果を高め，一人でも多くのストレスを抱えたユーザを支援できるセラピーロボットを世に広められるよう努めたい．

謝辞

本研究の機会を与え、懇切なる御指導と御鞭撻を賜りました加藤昇平先生に深く感謝いたします。また、本論文に対し、貴重なご助言を頂きました伊藤孝行先生、小田亮先生に深く感謝いたします。

本研究は、一部、国立研究開発法人科学技術振興機構研究成果展開事業マッチングプランナープログラム（課題番号：MP27115663051）の支援により行われました。

参考文献

- [1] 厚生労働省, 「労働安全衛生に関する調査」, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/list46-50.html> (参照 2017/12/18).
- [2] 厚生労働省, 「平成 28 年労働安全衛生調査 (実態調査) 結果の概況」, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/h28-46-50b.html> (参照 2017/12/18).
- [3] R. S. Lazarus and S. Folkman, “Stress, Appraisal, and Coping”, Springer Publishing, 1984.
- [4] S. Cohen, R. C. Kessler, and L. U. Gordon, “Measuring Stress: A Guide for Health and Social Scientists”, Oxford University Press, 1995.
- [5] A. DeLongis, J. C. Coyne, G. A. Dakof, S. Folkman, and R. S. Lazarus, “Relationship of Daily Hassles, Uplifts, and Major Life Events to Health Status”, Journal of Health Psychology, Vol.1, No.2, pp.119-136, 1982.
- [6] S. P. Segal and D. J. VanderVoort, “Daily Hassles and Health Among Persons with Severe Mental Disabilities”, Psychosocial Rehabilitation Journal, Vol.16, No.3, pp.27-40, 1997.
- [7] 厚生労働省, 「労働者の心の健康の保持増進のための指針」, <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/roudou/an-eihou/dl/060331-2.pdf> (参照 2017/12/18).
- [8] 浜田利満, 横山章光, 柴田崇徳, 「ロボット・セラピーの展開」, 計測と制御, Vol.42, No.9, pp.756-762, 2003.
- [9] 横山章光, 「アニマル・セラピーとは何か」, 日本放送出版協会, 1996.
- [10] 浜田利満, 大久保寛基, 大成尚, 「高齢者を対象とするロボット・セラピーの研究-実施方法に関する検討-」, 筑波学院大学紀要第 1 集, pp.111-123, 2006.
- [11] ピップ RT 株式会社, 「いっしょに笑おう! うなずきかぼちゃん」, <http://www.kabo-chan.com/> (参照 2017/12/18).
- [12] トレンドマスター株式会社, 「なでなでねこちゃん DX2 シリーズ」, <http://trendmaster.co.jp/dx2/> (参照 2017/12/18).
- [13] トレンドマスター株式会社, 「なでなでワンちゃん」, <http://trendmaster.co.jp/dog/> (参照 2017/12/18).
- [14] 産業技術総合研究所, 「アザラシ型メンタルコミットロボット パロ」, <http://paro.jp/>

(参照 2017/12/18).

- [15] 柴田崇徳, 「セラピー用ロボット・パロの研究開発と国内外の動向」, 第1回アザラシ型ロボット・パロによるロボット・セラピー研究会抄録集, pp.4-17, 2012.
- [16] 樋田晶也, 「パロとの2年間～にふえーでーびる パロ～」, 第5回アザラシ型ロボット・パロによるロボット・セラピー研究会抄録集, pp.20-23, 2014.
- [17] 山口創, 「身体接触によるこころの癒し～こころとからだの不思議な関係～」, 全日本鍼灸学会雑誌, Vol.64, No.3, pp.132-140, 2014.
- [18] 山本裕子, 「触れるケアの効果」, 千里金蘭大学紀要, Vol.11, pp.77-85, 2014.
- [19] 柴田崇徳, 「人とロボットの身体的インタラクションを通じた主観的価値の創造—アザラシ型メンタルコミットロボットの研究開発—」, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.2, pp.200-203, 2000.
- [20] D. M. McNair, M. Lorr, and L. F. Droppleman, “Manual for the Profile of Mood States”, Educational and Industrial Testing Services, 1971.
- [21] 横山和仁, 荒記俊一, 「日本語版 POMS 手引」, 金子書房, 2008.
- [22] 徳田完二, 「一時的気分尺度 (TMS) の妥当性」, 立命館人間科学研究, Vol.22, pp.1-6, 2011.
- [23] 吉田倫幸, 「脳波によるメンタルストレスの計測と評価」, 人間工学, Vol.33, 特別号, pp.72-73, 1997.
- [24] 一井亮介, 前田陽一郎, 高橋泰岳, 「インタラクティブサウンド生成システムのための脳波特徴解析によるリラクゼーション効果の検証」, 知能と情報, Vol.24, No.1, pp.560-570, 2012.
- [25] 大熊輝雄, 松岡洋夫, 上埜高志, 齋藤秀光, 「臨床脳波学 第6版」, 医学書院, 2016.
- [26] 早川智彦, 松井茂, 渡邊淳司, 「オノマトペを利用した触り心地の分類手法」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.3, pp.487-490, 2010.
- [27] 樫淵めぐみ, 黒須正明, 坂本章, 「人間とロボットの相互作用に関する実証的研究」, NIME 研究報告第10号, 2005.
- [28] ソニーマーケティング株式会社, 「AIBO Official Site」, <http://www.sony.jp/products/Consumer/aibo/index2.html> (参照 2017/12/18).
- [29] ソニーマーケティング株式会社, 「Tiny AIBO Ver.3.0」, http://www.sony.jp/ProductsPark/Consumer/PCOM/Software_01q2/TinyAIBO/ (参照 2017/12/18).
- [30] Leap Motion, Inc., “Leap Motion”, <https://www.leapmotion.com/> (Accessed 2017/12/18).
- [31] 林文俊, 「対人認知構造の基本次元についての一考察」, 名古屋大学教育学部紀要教育心理学科, Vol.25, pp.233-247, 1978.
- [32] 藤木大介, 上田博唯, 近間正樹, 「生活を支援するロボットとユーザとの会話場面で形成される印象の検討」, 日本ロボット学会誌, Vol.26, No.5, pp.445-452, 2008.

-
- [33] 佐賀圭美, 棟方渚, 小野哲雄, 「身体を這い回るパーソナルロボットによる social touch 効果の検証と他者性の変化に関する考察」, HAI シンポジウム 2013 予稿集, 2013.
- [34] 荒堀拓哉, 片上大輔, 角所考, 「情報提供アナウンサーエージェントにおける表出モデル設計と印象評価～スマートキャスター 24(TWENTY FOUR) の開発～」, 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.179-186, 2013.
- [35] 守安智久, 堀磨伊也, 吉村宏紀, 岩井儀雄, 「AR ナビゲーションシステムにおける心理的効果の利用」, HAI シンポジウム 2014 予稿集, 2014.
- [36] 斉藤幸子, 「セマンテック・ディファレンシャル (SD) 法」, 人間工学, Vol.14, No.6, pp.315-325, 1978.
- [37] NeuroSky, Inc., “Brain Wave Signal (EEG) of NeuroSky, Inc.”, 2009.
- [38] NeuroSky, Inc., “EEG Sensors-EEG Headsets”, <http://neurosky.com/biosensors/eeg-sensor/biosensors/> (Accessed 2017/12/18).
- [39] 豊田秀樹, 「共分散構造分析 [R 編] -構造方程式モデリング」, 東京図書, 2014.
- [40] E. D. Adrian and B. H. C. Matthews, “The Berger Rhythm: Potential Changes from the Occipital Lobes in Man”, Brain, Vol.57, No.4, pp.355-385, 1934.
- [41] 渡邊淳司, 「触れる感覚の質感・実感に着目したコミュニケーション」, NTT 技術ジャーナル, Vol.23, No.9, pp.26-30, 2011.
- [42] 株式会社エクシール, 「超軟質造形樹脂 人肌のゲル発砲タイプ」, <http://www.exseal.co.jp/creative/hitohadahapp.htm> (参照 2017/12/18).
- [43] DOVA-SYNDROME, 「JP Kitty Voice 猫の鳴き声集」, https://dova-s.jp/_contents/products/detail0013.html (参照 2017/12/18).
- [44] D. I. McCloskey, “Kinesthetic sensibility”, Physiological Reviews, Vol.58, No.4, pp.763-820, 1978.
- [45] 阿部慶賀, 「『重い』と思うことは印象評価を変えるのか -印象評価における重量刺激の主観量と物理量の影響-」, 実験社会心理学研究, Vol.55, No.2, pp.161-170, 2016.
- [46] J. A. Howard and J. Hulbert, “Advertising and the Public Interest; A Staff Report to the Federal Trade Commission”, Crain Communications, 1973.
- [47] Julius 開発チーム, 「大語彙連続音声認識エンジン Julius」, <http://julius.osdn.jp/> (参照 2017/12/18).
- [48] 和田一義, 井上薫, 「ロボット・セラピーの手引き～アザラシ型ロボット『パロ』の活用法～」, 首都大学東京, 2010.
- [49] 高瀬裕, 山下洋平, 石川達也, 椎名美奈, 三武裕玄, 長谷川晶一, 「多様な身体動作が可能な芯まで柔らかいぬいぐるみロボット」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.3, pp.327-336, 2013.
- [50] 本間大, 中澤文雄, 「機能異方性形状記憶合金の開発と応用」, 電気製鋼, Vol.77, No.4, pp.277-283, 2006.

- [51] 石田慎吾, 花島直彦, 足田弘光, 山下光久, 「ロボット作動音がもたらす心的負担についての検討」, 第 34 回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp.7, 2003.
- [52] M. Mori, “The Uncanny Valley”, Trans. K. F. MacDorman and N Kageki, IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol.19, No.2, pp.98-100, 2012.
- [53] HTS Working Group, “Open JTalk”, <http://open-jtalk.sourceforge.net/> (Accessed 2017/12/18) .
- [54] W. S. Condon and W. D. Ogston, “A Segmentation of Behavior”, Journal of Psychiatric Research, Vol.5. No.3, pp.221-235, 1967.
- [55] 長岡千賀, 「対人コミュニケーションにおける非言語行動の 2 者相互影響に関する研究」, 対人社会心理学研究, Vol.6, pp.101-112, 2006.
- [56] 渡辺富夫, 「身体的コミュニケーションにおける引き込み」, 日本新生児学会雑誌, Vol.34, No.4, pp.734-738, 1998.
- [57] T. L. Chartrand and J. A. Bargh, “The Chameleon Effect: The Perception-behavior Link and Social Interaction”, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.76, No.6, pp.893-910, 1999.
- [58] J. N. Bailenson and N. Yee, “Digital Chameleons: Automatic Assimilation of Non-verbal Gestures in Immersive Virtual Environments”, Psychological Science, Vol.16, No.10, pp.814-819, 2005.
- [59] M. Shimada, K. Yamauchi, T. Minato, H. Ishiguro, and S. Itakura, “Studying the Influence of the Chameleon Effect on Humans Using an Android”, Proceedings of 16th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, pp.767-772, 2008.
- [60] M. Natale, “Convergence of Mean Vocal Intensity in Dyadic Communication as a Function of Social Desirability”, Journal of Personality and Social Psychology, Vol.32, No.5, pp.790-804, 1975.
- [61] S.W. Gregory Jr., K. Dagan, and S. Webster, “Evaluating the Relation of Vocal Accommodation in Conversation Partners’ Fundamental Frequencies to Perceptions of Communication Quality”, Journal of Nonverbal Behavior, Vol.21, No.1, pp.23-43, 1997.
- [62] S. Feldstein, F.A. Dohm, and C.L. Crown, “Gender and Speech Rate in the Perception of Competence and Social Attractiveness”, Journal of Social Psychology, Vol.141, No.6, pp.785-806, 2001.
- [63] 西村良太, 北岡教英, 中川聖一, 「音声対話における韻律変化をもたらす要因分析」, 音声研究, Vol.13, No.3, pp.66-84, 2009.
- [64] L.R. Rabiner and M.R. Sambur, “An Algorithm for Determining the Endpoints of Isolated Utterances”, The Bell System Technical Journal, Vol.54, No.2, pp.297-315,

- 1975.
- [65] A. Camacho, “SWIPE: A Sawtooth Waveform Inspired Pitch Estimator for Speech and Music”, Ph.D. Thesis, University of Florida, 2007.
 - [66] SPTK Working Group, “Speech Signal Processing Toolkit”, <http://sp-tk.sourceforge.net/> (Accessed 2017/12/18) .
 - [67] 水谷信子, 「あいづち論」, 日本語学, Vol.7, No.13, pp.4-11, 1988.
 - [68] 堀口順子, 「あいづち研究の現段階と課題」, 日本語学, Vol.10, No.10, pp.31-41, 1991.
 - [69] 福田健, 「きれいな敬語の使い方・話し方」, 主婦の友社, 2010.
 - [70] 早野順一郎, 山田真己, 藤浪隆夫, 横山清子, 渡辺與作, 高田和之, 「心拍変動と自律神経機能」, 生物物理, Vol.28, No.4, pp.198-202, 1988.
 - [71] E.N. Lorenz, “Deterministic Nonperiodic Flow”, Journal of the Atmospheric Sciences, Vol.20, pp.130-141, 1963.
 - [72] M. Toichi, T. Sugiura, T. Murai, and A. Sengoku, “A New Method of Assessing Cardiac Autonomic Function and Its Comparison with Spectral Analysis and Co-efficient of Variation of R-R Interval”, Journal of the Autonomic Nervous System, Vo.62, pp.79-84, 1997.
 - [73] 東京デバイスズ, 「USB 心拍センサ IWS920 開発キット『パルスラボ』」, <https://tokyodevices.jp/items/188> (参照 2017/12/18).
 - [74] Telegraph Media Group Ltd., “Band creates the ‘most relaxing tune ever’”, <http://www.telegraph.co.uk/news/uknews/8830066/Band-creates-the-most-relaxing-tune-ever.html> (Accessed 2017/12/18) .
 - [75] 渡辺富夫, 大久保雅史, 「コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価」, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1225-1231, 1998.
 - [76] 西裕子, 櫻沢繁, 美馬義亮, 山本敏雄, 「ホタルの引き込み現象を模擬したインタラクティブイルミネーションシステム」, インタラクシオン 2012 論文集, pp.385-390, 2012.
 - [77] 浦谷裕樹, 大須賀美恵子, 「エアバッグを用いた子ども向けの呼吸誘導ぬいぐるみの開発」, 人間工学, Vol.51, No.6, pp.428-434, 2015.
 - [78] 佐治晴夫, 「快適空間の物理」, 応用物理, Vol.60, No.3, pp.247-253, 1991.
 - [79] 国立研究開発法人産業技術総合研究所, 「セラピー・ロボット、介護の未来を変える～株式会社知能システム～」, <https://unit.aist.go.jp/ictes/tmb/interview09.html> (参照 2017/12/18).

付録 A

発表論文目録

査読付き学術雑誌

1. 林里奈, 加藤昇平, 「ロボットの主観的重量感覚がストレス緩和効果に与える影響」, 計測自動制御学会論文集 (Vol.54, No.1 に採録決定).
2. Rina Hayashi, Shohei Kato, “Psychological Effects of Physical Embodiment in Artificial Pet Therapy”, Journal of Artificial Life and Robotics, Vol.22, No.1, pp. 58-63, 2017.
3. 林里奈, 加藤昇平, 「身体性が人工ペットとのふれあいによるセラピー効果に与える影響」, 日本感性工学会論文誌, Vol.16, No.1, pp.75-81, 2017.

査読付き国際会議

1. Rina Hayashi, Shohei Kato, “Proposal of Design Policy of Therapy Robots System Based on Relaxation State”, IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics, pp.136-138, Nagoya, 2017.
2. Rina Hayashi, Shohei Kato, “Psychological Influence of Entrainment Phenomenon of Rhythm Information in Dialogue on Therapeutic Effects”, 22nd International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.231-234, Beppu, 2017.
3. Rina Hayashi, Shohei Kato, “Psychological Effects of Physical Embodiment in Pet Therapy”, 21st International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.158-162, Beppu, 2016.
4. Rina Hayashi, Shohei Kato, “CHOBONYAN: Soft-Stuffed Robot in Palmtop Size and Light Weight for Therapy”, IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics, pp.112-113, Osaka, 2015.

国内会議

1. 林里奈, 加藤昇平, 「ストレス緩和効果における柔らかい触感と反応の重要性」, 第 19 回日本感性工学会大会, pp.C53 (2-pages), 東京, 2017.
2. 林里奈, 加藤昇平, 「対話における韻律情報の関係が生理的セラピー効果に与える影響」, 情報処理学会第 79 回全国大会, pp.6D-03 (2-pages), 名古屋, 2017.
3. 林里奈, 加藤昇平, 「ロボットの主観的重量感覚と実重量の齟齬による心理的影響」, 第 17 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, pp.1645-1647, 札幌, 2016.
4. 林里奈, 加藤昇平, 「身体性が人工ペットとのふれあいによるセラピー効果に与える影響」, 第 18 回日本感性工学会大会, pp.D52 (8-pages), 東京, 2016.
5. 林里奈, 加藤昇平, 「見守り機能を有するセラピーロボットの開発」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016, pp.1A1-15a7 (2-pages), 横浜, 2016.
6. 林里奈, 加藤昇平, 「ペットセラピーにおける身体性の効果」, 情報処理学会第 78 回全国大会, pp.5D-05 (2-pages), 横浜, 2016.
7. 林里奈, 加藤昇平, 「セラピー効果を引き出すインタラクションデザインの基礎検討」, 平成 27 年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, pp.A1-7 (1-page), 名古屋, 2015.
8. 林里奈, 加藤昇平, 「ロボット・セラピーに向けた小型ぬいぐるみロボットの開発 -駆動メカニズムの設計と動作評価-」, 第 17 回日本感性工学会大会, pp.F44 (4-pages), 東京, 2015.

付録 B

受賞目録

1. Rina Hayashi, Shohei Kato, “IEEE GCCE 2017 Outstanding Paper Award”, IEEE Global Conference on Consumer Electronics, 2017.10.26.
2. Rina Hayashi, “Excellent Student Award 2016”, IEEE Nagoya Section, 2017.3.1.
3. 林里奈, 「平成 28 年度名古屋工業大学学生研究奨励学長賞」, 名古屋工業大学, 2017.2.23.
4. 林里奈, 加藤昇平, 「第 17 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優秀講演賞」, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門, 2016.12.18.
5. 林里奈, 「第 17 回日本感性工学会大会優秀発表賞」, 日本感性工学会, 2016.9.9.