学士論文 **2017** 年度（平成 **29** 年度）

C^2AT^2 HUB Engine:
人の心理モデルに基づいたロボットの長期的な性格形成手法

指導教員

慶應義塾大学環境情報学部

高汐 一紀
徳田 秀幸
中澤 仁
村井 純
楠本 博之
中村 修
Rodney D. Van Meter III
植原 啓介
三次 仁
武田 圭史

慶應義塾大学 総合政策学部総合政策学科

川那子 進太郎

nago@ht.sfc.keio.ac.jp

学部論文要旨 2017 年度 (平成 29 年度)

C^2AT^2 HUB Engine:
人の心理モデルに基づいたロボットの長期的な性格形成手法

あらまし

様々なタイプのコミュニケーションロボットの社会進出が目覚しい中，これらロボットは介護支援やセラピー，接客などの仕事だけでなく，家庭内において家族や友人，ペットとしての役割も果たしている．しかしながら，こうしたコミュニケーションロボットの多くは個性をもっておらず，個性の欠落がロボットへの愛着の低下やロボットとのコミュニケーションにおける違和感の原因となっている．今でこそコミュニケーションロボットは遍在的ではないが，1 つの空間に複数台のロボットが当然として存在する世界になったとき，個性の問題はより深刻になる．

そこで本研究では，ロボットに性格を付与することで個性を実現し，ロボットとのコミュニケーションがより自然に感じられるようにすると共に，ロボットに対する愛着を増加させることを目的とし，長期的なインタラクションによってロボットの性格を形成する手法である C^2AT^2 HUB を提案する．本システムによってロボットは，ユーザのロボットへの対応の履歴によって情動の傾向を緩やかに変化させる．ロボットの情動は対人心理学の考えを取り入れ，他者に対する好意や優越感など外的な感情を扱う「対人情動」と，喜びや悲しみなど内的な感情を扱う「情動」の 2 種類を，それぞれ 2 次元のベクトルで表現した．また，教育心理学の Symonds の養育態度尺度と対人心理学のデータを参考に，ロボットの情動傾向の変化を設計した．ロボットは自身の情動をジェスチャによって示すが，そのときの情動によってジェスチャも変化していく．ユーザはジェスチャからロボットの情動傾向を読み取ることで，ロボットの中に性格を感じることができる．

評価実験では，先行研究による性格変化手法を採用したロボットと比較を行うため，コミュニケーション実験を行なった．結果として，本システムによってロボットがより自然に性格付けされ，ロボットの印象や愛着が向上することが明らかになった．

キーワード

性格形成，ヒューマノイドロボット，H2R コミュニケーション，ジェスチャ

慶應義塾大学総合政策学部

川那子進太郎

Abstract of Bachelor's Thesis Academic Year 2017

C^2AT^2 HUB Engine: Long-term Characterization of Robots based on Human Psychology

Abstract

Currently, various different communication robots support our society. They help us in various ways such as therapists in care facilities and hospitals, or clerks in stores. They even play rolls as family members, friends, or pets in our home. However, these communication robots lack variety of personalities, which may cause some problems like decline in attachment to robots and uncomfortable communication with them. Although communication robots are not omnipresent for now to say they can be seen wherever you are, lack of personalities will be more serious issue in the near future as communication robots spread more and more.

Thus this research aims to realize more natural communication with robots, that leads users to have more attachment for their robots, by characterizing them as if they have their own personalities. We propose C^2AT^2T HUB where robots gradually develop characters through long-term interaction with users, by changing tendency of affect transition. The system includes two types of affect, which are brought from concepts of educational psychology and interpersonal psychology in order to design changes of affect transition tendency. One of the two is "interpersonal affect", which represents external feeling robots have to users such as "like" or "respect", while another one is simply called "affect" and indicates internal emotions e.g. "joy" and "sadness". Both types of affect are represented as two dimensional vector. Robots show their affect by gestures, meaning users understand characters of robots through changes of gestures, which reflect history of users' behavior to robots.

We conducted evaluation experiments comparing our system with previous research and reached the conclusion that our system characterizes robots more naturally and improves impressions and attachment to robots.

Keywords
characterization; humanoid robot; H2R communication; gesture

Keio University
Faculty of Policy Management
Shintaro Kawanago

目次

第 1 章　序論　1

1.1　背景　1

1.2　問題意識及び目的　2

1.2.1　個性の欠落による問題　2

1.2.2　個性を実現する手法における問題　2

1.2.3　目的　3

1.3　アプローチ　3

1.4　本論文の構成　3

第 2 章　コミュニケーションロボットの現状　5

2.1　コミュニケーションロボットの個性に関する機能　5

2.2　Pepper　7

2.3　Robi　8

2.4　Musio　8

2.5　Palmi　9

2.6　AIBO　10

2.7　まとめ　10

第 3 章　ロボットの個性における要素とその特性　12

3.1　個性の定義　12

3.2　対人コミュニケーションと個性　12

3.3　外面的な個性　13

3.3.1　外見による印象の差異　13

3.3.2　声による印象の差異　13

3.3.3　動作による個性の現出　14

3.3.4　外面的な個性のまとめ　14

3.4　内面的な個性　14

3.4.1　行動パターンによる個性の現出　15

3.4.2　発話内容による個性の現出　15

3.4.3　情動傾向の欠如による問題　15

3.5　ロボットの情動傾向　16

3.6　ロボットの対人情動　17

3.7 本研究における目標 17
3.8 まとめ 18

第 4 章 C^2AT^2 HUB モデル 19
4.1 長期的な性格形成 19
4.1.1 Symonds の養育態度尺度と情動傾向 19
4.1.2 コミュニケーションモデル 20
4.1.3 先行研究における問題 21
4.2 C^2AT^2 HUB モデル 21
4.2.1 新しいコミュニケーションモデル 22
4.2.2 情動と対人情動 23
4.2.3 まとめ 24
4.3 モデルの詳細 25
4.3.1 概要 25
4.3.2 対人情動モデル 26
4.3.3 情動モデル 27
4.3.4 情動表出 31
4.4 まとめ 31

第 5 章 評価実験 32
5.1 実験システム 32
5.1.1 実験の前提 32
5.1.2 システム画面 32
5.1.3 ロボット動作 34
5.2 実験方法 36
5.2.1 概要 36
5.2.2 デフォルト状態でのコミュニケーション 36
5.2.3 性格形成のためのコミュニケーション 37
5.2.4 判別実験 37
5.2.5 判別実験における 4 種類のロボット 38
5.3 実験結果 39
5.3.1 被験者について 39
5.3.2 デフォルト状態での性格と印象 41
5.3.3 性格変化についての評価 43
5.3.4 判別実験結果 45
5.4 考察 48
5.4.1 性格と印象 48
5.4.2 判別の容易さ 48
5.5 まとめ 49

第 6 章 結論 50

6.1 本研究のまとめ 50
6.2 今後の課題と展望 51
6.2.1 今後の課題 51
6.2.2 今後の展望 51

参考文献 52

図目次

1.1 新規開発サービスロボットの機種数の推移（ジャンル別）- 2016 年に国内で開発されたサービスロボットの動向に関する調査結果を発表 — アスラテック株式会社 [1] 1

2.1 Pepper - Pepper, the humanoid robot from SoftBank Robotics, a genuine companion — SoftBank Robotics[2] 7
2.2 Robi - 週刊 ロビ 2 — シリーズトップ [3] 8
2.3 Musio - Musio(ミュージオ), your curious new friend[4] 9
2.4 Palmi - Palmi Garden by FUJISOFT Inc.[5] 9
2.5 AIBO - AIBO Official Site[6] 10

4.1 Symonds の養育態度尺度 - The psychology of parent-child relationships[7] 20
4.2 小笠原らによるコミュニケーションモデル - ユーザの行動選択傾向に応じた感性ロボットの性格付与 [8] 21
4.3 提案コミュニケーションモデル 22
4.4 Russell の円環モデル - The Circumplex Model of Affect: An Integrative Approach to Affective Neuroscience, Cognitive Development, and Psychopathology[9] 23
4.5 対人情動の円環図式 - 対人感情の心理学 [10] 24
4.6 対人情動ベクトルと情動ベクトル 24
4.7 システム構成図 25
4.8 保護的行動を受けた際に生じる情動遷移 30

5.1 コミュニケーション画面 33
5.2 ロボットの反応一覧 35
5.3 性格平面における座標移動 39
5.4 実験の様子 40
5.5 デフォルト状態での比較 42
5.6 性格変化における比較 43
5.7 性格変化後での比較 44
5.8 平均正答率の比較 45
5.9 平均コミュニケーション数の比較 46
5.10 平均確信度の比較 46

表目次

2.1 各ロボットシステムにおける個性に関する機能 11

4.1 ユーザ行動と対人情動の対応 20
4.2 特定の対人情動下における対人行動別の情動変化 1 - 対人感情の心理学 [10] 28
4.3 特定の対人情動下における対人行動別の情動変化 2 - 対人感情の心理学 [10] 29
4.4 情動の角度定義 30

5.1 インタラクション一覧 34
5.2 実験フロー 36
5.3 性格・印象調査のためのアンケート項目 37
5.4 性格形成に関するアンケート項目 37
5.5 判別に関するアンケート項目 38
5.6 被験者の人数比 40
5.7 デフォルト状態での性格と印象 42
5.8 性格変化についてのアンケート調査結果 43
5.9 性格変化後の性格と印象 44
5.10 判別実験結果 45
5.11 ロボット種類別の判別実験結果 45

第 1 章

序論

本章では，まず本研究の背景を述べる．次にコミュニケーションロボットの個性における問題点について説明し，本研究の目的とアプローチについて述べる．最後に，本論文の構成について記す．

1.1　背景

ICT の発達により，様々なタイプのサービスロボットが社会進出を果たしており，その数は年々上昇しているが，特にサービスロボットの中でも見守り・コミュニケーションロボットの機種数は目立った伸びを見せている [1]．これらコミュニケーションロボットは自然言語による会話に対応していたり，ジェスチャや光，音の表現等によってユーザの感情を読み取ったり，あるいはロボット自身の感情を表すことで，ユーザとのコミュニケーションを行うことができる．

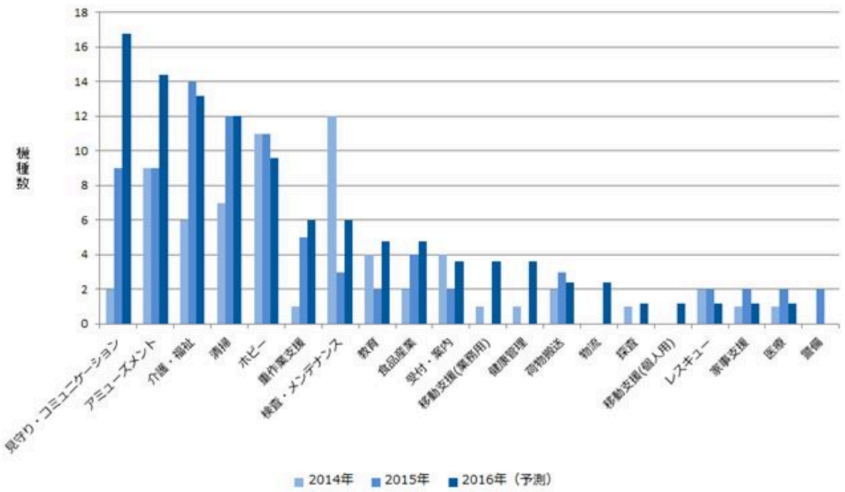


図 1.1: 新規開発サービスロボットの機種数の推移（ジャンル別）- 2016 年に国内で開発されたサービスロボットの動向に関する調査結果を発表 — アスラテック株式会社 [1]

コミュニケーションロボットは，PALRO[11] やパロ [12] のように介護や医療の現場でセラピストのような役割を担うだけでなく，Pepper[2] のように街中の店頭に置かれ接客を行う場面もある．しかし最近目立つユースケースは，家庭内における家族の一員や友人，あるいはペットとしての役割である．OHaNAS[13] や

AIBO[6] はその典型例であり，これらロボットは単なる便利な機械としてではなく，コミュニケーションの相手として設計されている．AIBO に至っては，サポート期間が終了した後もファンからの強い要望によって独自に修理を行う企業が生まれたり，動かなくなった AIBO の葬儀を行ったりするなど [14]，ユーザがロボットに対して強い愛着を抱く実例となった．

こうした様々なコミュニケーションロボットが増加し続けると，一つの家庭に一台，あるいは複数台のロボットが存在する場面が増加する．すると，隣人や知人が自分と同じ型のロボットを所持しているケースが増え，我々があたかも自身の家族や友人，ペットを他者に紹介したり，連れ立ったりするかのように，自身のロボットを用いて他者とコミュニケーションを行うようになる未来が想定され得る．

1.2 問題意識及び目的

コミュニケーションロボットにおける問題について，個性の欠落による問題と，個性の実現手法における問題の 2 点に分けて説明した後，本研究の目的を述べる．

1.2.1 個性の欠落による問題

コミュニケーションロボットが遍在するようになると，それぞれのロボットが同一の個性を持っていることが違和感として表面化してくることが予想される．例えば自宅のペットロボットと同じロボットを隣人が持っている場合や，あるいは自宅に同じペットロボットが 3 台ある場合などに，それぞれのロボットが全く同じ個性を持っていると，ロボットとのコミュニケーションが不自然に感じられたり愛着が湧かなくなってしまう恐れがある．

こうした問題は，コミュニケーションそのものを大きな目的とするコミュニケーションロボットにおいて深刻であり，セラピーや接客，エンターテインメントなどコミュニケーションによって達成するべきタスクも難しくなってしまう．

1.2.2 個性を実現する手法における問題

ロボットに個性を持たせる手法としては，大きく分けて外面的な要素によるものと内面的な要素によるものがある．外面的な要素とは，第 3 章で詳しく述べるように対人コミュニケーションにおけるチャネルに対応したものであり，ロボットの情動や考えといった内面的なものではなく，ロボットの動作や外見などを指す．内面的な要素は，外面的な要素のように直接知覚できない要素で，比較的長いスパンの中で認識される．

外面的な要素によるものでは，ロボット自体の大きさ [15] やジェスチャーの速さ・大きさなど [16] を変更することで，外向的なロボットや内向的な性格のロボットを表現しようとするものがある．しかし，外面的な要素のみで個性を実現した場合，コミュニケーションの内容そのものには大きく差が生まれないため個性に深みを感じにくい．内面的な要素によって個性を実現した場合，コミュニケーションロボットの目的であるコミュニケーションそのものによって個性の表出が次第に起こり，個性がユーザに比較的緩やかに知覚されるというプロセスが発生するため，コミュニケーションに駆け引きが生まれたりするなど，個性に深みを感じることができる．

内面的な要素による個性の実現は，例えばロボットが充電ベースに留まり続ける時間・頻度を増やすことで食いしん坊なロボットを演出したり，人の顔を発見すると積極的に近づくようにすることで社交的なロボットにするなどの試みがある [17]．これらは振る舞いによって個性を生み出そうとする手法である．市販されてい

るロボットでも，同様にダンスや歌などの行動の頻度を変え振る舞いを変化させることで個性をもたらそうとするものがある [5]．またその一方で，ユーザとの会話内容やユーザの趣味嗜好を覚えることで，発話内容などを変化させるという記憶による個性形成も存在する [4]．

しかしこうした個性の実現手法には情動と対人情動の概念が欠けている．情動は悲しみや喜びなどの内的な情動であり，対人情動は他者に対する好意や軽蔑などの外的な情動である．情動のみをもつロボットは存在するが，そうしたロボットはユーザから受けた行動それ自体のみを評価し，誰から行動を受けたのかを考慮できない．情動と対人情動は，人間が他者とコミュニケーションをとる場合の重要な因子であり，情動によって振る舞いや発話内容を変えることができれば，ロボットとより親密なコミュニケーションが行えるだろう．

また情動と対人情動とは別に，個性を実現する上で重要な要素として，個性とは緩やかに変化するものであるという考え方がある．個性とは発達心理学の考えの中では生涯をかけて緩やかに変化していくものであり，変化に乏しいロボットはユーザから違和感を覚えられたり，飽きられてしまう恐れがある．また，緩やかに個性が変化できない手法では，個性は予めデザイナーによって数種類用意され，ロボットごとにこれらの個性から適用する．もし途中で個性を変更したくなった場合，個性が全くことなるロボットになってしまう可能性がある．

1.2.3　目的

従って本研究では，情動と対人情動の考え方を用いて，「緩やかに変化するロボットの個性」を実現することを目的とする．これによりロボットとのコミュニケーションをより自然なものとし，ロボットに対する愛着を増加させる．

1.3　アプローチ

情動と対人情動を用いて個性を作るために，情動の遷移傾向を変化させる．情動の遷移傾向とは，ロボットが外部から受けた刺激によってロボットが抱く情動の傾向である．情動そのものや，情動の遷移傾向，情動の決定アルゴリズムの設計には，教育心理学や対人心理学を応用する．情動の遷移傾向を緩やかに変化させるために，ユーザからの行動をロボット内部に保存し，その履歴を活用する．ロボットはユーザから行動を受ける度にジェスチャーによって情動を示し，ユーザは行動の度に返されるロボットのジェスチャの変化から情動傾向の変化を感じ取る．このプロセスを繰り返すことで，ロボットの性格，すなわち個性をユーザが実感できることを目指す．

情動の遷移傾向は広義の性格に含まれると考えられる．従って，本研究では情動の遷移傾向による個性の実現を，便宜的に単に「性格形成」と呼称する．

1.4　本論文の構成

第 1 章では本研究の背景と問題意識について説明し，研究の目的と目的を達成するためのアプローチについて述べた．第 2 章では，現状のコミュニケーションロボットについて概観し，コミュニケーションロボットにおける個性の問題について述べる．次に第 3 章では，心理学の見地から個性について説明し，コミュニケーションロボットにおける個性の諸研究を交えて個性の要件について検討する．第 4 章では提案システムに近い先行研究の問題点を挙げ，先行研究と本研究で関連する心理学の諸理論について述べた後，本論文で議論する

性格形成モデルを示す．第 5 章では C^2AT^2 HUB Engine を実装したロボットシステムについて述べ，本ロボットシステムを用いた評価実験の方法とその結果，考察を述べる．最後に第 6 章では今後の展望と課題についてまとめ，本研究の結論を述べる．

第 2 章

コミュニケーションロボットの現状

本章では，既存のコミュニケーションロボットの例を挙げ，ロボットにおける個性の現状について述べる．

2.1　コミュニケーションロボットの個性に関する機能

コミュニケーションを目的としたり，コミュニケーションする機能を重視したロボットをコミュニケーションロボットと呼ぶ一方で，環境を認知し，その認知に基づき自身の行動を決定するロボットを認知ロボットと呼ぶ．浅田ら [18] によれば認知ロボティクスは「環境と相互作用しながら経時的に発展するシステムの原理を探求する新しいロボティクス」であり，コミュニケーションロボットも，周囲の状況に即した反応を行うという点で認知ロボットに含まれると考えられる．

Vernon らはロボット開発者らへのサーベイから，認知ロボットに求められる機能を 11 に分類した [19]．以下にその一覧を示す．

1. 安全性，信頼性，透明性のあるオペレーション
2. 高水準な命令対応とコンテクストに基づいたタスク実行
3. 知識の獲得と一般化
4. 適応性のあるプランニング
5. パーソナライズされたインタラクション
6. 自己評価
7. デモンストレーションによる学習
8. 行動の安全性評価
9. 発達と自己最適化
10. 知識の伝達
11. インタラクションの伝達と協調的行動

11 機能のうち，特にコミュニケーションロボットの個性に関する機能と関連が強いものとして，４，５，９を重視する．４の「適応性のあるプランニング」とは，環境や状況に即して行動を変化させることを意味し，個性の視点では振る舞いのパターンを生成する機能と関連がある．５のパーソナライズされたインタラクションは２つの側面があり，１つはロボットの挙動や外見などがロボットごとに違うという，ロボットベースでのパーソナライズである．そしてもう１つは，ロボットがコミュニケーションする相手となるユーザごとにロボットが振る舞いを変化させるというユーザベースのパーソナライズである．ロボット側のパーソナライズ

は，個性が多様であることそのものである．もう一方のユーザベースのパーソナライズは，ユーザの情報に基づいた応答を行ったり，ユーザごとに異なった情動をロボットがもつことで応答を変化させる仕組みなどと結びつく．９番目の機能である「発達と自己最適化」は，ロボットが周りからの刺激によって常に変化し続け，機能を強化・効率化したり，成長を行うことである．個性においては，成長や発達，性格の変化など，個性が変化する機能群がこれに該当する．

以上で挙げた３機能を基にして，個性の観点で機能をより細分化する．以下に細分化されたコミュニケーションロボットの個性に関する機能を挙げる．

- 個性の多様性
- 連続的な情動
- 対人情動
- 振る舞いによる個性
- ユーザ情報に基づいた応答
- 個性の緩やかな変化

まず個性の多様性とは，ロボットの機能によって異なる個性を実現する仕組みがあるかどうかを示す．

次に連続的な情動とは，離散的ではない情動の定義である．離散的な情動では，情動が喜びや悲しみなどいくつかの種類に分けられ，喜びの情動を持つ場合であれば一定量の喜びしか保持することができず，半分の喜びなどが表現できない．しかし連続的な情動であれば，喜びと悲しみの中間などの情動など，細かく複雑な情動を表現できる．

対人情動は喜びや悲しみなどの内的な情動とは違い，他者に対して抱く好意や軽蔑などの外的な情動である．人間の場合，好意的な行動を受けるときであっても，好きな人から受ける場合と嫌いな人から受ける場合で，その後に抱く情動が異なってくる．こうしたコミュニケーション相手による応答の違いを表現する方法の１つが対人情動である．

振る舞いによる個性とは，例えばダンスや歌を歌うなど設定された行動のうち，どの行動を選択するかの意思決定によってロボットに個性をもたらす仕組みである．これにより，おしゃべりが好きなロボットやダンスが嫌いなロボットなどを表現できる．

ユーザの情報に基づいた応答とは，ユーザの趣味嗜好やユーザとの会話内容などの情報を保持し，それを活用することで会話内容や振る舞いなどを変化させていく機能である．会話内容であれば，例えばユーザのスケジュールに基づいた発話を行うことや，相手に合わせて口調を変更することなどが当てはまる．振る舞いの場合，ダンスが好きなユーザの前では積極的にダンスを行ったりするなどである．上述の振る舞いによる個性が，ロボット自身の趣味嗜好によって振る舞いが変わるのに対し，ユーザの情報に基づいた応答ではユーザの趣味嗜好などによって振る舞いが変わるという違いがある．しかし，これらは互いに排他的でないため，システムによっては両方当てはまる場合もある．

個性の緩やかな変化は，個性が連続的に定義され，変化していく仕組みがあることを表す．「緩やか」や「連続的」という言葉を用いる理由は，連続的でない個性定義の場合は，発達や成長を行うように自然に個性が変化することが難しいためであり，この場合には上述した「発達と自己最適化」の機能を満たさない．

図 2.1: Pepper - Pepper, the humanoid robot from SoftBank Robotics, a genuine companion — SoftBank Robotics[2]

2.2 Pepper

SoftBank Robotics 社の Pepper[2] は，自然言語による会話やクイズゲーム，ニュースなど各種アプリケーションに対応しているコミュニケーションロボットである．大きな特徴として，オートノマスライフと呼ばれるシステムを搭載している．このシステムによって常に体の一部分が動くことで息遣いや微運動を表現したり，近くに人がいると自然とそちらを向く，ユーザが何もしていなくても独りで鼻歌を歌うなど，生きているかのような演出を行う．また，人間の内分泌系をシミュレートした擬似情動を備えており，複数の情動が混ざった複雑な情動を持つことができる．

しかし個性の多様性については考慮されておらず，Pepper としての個性は同社のデザインする一種類のものに限られる．また，人の顔を記憶することができ，覚えている人を見かけると情動に変化が現れるなどの仕組みがあるが，対人情動は持っていないため人によって対応を変えることができない．ユーザのパーソナルデータを保持することもないため，人から得た情報を基に会話内容を変えることもない．従って，性格や振る舞い，ユーザに合わせた行動選択などを含んだ広い意味での個性の変化が備わっていないと言える．

2.3 Robi

高橋によってデザインされた Robi[3] は，二足歩行機能に加え予め設定されたスクリプトに従った会話機能を有する．人の顔を覚える機能をもつが，対人情動や個人の情報保持に対応していないため人によってコミュニケーション内容を変化させることはできない．

しかし予め用意された数種類の性格によって会話内容が変化することが特徴で，初回起動時に Robi から質問されるいくつかの Yes/No クエスチョンにどう答えるかで性格が決定される．ただし，この性格はその後変更することができず，会話スクリプトも静的であるため個性の変化は行われない．

図 2.2: Robi - 週刊 ロビ 2 — シリーズトップ [3]

2.4 Musio

AKA 社が開発した Musio[4] は対話型の英語教育ロボットであり，自然言語による英会話を行うことを特徴とする．会話内容は予め作られたスクリプトによるものではなく，機械学習を用いて動的に生成されていく上，ユーザの発言を記憶して話題に持ち出す機能があるため，ユーザとの会話内容によって個性を作り出すことができる．このロボットにはいくつかの情動が定義されており，情動を表情によって表す．この情動は会話内容に付随するもので，特定の話題を繰り返しすぎるとその話題に不満を持つようになるなど，記憶と連動して情動の持ちようを変えることでも個性を演出している．

また，情動傾向に従った話題生成や応答を返すことができ，例えば悲観的なロボットは悲しい話題を提供するなど話題と情動が相互に影響している．ただし，情動が離散的であり，情動を直接的に表出する方法も表情のみであるという制約を持つ．話題や応答によって細かく情動を示すことには対応しておらず，情動による個性表出は限定的である．また，対人情動が考慮されていない．

図 2.3: Musio - Musio(ミュージオ), your curious new friend[4]

2.5 Palmi

富士ソフトの Palmi[5] は二足歩行可能な会話ロボットで，個人の顔と声を覚えてデータベース上に相手の趣味嗜好や過去の会話内容を記憶することができる．また，会話以外にもダンスや歌を披露する機能があり，ユーザのリクエストや反応によって行動の傾向に差が出てくる．従って，会話内容と振る舞い傾向による個性の変化が存在すると言える．更に成長をコンセプトにしており，はじめはカタコトでしか話すことができないが，次第に学習によって会話能力を高めていく姿に個性を見出すこともできる．

図 2.4: Palmi - Palmi Garden by FUJISOFT Inc.[5]

しかし一方で性格の概念は備わっておらず，性格によって会話内容や発言の仕方を変更することができない．すなわち，ロボット自身の趣味嗜好や情動の傾向が存在せず，ロボットが自らの情動に従って明るく振舞ったり，大人しく振舞ったりすることはできない．また，ロボットが好きな話題としてではなく，ユーザの情報に基づく話題として話題を生成するため，話題にロボットの趣味嗜好や性格が表れてこない．ただし，予め設定されたロボットならではの話題は存在する．例えば「人間は健康診断の時に体重を測るけど，僕はロボットだから体重が変化しない」といった具合の発話を行うことがある．しかしこうしたロボットならではの話題は全ての Palmi に共通してしまうため，個性としては認識し難い．

2.6 AIBO

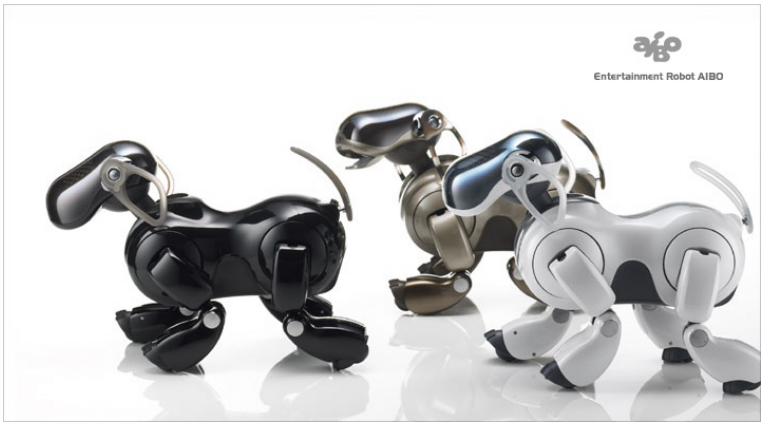


図 2.5: AIBO - AIBO Official Site[6]

Sony によって生み出された AIBO[6] は犬型のペットロボットで，センサ情報から撫でられたり指示されたりしたことを理解し，犬のようにボールで遊んだりじゃれついたりする動作が組み込まれている．専用のメモリーカードを入れ替えることで数種類のソフトが選択でき，ソフトによって個性が全く異なる．成長の概念が取り入れられているソフトもあるが，ここでいう成長とは反応や振る舞いのバリエーションが増えていくという面と，性格が変わっていくという面の二種類がある．バリエーションが増えていくという面では，成長の段階が同じならばロボットごとに大きな差異は無いが，性格は数種類用意されており，振る舞いが変化する．しかし性格は緩やかに変化するものではなく，性格ごとに大きく違いがある．

また，成長するものとは別のソフトにオーナー登録機能があり，登録をしてあるユーザの前でしか特定の行動を行わなくなる．しかしオーナー登録機能は対人情動とは別の概念であり，ロボットがユーザごとに好き嫌いを感じて異なる反応をすることはできない．情動は数種類用意されており，動作や表情で情動を示す．機嫌の悪いときには撫でても喜ばないなど，同じ動作に対しても反応が異なる．ただし，情動が連続的に定義されておらず細かい情動の差による振る舞いの違いは無い．

2.7 まとめ

各ロボットシステムの特徴を表 2.1 にまとめた．既存ロボットにおいては対人情動が考慮されておらず，また連続的な情動も機能として少ない．個性を実現しようとする試みがなされていることは分かるが，更にこう

したロボットが普及していくことを考慮すると，個性に求められる機能としては不十分である．次章では，既存のロボットの個性に関する研究について鳥瞰し，ロボットの個性に求められる要件を整理する．

		機能					
		個性の多様性	連続的な情動	対人情動	振る舞いによる個性	ユーザの情報に基づいた応答	個性の緩やかな変化
ロボット	Pepper		✓				
	Robi	✓					
	Musio	✓				✓	✓
	Palmi	✓			✓	✓	✓
	AIBO	✓			✓	✓	

表 2.1: 各ロボットシステムにおける個性に関する機能

第 3 章

ロボットの個性における要素とその特性

本章ではロボットの個性における諸研究について概観し，既存研究の問題点を整理する．まずパーソナリティ心理学の観点から個性とは何かを述べる．次に，対人コミュニケーションにおけるチャネルについて説明し，ロボットにおける個性の研究を挙げながら，既存研究の問題点についてまとめる．そして最後に，本研究の目標について述べる．

3.1　個性の定義

パーソナリティ心理学の分野において，個性とは明確な定義がなく，また全体的な合意がなされていないため，個性の定義は研究者の数だけあると言われることすらある [20]．しかしその中でも，多く用いられる代表的な定義を挙げるとすれば，Eysenck による「パーソナリティとは，多かれ少なかれ安定した個人の特徴 (性格，気質，知性，体質など) の持続的な体制で，個人に独自の環境への適応の仕方を決定するものである」というものがある [21]．すなわち，個性とは個人の行動を決定する要因であり，個人ごとに別々の個性が存在する．また，個性とは観測される個人の内部にあるもので，他者を観測する側の内部に，仮想的に構築される認識として存在するわけではないという前提がある．

個性とは個人の行動を決定する要因である，という主張について，実際に人間の行動を決定しているのは直前の出来事であって，その時々に人間がどう行動するかはケースバイケースであるという反論がある．しかし，個性という概念が説明しているのは個々の行動よりも，一定の期間に見られるような行動のパターンであり，傾向である [22]．そのため，比較的長期の視野で個性は把握できるとしている．

個性と似た意味の言葉にパーソナリティや人格，性格，印象などがあるが，これらの言葉は，本研究では同義として扱うこととする．ロボットにおける個性の諸研究においても，これらの言葉は明確に定義されて使い分けられているわけではないからである．

3.2　対人コミュニケーションと個性

対人コミュニケーションとは，なんらかの心理状態にある者が，他者に情報を伝えようとする行為の連続であり，対人コミュニケーションにおいて情報は様々なチャネルを通して伝達される [23]．チャネルは大きく言語によるものと非言語によるものの 2 つに大別され，前者は用いられる言語の語義や内容そのものであるのに対し，後者は非常に多くの下位チャネルに分類される．Duncan によれば非言語チャネルは，動作的行動である身体運動 (姿勢，身振り，顔面表情，視線の動きなど)，パラ言語 (アクセント，声の大きさなど)，プロクセ

ミックス (対人距離，身体の延長としての個人空間，縄張り)，そして嗅覚，温度や触覚など近感覚の感受性，人工物の使用 (服装，化粧，道路標識など) などから構成される [23]．

コミュニケーション相手の個性は，対人コミュニケーションによって得られる情報から当事者の中で組み立てていくものであり，つまり個性は対人コミュニケーションにおけるチャネルを通して相手に伝達していく．ロボットにおける個性の研究は，これらチャネルそのものを扱ったものと，チャネル以前であるロボットの内部状態そのものを扱ったものに大別できる．すなわち，前者はチャネルによって個性がどう (How) 伝わるかを議論し，後者はどんな (What) 個性をロボットの内部に構築するかを考える．便宜上，これらをチャネルによる個性，もしくは外面的な個性と，内面的な個性と呼び区別する．

3.3 外面的な個性

チャネルによってロボットの個性がどう伝わるかを議論した研究は多くなされている．こうした研究では特定のチャネルに着目し，そのチャネルによってロボットの印象がどう変化するかを論じたり，ロボットの感情表現の伝達がどう変化するかなどを分析している．

3.3.1 外見による印象の差異

例えばロボットの外見に着目した例があり，ロボットの大きさ [15] や腕の長さ [24] によって印象がどう変わるかを扱っている．これらの研究では同じ形のロボットで大きさや腕の長さだけを変え，感情表現や物を差し出すなどの特定の動作をさせることによる感情表出の度合いや印象を調査している．ロボットの大きさや腕の長さは，直接的にはロボットの内面を反映しないが，その大きさ故に同じ動作でも大げさに見えたり，逆に消極的に見えたりすることで，間接的にロボットの性格が違うように見せることができる．

他にも，ロボットらしい見た目や人間らしい見た目といったデザインコセンプトの違いによって印象を変化させる研究がある [25][26]．これらの実験ではロボットや画面に表示するエージェントの外見を変化させ，同じ動作やシナリオに沿ってタスクを行わせ，印象比較を行なっている．中にはロボットの知性や，生きていると感じさせる性質である有生性を比較したものもある [27]．この例でも同様に違うロボットに同じ役割を遂行させているが，結果としてデザインによって知性と有生性には差が見られた．

また，上記の研究例ほど大きくロボットの見た目を変えない場合でも，印象には差が出ることが報告されている [28]．

3.3.2 声による印象の差異

声による個性は，発話内容や発話の仕方ではなく，声の高さやトーンのようなパラ言語による個性である．実際に声の高さが異なるがほとんど同じ見た目をしたロボットに，会社の受付のようなタスクをさせた場合，声の高さによって外向性や共感性，ユーモアなどに差が生まれる [29][30]．人間は声の高さによって感情や含意を読み取る能力があり，ロボットの声の高さによってそうした感情や含意が強調，あるいはぼやけたりすることで，結果としてロボットの印象そのものに影響を与えていると考えられる．音声合成は統計技術を用いた手法の発達 [31][32] により，比較的多様な種類を用意することが容易である．しかしこうした音声合成手法は未だ発展段階にあり，読み上げ口調は自然に合成できるが，対して話し口調は精度が低いことが難点である．

また，上記の外見と声を組み合わせた例もあり [33]，ロボットらしい見た目と声をしたロボットと，より人間に近い見た目と声をもった画面内のエージェントを比較している．この研究においてはロボットの擬人観と

印象の関連を分析しており，必ずしも擬人観の高さが印象の良さに結びつかないことを指摘している．

3.3.3　動作による個性の現出

動作とは，具体的にはジェスチャなどの身振りである．動作には速さや大きさといった要素があり，研究例ではこうした要素を変化させることでロボットそのものの個性を調査している．

例えば，人間大のヒューマノイドが人とコミュニケーションする際のジェスチャーの頻度，速さ，角度の大きさを変化させることで比較を行い，個性を分類する手法である MBTI[34] における軸について異なる個性を持たせたという報告がある [16]．また，Kim らはその研究を Sony 社の ROLLY[35] に応用したが，ヒューマノイドの場合と同様に，友好度と支配度の二軸で表される空間上に個性の分類を行う P-E-N 理論 [36] を用いて，違った個性を持たせることに成功した [37]．

更に，類似の研究を Sony 社の AIBO[6] に適用した例もある [38]．やはり上述の研究同様，同じ動作をベースとしても速さや大きさを変更することでロボット自体の印象は変わり，異なった個性を持たせることができる．

3.3.4　外面的な個性のまとめ

以上では，チャネルによってロボットの個性がどう変化するかを比較した研究事例を紹介した．チャネルそのものによってロボットに個性を持たせることは，研究の面から十分に可能だと言えよう．

チャネルによって表現された外面的な個性の特徴は，比較的瞬時に個性が相手に知覚されるということだ．外見を例にすればこれは明らかで，ユーザはロボットを見た瞬間にロボットの見た目を知覚し，無意識のうちにもロボットに何かしらの印象を抱くだろう．もちろん，どれほど外見が違えば人はその違いに気付くことができるのかという弁別性の議論は常に伴うが，違いに気が付かなくても人は印象を感じることができるという意味で，外面的な個性は素早く伝達する．

しかしこうした伝達の速度は，ユーザにとって飽きを誘発する要因になる可能性がある．それは，継続的なコミュニケーションを通じて得られる情報が少ない，ないし全く無いからだ．チャネルのみによって個性を演出すれば，外見であればそれを見た瞬間，声の高さであれば声を聞いた瞬間に，ロボットの個性がすっかり把握できてしまうことになる．各ロボットの違いが瞬時に理解でき，しかもそれしか違いがないとわかった時，その違いに個性を感じ愛着を抱くことができるかは疑問である．上述のパーソナリティの定義にもあるように，我々は個性をその人の行動の中に見るのであって，外面的な個性のみでは不十分であろう．

従って，外面的な個性だけでなく，内面的な個性によってロボットに違いを持たせることが重要となる．

3.4　内面的な個性

内面的な個性においては，ロボット間の違いはロボットの内部にあって直接的に観測できず，その内部における違いが間接的に，ロボットの発話や具体的な行動，行動のパターンによって現れてくる．これらの具体的な行動パターンは，外面的な個性と違って，その行動を起こしたときの状況に照らし合わせて初めて理解できるものである．従って内面的な個性は，外面的な個性と比較して長期的なコミュニケーションを通じて明らかになっていく．

3.4.1 行動パターンによる個性の現出

行動パターンは，ある刺激に対しての反応のパターンや，行動の頻度など，行動 1 つ 1 つではなくその前後のコンテクストや行動の連なりによって示されるパターンである．

行動の頻度などによって個性を示すものとしては，Grollman が火星探査機のような車型ロボットに Drive と呼ばれる行動セットを与え，各 Drive を実行する確率を変更することで充電ベースに留まり続ける食いしん坊なロボットや，日陰を好む夜行性ロボットなどを表現した [17]．また他にも，人の頭部を模したロボットが，人が近く際に人の方を向いたり，挨拶を行うかによって個性を検証したもの [39] や，アイコンタクトのしやすさによってロボットの外向性を調整した研究がある [40]．

反応に着目した例では，佐藤らは動物の反応をロボットに適応し，撫でたときの反応の仕方によってロボットの性格を表した [41]．

複合的な行動によって個性を示した事例もある．Woods らは台車型の案内ロボットについているカメラの向きや，ロボット自体の移動速度，ユーザへの追従の仕方などを変更することで社会性を表現した [42]．また Tapus らは同じく台車ロボットの，ユーザに対する距離感や動きの速さ，会話内容にと音声の音量，ピッチの高さなど複数の要素を変更することで外向性を変更した [43]．会話内容の変更は，後述する発話による個性と重なる点である．

3.4.2 発話内容による個性の現出

発話内容における研究は，口調の変化としてエージェントに適用したもの [44] や，ロボットに適用した Goetz らのもの [28] などがある．

また，ロボットがユーザ情報やエピソードを記憶として保持し，発話に用いるケースも存在する．ある思い出をもっていることや，知識として保持していること自体も個性となり得るが，どういった場面でどのような記憶を用いてどのような発話を行うかという，発話全体のコンテクストを含めて個性が発現してくる側面もある．

具体例では，Kasap らが教師ロボットに生徒の授業におけるエピソードを記憶させ，それに基づく発話をさせることで優しいロボットや冷たい態度のロボットなどの違いを生んだ [45]．例えば記憶を保持したロボットは，ある生徒が前回の授業で良い成績を残したことを褒めてから授業を始めるが，記憶を保持しないロボットは何も言わずに済ませる．前者の方が思いやりを感じ，後者は機械的で冷たい印象を与える．

3.4.3 情動傾向の欠如による問題

これまででは，行動パターンと発話内容という 2 種類の内面的な個性の表現方法について紹介した．内面的な個性であれば，個性はすぐにユーザに知覚されず，ある程度長期的なコミュニケーションを通じて次第に明らかになっていく．こうした伝達速度の遅さが，ロボットの個性に次第に気付いていくというプロセスを生むことで，コミュニケーション自体によってロボットを知るという楽しみをもたらすことができる．従って，個性自体による飽きにくさという点では，内面的な個性は外面的な個性よりも優れている．

しかし，これら内面的な個性の研究事例には情動傾向の概念が欠けている．我々が他者の個性を考えるとき，個性の 5 因子モデル [46] で議論されるような外向性や協調性，誠実性などだけではなく，「怒りっぽい」であるとか「落ち込みやすい」といった情動傾向について思い浮かべることはごく自然にある．斎藤によれ

ば，人間は対人コミュニケーションにおいて「相手の行動→知覚→情動→欲求→行動→情動」という心的プロセスを経験する [10]．もちろん状況によっては情動を隠すように行動することもあるが，基本的に人間は行動にその時々の情動を反映するものであり，人は種々の行動に表れる情動から情動傾向を感じ取る．

だが情動を内部に持たないコミュニケーションロボットの場合，情動に基づいて行動を起こすことができないため，ユーザの側としてもロボットに情動傾向を想定しにくく，不自然さを覚えてしまう恐れがある．もちろん，人間は情動を持たないものに対してもあたかも情動があるかのように錯覚することができるため，これまで挙げた手法自体でも，部分的に情動傾向があるとユーザの側が認識することはある．しかしながら，情動の概念を取り入れないままでは情動傾向の発現が限定的で，その情動傾向が一貫性をもつことも保証できない．従って，情動傾向を個性に取り入れるためには擬似的な情動システムをロボットの内部に構成することが望ましい．

以下では，情動モデルを含めたロボットにおける情動傾向の研究について述べる．

3.5　ロボットの情動傾向

ロボットの情動傾向とは，例えば明るいロボットは怒りや悲しみの情動を抱きにくく，喜びや興奮を感じやすいといった具合に，ロボットが一定の情動に傾きやすかったり，その反対に傾きにくかったりすることである．人間の心理学でも多くの情動モデルが存在するため，ロボットにおける情動モデルも幅広く存在する現状がある．まず，ロボットにおける情動モデルについて紹介し，次に情動傾向による個性について述べる．

既存の情動モデルとしては，例えば尾形らが人間の内分泌系を模したモデルを作った [47]．尾形らは，このモデルによってロボットの動作を変更することで，より仕組みとして生物の反応に近い情動生成を考案した．また黒須らはコミュニケーションエージェントに 6 種類の情動を持たせ，その時々の情動が後の情動に影響しかつ，複数の情動が共存できるような情動モデルを形成した [48]．しかし，これらの研究はより自然なコミュニケーションを目的として情動モデルの提案と評価のみを行なっており，情動モデルを用いた性格や個性の多様性実現には至っていない．

Miwa らは Russell の円環モデル [9] で情動の軸とされる覚醒度と快-不快の 2 軸に，確実性の軸を追加した 3 次元空間で情動を示した [49][50]．更に外部刺激に対してどう情動が遷移するかを示す Sensing Personality と，現在の情動をどう表すかを示す Expression Personality をそれぞれ行列で定義し，情動傾向による個性を提案した．情動を 2 層に分ける発想により，人間のように本音と建て前のような 2 面性をロボットに持たせることが可能である．

同じくラッセルの円環モデルを用いた Han らも同様に，情動の遷移傾向によって性格を定義している [51]．この研究ではロボットとエージェントの表情によって情動を表し，外部刺激によって情動がどう遷移するかによって個性を実現している．

このように，情動は多様なモデルによって示され，実際にいくつかの例では情動傾向を持たせることで個性を実現している．しかし，対人コミュニケーションの観点から言えることは，これらの研究においては情動の範囲が限られていることだ．人間が抱く情動は，喜びや悲しみといったものだけでなく，人に対して抱く好意や敬意なども存在する．こうした人に対する情動を対人情動と呼ばれ，対人コミュニケーションにおいて重要な役割を担っている．

3.6　ロボットの対人情動

人は，好意を抱いている人から食事に誘われたら喜ぶが，嫌悪感を抱く人から誘われたら同じようには喜ばないのが普通である．このように，相手に抱いている対人情動はその人との対人関係や，その対人関係において生じる情動に大きな影響を与える [23]．もし対人情動の概念が無ければ，ロボットは誰に対しても似たような反応をしてしまう．

ロボットに対人情動を持たせた例としては竹内ら [52] のものがある．この研究では「犬」や「大きい」といった単語ごとにロボットがどの程度好感度を持っているかを-1.0 から +1.0 の幅で設定し，この単語ごとの好感度リストをロボットの価値観としている．ロボットと会話するユーザの発話内容からユーザとロボットの価値観の一致具合を計算し，対話者好感度を算出する．対話者好感度はラッセルの円環モデル [9] で表されたロボット情動の x 軸として利用され，y 軸は一定のリズムをもって上下する覚醒度とした．これにより，ユーザによって異なる会話を行えば対話者好感度が変化するため，同じ会話内容でも異なる情動をロボットが持つことができる．

しかしこの研究では対人情動と情動が区別されておらず，従って好感度の高い相手から酷いことを言われて普段以上に落ち込むといったようなより柔軟な処理が行えず，好感度が高かろうが低かろうが酷いことを言われれば同じ分だけ情動が変化するという点で不自然さを残す．

同じく対人情動を扱った研究として，小笠原ら [8] のものもあるが，こちらも同様に対人情動のみを扱い情動を別に定義していない．しかもロボットが抱く対人情動を離散的で one-hot な 4 種類の対人情動で定義しており，またその対人情動の遷移を確率的に決定するアルゴリズムを採用していることが問題である．これにより，ロボットに同じ嫌なことをしても嫌がる時と嫌がらない時があるばかりか，嫌がる時は必ず一定の程度の嫌がり方をし，嫌がらずに例えば喜ぶ時は必ず一定の程度の喜び方をするといった柔軟さに欠けるコミュニケーションを行ってしまう．

しかし小笠原らの研究で注目すべき点は，教育心理学の考えを取り入れ，ユーザとの長期的なインタラクションを通じてロボットの個性を変化させていくシステムを提案したことだ．人間の場合，個性は同じものであり続けるわけではなく，生涯に渡り発達を行い [53]，身体的、運動的、情緒・欲求的、認知的、社会的に変化していくものである [54]．ロボットは個性以前の問題として，反応が単調な場合飽きられやすいという難点があるが，仮に複雑なシステムを介して単調な反応を避けたとしても，変化しない個性はやはり不自然さや飽きを招く恐れがある．

対人心理学の観点からも，対人コミュニケーションによって人は相互作用をし合い，影響を与え合う．もちろん，その影響の中には記憶や価値観の共有，同調 [23] などがあり，単なる情動の変化や情報のやり取りに収まらない個性の変化がある．従って，コミュニケーションを目的としているにも関わらず，コミュニケーションによって変化しないコミュニケーションロボットにおいては，こうした変化の乏しさが違和感や飽きの原因となり得る．

3.7　本研究における目標

上記では，ロボットの個性における情動，対人情動，そして長期的な変化についての重要性について確認した．ロボットの個性については様々な観点から研究がなされているが，その重要性にも関わらずこれらを同時に満たすシステムについての議論は不十分である．そこで，本研究では情動と対人情動を備えたロボット

の心理モデルを提案し，ユーザとの長期的なインタラクションを通じて個性を変化させることでより自然なH2R(Human to Robot) インタラクションを実現し，ロボットへの愛着を高めることを目標とする．

3.8 まとめ

本章では心理学的な知見から個性や情動について説明し，既存研究を俯瞰した．また，既存研究の問題点について整理し，本研究で追求すべきシステム要件を洗い出した．次章では要件を満たすシステムモデルを提案する．

第 4 章

C^2AT^2 HUB モデル

本章では，我々が提案する性格形成手法である C^2AT^2 HUB モデルの基本となる概念について述べる．まずベースとなる既存研究について解説し，そこで用いられている教育心理学の考え方について述べ，既存研究の問題点を整理する．次に我々の提案する性格形成モデルを提示し，対人心理学の概念を説明した上で本手法で用いる対人情動と情動の定義を行う．最後に具体的なモデルの説明では，各情動の算出式を提示し，性格が変化する仕組みを示す．

4.1 長期的な性格形成

まず前章で概観した，長期的な性格形成手法を扱った既存の研究について，その詳細を議論する．

小笠原らは，ユーザのロボットに対する行動態度の履歴からロボットの性格を形成するシステムを提案した [8]．このシステムでは，教育心理学の理論である Symonds の養育態度尺度 [7] を参考に，ロボットの長期的な性格形成を行なっていることが特徴である．性格形成手法としてはロボット内部における情動の遷移傾向を変化させることで，ユーザの行動に対する反応を変化させる手法をとっている [8]．

4.1.1 Symonds の養育態度尺度と情動傾向

Symonds の養育態度尺度は，親の子に対する養育態度によって子のパーソナリティ形成に影響があり，ある程度の性格傾向が表れるとする理論である [55]．Symonds の養育態度尺度を説明した図を以下に示す．図 4.1 が示す通り，Symonds は親の養育態度を支配-服従の軸と保護-拒否の軸によって表現される平面に位置付ける．支配-服従の軸は子の態度や振る舞いに対しての干渉度合いを表し，保護-拒否の軸は子に対する優しさや好意度合いを表す．

これらの軸の偏りにより，図の最も外側にある四角形で示されるように子の性格傾向に影響がある．例えば，支配と保護の傾向が強い養育態度は「かまい過ぎ・過保護型」であり，子の性格は「幼児的・依存的」になる傾向があるとされる．

小笠原らは Symonds の養育態度として示される支配・服従・保護・拒否の 4 態度が，対人心理学上の対人行動と一致すると考えた．対人心理学上では，対人行動によって引き起こされる対人情動が存在し，表 4.1 のように対応がある [23]．そこで，ユーザのロボットに対する行動を支配・服従・保護・拒否の 4 種類とし，それぞれに対応するようにロボットの対人情動を 4 種類で定義している．基本的にはユーザ行動に対し対応する対人情動をロボットは持つが，性格によっては異なる対人情動を持つようにすることで性格の違いを出す．

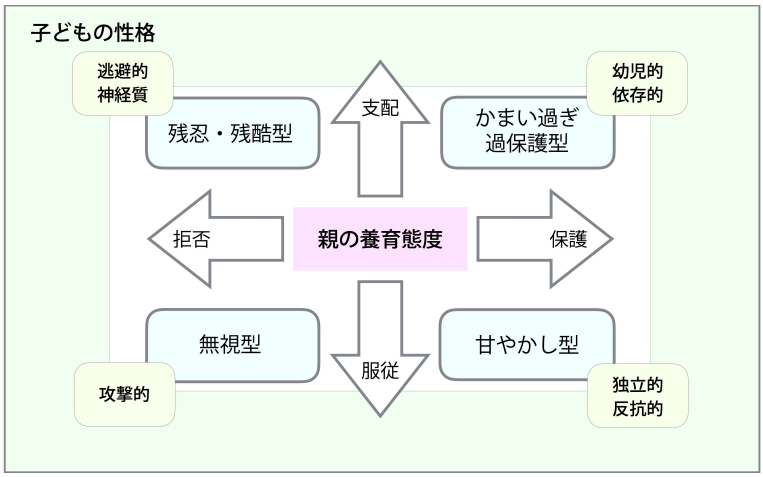


図 4.1: Symonds の養育態度尺度 - The psychology of parent-child relationships[7]

ユーザ行動	対人情動
支配	劣位
服従	優位
保護	好意
拒否	嫌悪

表 4.1: ユーザ行動と対人情動の対応

4.1.2 コミュニケーションモデル

このシステムでは図 4.2 に示すコミュニケーションモデルを採用している．このシステム上で情緒と呼ばれている概念は，これまでの議論の上では対人情動にあたる．このモデルで重要な点は，「被対人行動記憶」である．ユーザからの行動を記憶し，その行動履歴から情動傾向を変化させることで性格形成を行う．コミュニケーション全体の流れとしては，まずロボットから行動 DB 上にある行動がユーザに対して起こり，ユーザはこの行動に対して反応を返す．ユーザの反応が対応行動 m として保持され，ユーザからのロボットに対する被対人行動記憶に追加される．システム内部では新たな対応行動 m を加えた被対人行動記憶に基づいて対人行動傾向 t が算出され，t に従って対人情動傾向に変化が起こる．対人情動傾向によって確率的に対人情動を遷移させる手法を採用している．

対人情動が決定した後は，ロボットは対人情動を表情によって表す．表情は対人情動ごとに 1 種類ずつ予め用意されている．ユーザは，自身の選んだロボットに対する行動と，それに対するロボットの表情から分かる対人情動の遷移を，長期的なコミュニケーションの中で結びつけることでロボットの性格を感じることができる．

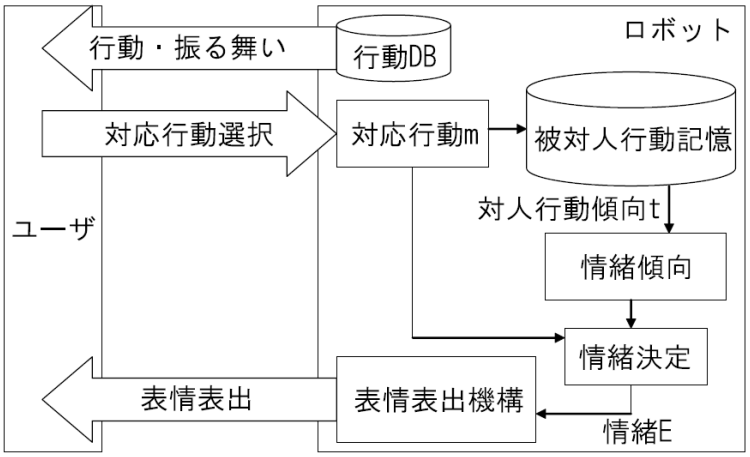


図 4.2: 小笠原らによるコミュニケーションモデル - ユーザの行動選択傾向に応じた感性ロボットの性格付与 [8]

4.1.3 先行研究における問題

しかしながら，小笠原らの手法は緩やかな性格形成を実現する一方で，以下に示す問題があり前章で議論した要件を満たさない．先行研究における問題点をまとめると，以下の 3 点である．

- 情動の欠如
- 対人情動が柔軟性に欠ける
- 確率的な対人情動遷移

人間における広い意味での情動とは，対人情動の他にも悲しみや喜びなど様々な情動が含まれる．情動が欠如していることは，ロボットが持ち得る情動の幅が狭まることになり，自然なコミュニケーションを阻害する．そもそも対人情動は悲しみや喜びなどの情動が，コミュニケーションの相手ごとに変化するという考えのもとで構築されている．従って，対人情動と情動は同時にモデル化されている必要がある．

対人情動が柔軟性に欠けているとは，対人情動が四種類で離散的に定義されており，それぞれの中間となるような対人情動の表現ができないことや，それぞれの対人情動の程度が一定となってしまう問題を生む．情動も同様の問題を生じる可能性があるため，対人情動・情動の両方ともをより柔軟に扱える手法で定義する必要がある．

そして確率的な対人情動遷移は，嫌なことをされても相手のことを嫌いになったりならなかったりするなど，不自然なコミュニケーションを引き起こす原因となる．特に既存システムでは，相手のことを嫌いにならない代わりに逆に好きになったりする可能性があるなど，より違和感をもたらす場合が考えられる．

4.2 C^2AT^2 HUB モデル

以上の問題点を踏まえて，我々は新しい C^2AT^2 HUB モデルを提案する．以下ではその詳細について述べる．

4.2.1　新しいコミュニケーションモデル

提案するコミュニケーションモデルを図 4.7 に示す．番号で示された矢印の順にモデルは動作し，同じ番号がついた矢印は同時に起こる作用を示す．

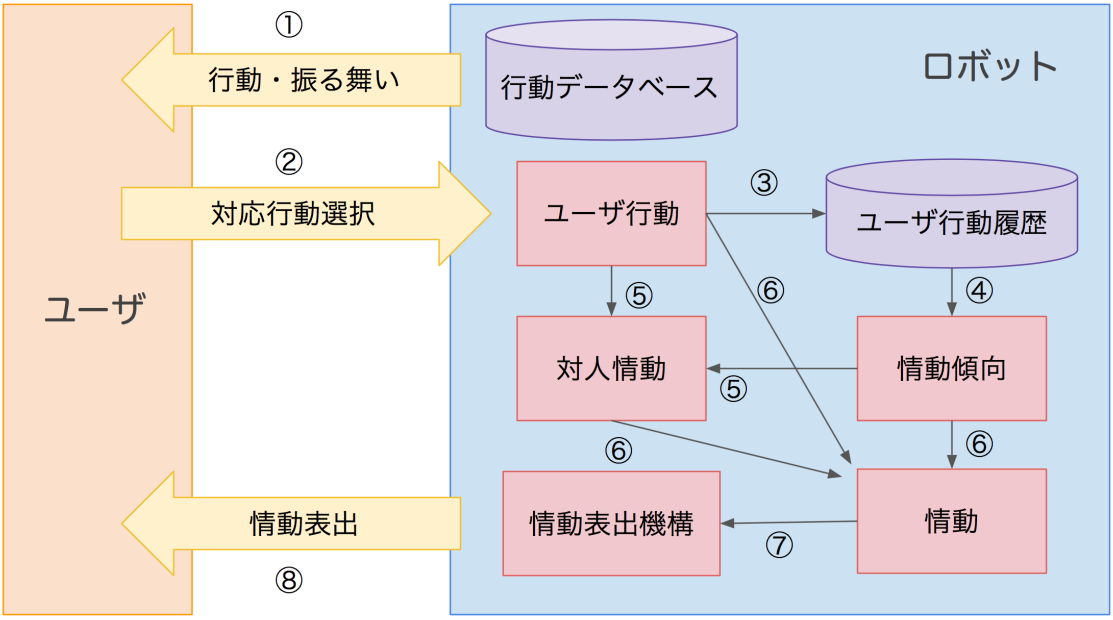


図 4.3: 提案コミュニケーションモデル

まず予め定義されているロボットの行動や振る舞いがデータベースから呼び出され，ユーザに対して実行される (①)．次にユーザはロボットの行動に対して応答し (②)，選択された行動はユーザ行動としてユーザ行動履歴に保存される (③)．ユーザ行動履歴をもとに情動傾向が更新され (④)，新しい情動傾向を基にしてユーザ行動から対人情動の計算がなされる (⑤)．そして，情動傾向と対人情動，ユーザ行動の 3 要素からロボットの情動が決定し (⑥)，情動は情動表出機構に渡される (⑦)．情動表出機構によってロボットの情動表現が行われ (⑧)，ユーザはロボットに対して行った行動の反応を見ることになる．以上の流れを繰り返すことで，ロボットとユーザとのコミュニケーションがなされる．

本モデルでは既存モデルを踏襲し，ユーザ行動を記憶する機構を組み込み情動傾向を変化させることで，性格形成を行う．既存モデルと異なる点は，対人情動と情動の概念を取り入れ，情動の判定を対人情動とユーザ行動履歴から行うことである．また，対人情動そのものもユーザ行動履歴から影響を受け，傾向を持つことになる．従って，人を好きになりやすいロボットや自分が優位だと思いやすいロボットなどを表現可能である．

本モデルは，必ずしも Symonds の養育態度尺度通りの性格形成を目指していない．養育態度尺度はあくまでも人間の子供に見られる傾向であり，ロボットにおける長期的な性格形成が尺度通りに行われなければならない理由はない．従って，養育態度尺度における対人行動を用いはするが，それによって生じる子供の傾向をロボットに反映させることを目的とはしない．

4.2.2　情動と対人情動

情動と対人情動の関係性については前章で述べた通りである．本節では，情動と対人情動のモデルについて議論する．

離散的であっても，情動の粒度を細かく定義すれば十分柔軟な情動表現が可能だと考えることはできるが，理想的には情動と対人情動はともに連続的に定義されるべきである．ここでは，対人心理学の知見を活かしやすいという点で Russell の円環モデル [9] を情動の定義として，斎藤による対人情動の円環図式 [10] を対人情動として用いることとする．

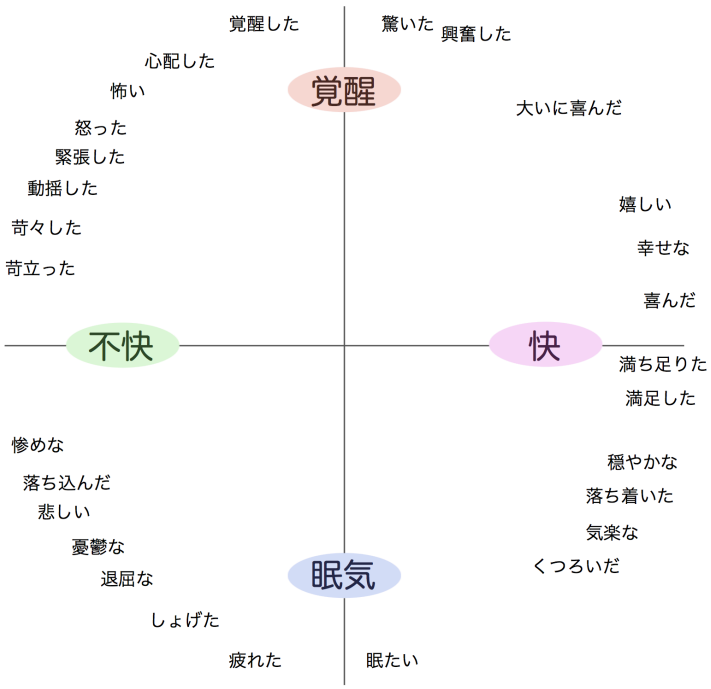


図 4.4: Russell の円環モデル - The Circumplex Model of Affect: An Integrative Approach to Affective Neuroscience, Cognitive Development, and Psychopathology[9]

図 4.4 に示した Russell の円環モデルでは，快-不快の x 軸と覚醒度の y 軸によって表された 2 次元平面上に情動を配置している．この概念により，2 次元平面で連続的な情動を扱うことができる．この平面上では，原点から任意の座標までの方向が情動の種類を，原点からその座標までの距離がその情動の程度を示している．情動はこの平面上の 1 点における座標で示されるため，複数の情動が入り混じった複雑な情動を表現することはできないという制約はあるが，情動を連続的に扱うという要件は満たす．

斎藤の対人情動の円環図式を図 4.5 に示す．この図式では，好感度を示す x 軸と優越感の度合いを示す y 軸によって二次元平面上に対人情動が定義されている．二軸の組み合わせによって，慈愛，尊敬，軽蔑，恐怖の対人情動も示されており，合計八つの対人情動に大きく分けられるとしている．Russell の円環モデルによる情動定義と同様，対人情動も 2 次元平面上で扱うことができるため，ロボットのユーザごとの好感度の違いなどが表現可能である．

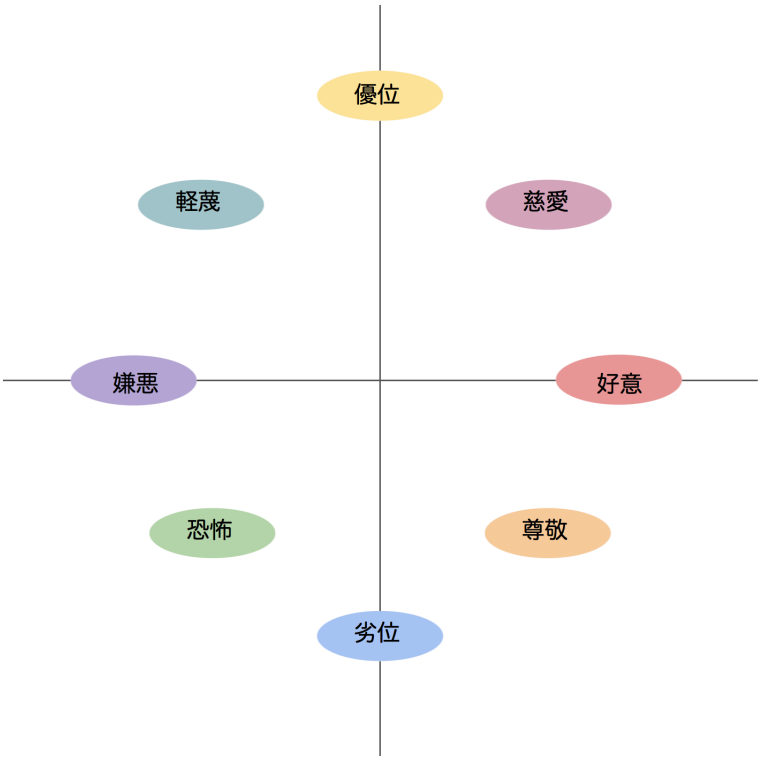
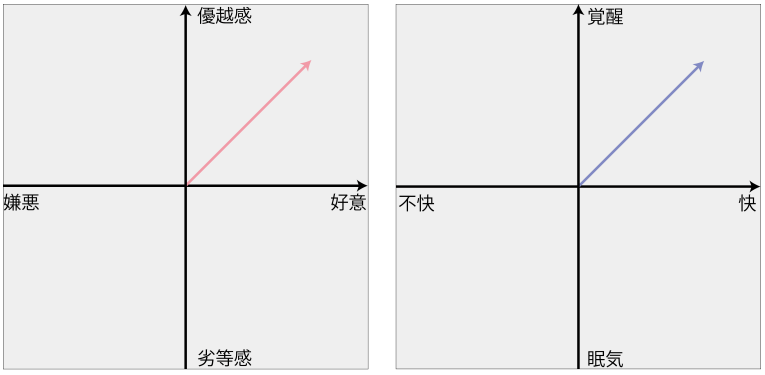


図 4.5: 対人情動の円環図式 - 対人感情の心理学 [10]

4.2.3 まとめ



対人情動ベクトル　　情動ベクトル

図 4.6: 対人情動ベクトルと情動ベクトル

以上 2 つのモデルを用いて表現されるのが，図 4.6 にある 2 つのベクトルである．どちらも 2 次元ベクトルであるため見た目が非常に似ているが，それぞれの軸や概念が全くことなることに注意が必要である．

我々の提案モデルでは，ユーザ行動は Symonds 尺度にある四つの行動態度に分類される．ユーザ行動に

よって対人情動ベクトルが変化し，その後，ユーザ行動と対人情動ベクトルの内容から情動ベクトルを算出する．各ベクトルを算出する際には，それまでのユーザ行動の履歴によってベクトルの評価関数を調整することで情動に傾向を持たせることができる．この情動傾向によって，長期的なロボットの性格形成を行なっていく．具体的な計算方法については，次節で述べる．

4.3　モデルの詳細

本節では上述した情動と対人情動が具体的にどう計算され，また情動傾向をどのように持たせるのかというモデルの詳細について述べる．

4.3.1　概要

まず，上述したコミュニケーションモデルを実現するシステム構成を図 4.7 に示す．

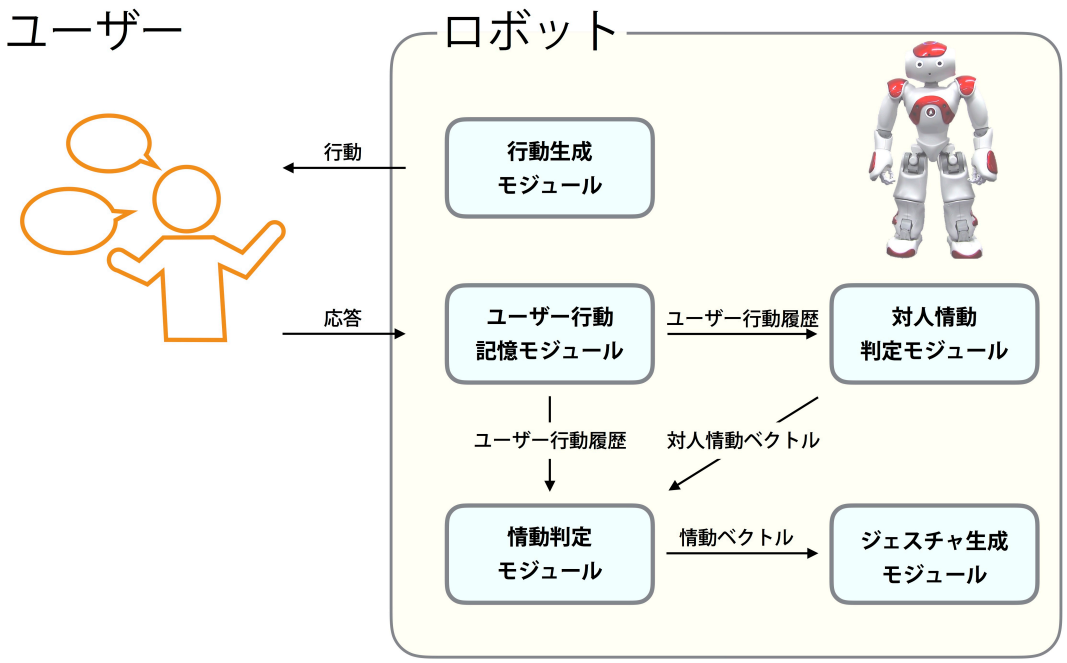


図 4.7: システム構成図

システムの流れとして，最初に行動生成モジュールによってロボットからユーザに対する行動が生成される．ここでは，ロボットとは別に用意するディスプレイ上にテキストによって予め設定されたロボットの行動が表示される．ロボット行動は，人間の子供のように振る舞うコミュニケーションロボットを想定して作る．ユーザからの入力としては，ディスプレイ上に表示されたロボットの行動に対するユーザの反応が四択で用意されており，各選択肢は Symonds 尺度における対人行動，すなわち支配，服従，保護，拒否のそれぞれに対応している．

4 つの反応のうち一つのみが選択でき，選択された行動に従って，対人情動計算モジュール内の対人情動ベ

クトルが変化する．対人情動計算モジュールには予め，先ほど選択されたユーザ行動を含めた過去 n 回のユーザの対人行動履歴が渡されている．対人行動履歴に従って対人情動ベクトルを計算すると，対人情動ベクトルの値が情動計算モジュールに渡される．

情動計算モジュール内では，対人情動ベクトルの値と先ほど選択されたユーザ行動の値から情動ベクトルの計算を行う．この計算の際，対人行動履歴によって情動ベクトル計算に調整を加える．情動ベクトルの値はジェスチャモジュールに渡され，ジェスチャモジュールは情動ベクトルの値に基づいてロボットのジェスチャを生成する．

4.3.2 対人情動モデル

対人情動計算モジュールでは，ユーザの行動履歴を加味して，最新のユーザ行動から対人情動ベクトルを算出する．基本的な考え方としては，小笠原らによって示された表 4.1 と同じであり，支配-服従の行動は対人情動ベクトルの y 軸に影響し，保護-拒否の行動は x 軸に影響を与える．

更にここにユーザ行動履歴による対人情動遷移傾向を持たせるため，例えば支配を多く受けたロボットは支配以外の行動を受けても y 軸が負の方向に傾きやすくなるといった処理を施す．以下に，支配を受けた場合と拒否を受けた場合それぞれの対人情動ベクトルの算出式を示す．

支配行動を受けた場合：

$$x = x + (c_p \times b_3 - c_n \times b_3)/c_m \tag{4.1}$$
$$y = -a + (-b_1 \times c_d + b_1 \times c_s - b_2 \times c_n + b_2 \times c_p)/c_m \tag{4.2}$$

拒否行動を受けた場合：

$$x = -a + (-b_2 \times c_d + b_2 \times c_s - b_1 \times c_n + b_1 \times c_p)/c_m \tag{4.3}$$
$$y = y + (c_p \times b_3 - c_n \times b_3)/c_m \tag{4.4}$$

ここで，a は対人情動における基準値である．基準値 a は y 軸に影響のある行動を受けた場合には y 成分を算出する場合のみに，x 軸に影響のある行動を受けた場合には x 成分を算出する場合のみに用いられる．これは，例えば支配行動を受けた場合には a の分だけ相手に対して劣位の対人情動を受けるということを意味しており，それにユーザ行動履歴による加算と減算が加わることで，相手に対する劣位の持ちようが変わってくることになる．c_d，c_s，c_p，c_n はそれぞれ，ユーザ行動履歴内の支配行動，服従行動，保護行動，拒否行動の回数である．また，c_m はロボットが記憶できるユーザ行動履歴の最大数を示す．b_1，b_2，b_3 はユーザ行動履歴内の各行動回数によって算出される加算・減算値の基準値であり，これをユーザ行動履歴の最大数で除することで，次第にロボットの性格が形成されていくようになる．

また，例えば支配行動のように y 軸に影響する行動でも，対人情動ベクトルの x 軸に影響を持つ式になっている．これは，対人行動が 1 つの軸にのみ影響を及ぼすわけではないという考え方に基づいている [10].

見ての通り，例えば 4.1 式において c_p と c_n による加算・減算値の基準値は共に b_3 であり共通している．そのため，ユーザ行動履歴において重要となるのは保護-拒否のように対になっている行動の差分である．

本研究においては，基準値 a を 2/10，ユーザ行動履歴の最大値 c_m を 30，b_1，b_2，b_3 をそれぞれ 8/10，3/10，3/10 とした．これらの数値は動作検証の結果から，暫定的に定めたものである．

4.3.3 情動モデル

情動ベクトルの計算は，特定の対人情動下で任意の対人行動を受けた場合に抱く情動についてアンケートを行った斎藤のデータ [10] から式を求めた．斎藤のデータを表 4.2 と表 4.3 に示す．このデータは斎藤の研究 [10] によるもので，特定の対人情動を持っている人物からある対人行動を受けた際に感じると思われる情動を，選択肢の中から選ぶというアンケート結果である．各情動に対し，その情動を抱くと思われる場合にはその度合いを 1 から 3 の整数で選択する．データにあるのはそのスコアの平均値が最も高かった情動群であり，便宜上 100 点満点のスコアに直して表示している．

注意すべきなのは，対人情動と情動の関係は，当事者が男性か女性かと，相手として想定する相手が同性か異性かによって大きく異なるという点である．斎藤は男性と女性の場合において同性と異性の組み合わせで計四種類のデータを集計しているが，本研究では対象がロボットであり，男性の同性から対人行動を受けた場合のデータを参照することにした．

データには，Russell の円環モデルで扱うことができない「なじみ」や「くやしさ」といった情動が含まれているが，これらの情動は便宜上無視するか似ていると思われる Russell の円環モデル上の別の情動で置き換えた．具体例を挙げると，「なじみ」，「くやしさ」，「屈辱感」などの対人情動を考慮しないものとした．「好感」を「幸せな」に，「イライラ」を「苛々した」などに置き換えた．また，このデータにおける親和的行動を本研究における保護的行動と同じものとして扱う．

例として，保護的行動を受けた際の情動ベクトル計算式について述べる．式を算出する際の考慮事項として，まず「煙たさ」や「馴染み」，「敬意」，「気兼ね」，「優越感」といった対人情動寄りの情動を削除した．また各情動に，便宜的に Russell の円環モデル上の配置における角度を正の x 軸から反時計回りでの角度として定義した．角度は表 5.10 の通りである．

この定義を用いて，更に各情動のデータ上の値を Russell の円環モデル上の原点からの距離として，各対人行動別に生じる情動遷移の平均値を求めると，図 4.8 が求められる．この図において，点は右から好意，尊敬，慈愛，劣位，優位，軽蔑，恐怖，嫌悪の感情下によるものである．この散布図には明らかに傾向が見られ，従って，ここに見られる情動遷移傾向をもとに，保護的な行動を受けた際の情動ベクトルの計算式が求められる．

保護的行動を受けた時の情動ベクトル計算

$$x = ((xMax - xMin) \times point + xMin) + a_1 \times x + (-b_2 \times c_d + b_2 \times c_s - b_1 \times c_n + b_1 \times c_p)/c_m \quad (4.5)$$

$$y = ((yMax - yMin) \times point + yMin) + a_2 \times y + (-b_1 \times c_d + b_1 \times c_s - b_2 \times c_n + b_2 \times c_p)/c_m \quad (4.6)$$

求められた式の，xMax，xMin，yMax，yMin はそれぞれ情動遷移の上限と下限を決定する.point は対人情動の評価ポイントであり，対人情動が好意に傾いているほど大きくなる．a_1，a_2 は直前の情動ベクトルをどの程度次の情動ベクトルに反映するかの基準値であり，b_1，b_2 それぞれをもととしてユーザ行動履歴による加算・減算を加えることで最終的な情動ベクトルの値を求める．c_m は対人情動ベクトルの算出式と同様，ユーザ行動履歴の最大数である．

動作検証を通じて，対人情動が嫌悪に傾いている時はより大きく値を怒りの方に振った方がロボットの情動が分かりやすいことがわかったので，実験システムでは対人情動の x 成分において閾値を設け，パラメータを調整した．また，各パラメータを定め，対人情動が十分好意に傾いている場合には，xMax は 1，xMin は 0.3，

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
好感	94.33	優越感	49.00	さびしさ	89.00	不満	64.33
喜び	83.33	なじみ	40.00	悲しみ	81.00	嫌悪	63.33
なじみ	82.33	誇り	35.67	不満	75.67	屈辱感	62.33
嬉しさ	81.00	満足感	35.67	失望	71.00	くやしさ	36.00
気安さ	70.00	好感	35.67	屈辱感	67.67	怒り	36.00

(a) 好意の対人情動下

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
けむたさ	47.67	けむたさ	40.00	嫌悪	72.33	嫌悪	82.33
気味悪さ	47.67	気味悪さ	40.00	憎悪	60.00	怒り	81.00
驚き	32.33	嫌悪	37.67	怒り	54.33	憎悪	77.67
嫌悪	26.67	優越感	32.33	屈辱感	52.33	くやしさ	76.67
イライラ	23.33	軽蔑	30.00	軽蔑	47.67	屈辱感	75.67

(b) 嫌悪の対人情動下

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
好感	69.00	優越感	54.33	不満	67.67	屈辱感	85.67
うれしさ	64.33	好感	50.00	くやしさ	65.67	不満	83.33
喜び	60.00	満足感	49.00	怒り	64.33	怒り	82.33
満足感	55.67	誇り	42.33	屈辱感	63.33	くやしさ	75.67
なじみ	52.33	うれしさ	41.00	嫌悪	62.33	嫌悪	74.33

(c) 優位の対人情動下

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
好感	75.67	優越感	36.67	不満	56.67	不満	47.67
喜び	67.67	驚き	35.67	屈辱感	51.00	屈辱感	44.33
うれしさ	66.67	満足感	32.33	嫌悪	49.00	怒り	40.00
満足感	56.67	喜び	32.33	くやしさ	47.67	嫌悪	37.67
敬意	55.67	うれしさ	31.00	さびしさ	41.00	くやしさ	36.67
		気兼ね	31.00				
		好感	31.00				

(d) 劣位の対人情動下

表 4.2: 特定の対人情動下における対人行動別の情動変化 1 - 対人感情の心理学 [10]

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
好感	90.00	驚き	42.33	不満	65.67	劣等感	37.67
嬉しさ	87.67	気兼ね	42.33	悔しさ	61.00	失望	31.00
喜び	83.33	嬉しさ	39.00	寂しさ	59.00	不満	30.00
敬意	81.00	満足感	33.33	失望	55.67	屈辱感	30.00
満足感	76.67	喜び	33.33	不安	54.33	悔しさ	26.67
		悲しみ	54.33	寂しさ	26.67		

(a) 尊敬の対人情動下

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
好感	82.33	優越感	45.67	寂しさ	70.00	屈辱感	67.67
馴染み	74.33	好感	42.33	悲しみ	66.67	不満	61.00
嬉しさ	72.33	気安さ	35.67	不満	63.33	怒り	61.00
喜び	70.00	嬉しさ	34.33	悔しさ	60.00	悔しさ	59.00
満足感	63.33	馴染み	34.33	失望	57.67	嫌悪	56.67
		怒り	57.67				
		嫌悪	57.67				

(b) 慈愛の対人情動下

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
煙たさ	33.33	優越感	45.67	嫌悪	67.67	嫌悪	86.67
気味悪さ	33.33	煙たさ	39.00	怒り	60.00	怒り	85.67
驚き	30.00	軽蔑	30.00	憎悪	60.00	憎悪	79.00
優越感	24.33	満足感	27.67	軽蔑	55.67	屈辱感	77.67
気兼ね	22.33	嫌悪	26.67	屈辱感	50.00	悔しさ	73.33
好感	22.33						

(c) 軽蔑の対人情動下

親和的行動		服従的行動		支配的行動		拒否的行動	
気味悪さ	63.33	気味悪さ	67.67	嫌悪	43.33	恐怖	69.00
驚き	46.67	不安	41.00	恐怖	35.67	嫌悪	62.33
不安	35.67	恐怖	40.00	憎悪	33.33	不満	57.67
煙たさ	34.33	驚き	37.67	不安	31.00	憎悪	56.67
恐怖	32.33	煙たさ	37.67	気味悪さ	31.00	怒り	55.67

(d) 恐怖の対人情動下

表 4.3: 特定の対人情動下における対人行動別の情動変化 2 - 対人感情の心理学 [10]

情動	角度
嬉しさ	30°
喜び	10°
好感	20°
気味悪さ	200°
驚き	85°
嫌悪	175°
イライラ	170°
満足感	355°
恐怖	110°
不安	100°

表 4.4: 情動の角度定義

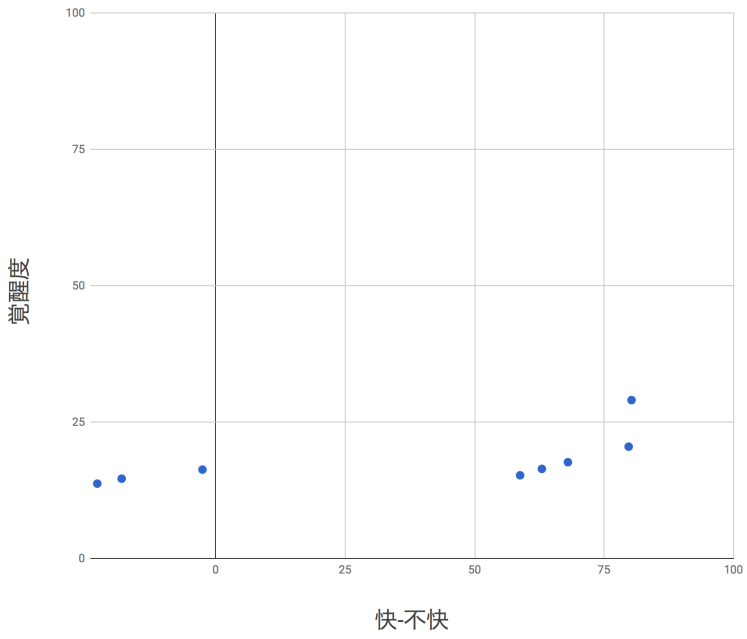


図 4.8: 保護的行動を受けた際に生じる情動遷移

yMax は-0.5，yMin は-0.2 とした．対人情動が嫌悪に傾き過ぎている場合には xMax は-0.7，xMin は-0.2，yMax は 0.7，yMin は 0.2 である．b_1 と b_2 の値は共通しており，それぞれ 5/10 と 3/10 である．

動作検証による調整の結果，参考としていたデータによるプロットと差異が生じる場合があるが，本研究で注目したいのは提案モデルによって性格形成がなされることであり，より正確に人間の情動遷移や性格形成を模倣，ないしシミュレートしたいわけではない．そのため，あくまでもデータによるプロットは式を組み立てる際の出発点に過ぎず，細かいパラメータ調整はデザイナーの手によって行われる必要がある点に注意が必要である．

4.3.4　情動表出

提案モデルによる，連続的に定義された情動を用いて情動表出を行うために，連続的な値を扱いやすいジェスチャによって情動表出を行う．具体的には，ジェスチャの速さや角度の大きさ，また動きと動きの間の時間などを情動ベクトルの値によって変化させることで，同じ基準ジェスチャをもとにして微妙に異なる表現を行う．

詳細については次章の実験システムについての記述で説明するが，本研究では基準ジェスチャを４種類用意した．情動ベクトル空間を第一象限から第四象限の４つに分割することで基準ジェスチャを選び，更にその空間の中の値によって基準ジェスチャを細かく変化させる．

4.4　まとめ

本章では小笠原らの既存手法について述べ，その問題点を克服する新しいモデルを提案した．更に，提案モデル上でのモジュールの実装について概説した．次章では本モデルを用いた実験システムの解説と，実験システムを用いた本モデルの評価実験の方法，結果，考察について述べる．

第 5 章

評価実験

本章では C^2AT^2 HUB モデルの評価実験と，その結果から考察を述べる．まず用いたロボットとシステムについて説明し，次に実験の内容について述べる．そして，結果について記述した後，考察を述べる．

5.1　実験システム

5.1.1　実験の前提

実験における設定では，被験者はロボットのユーザであり，被験者以外のユーザによってロボットが使用されることは無いとする．ロボットは個人向けのコミュニケーションロボットであり，被験者がそのロボットと初めてコミュニケーションを行う場面を想定する．

コミュニケーションロボットの機能としては，５歳前後の人間の子供のように考えたり遊んだりし，発話を行うことができることを想定する．子供のようなロボットであれば，Symonds 尺度による支配，服従，保護，拒否の４つの行動のいずれをユーザが選択するとしても自然であり，Symonds 尺度に従ったいずれの行動選択も極端に妨げられないと考えたからである．別の言い方をすれば，例えば大人のロボットを想定した場合，年齢の低い被験者は支配や拒否といった行動を選択しにくくなる恐れがあるが，子供のロボットであれば比較的支配や拒否といった行動も自然に選択することができると考えた．

また，動物や架空の生物など人間以外をモデルとしたロボットであるとすることも考えられるが，後述するロボット行動の幅が狭まると考えたため，人間をモデルとしたロボットである設定を用いた．

被験者にはロボットの性格が変化する機能やタイミングについて事前に知らせず，またロボットの挙動や被験者が取り得る行動の選択肢についても同様に事前通達は行わない．

5.1.2　システム画面

実験では，被験者にコミュニケーション用のデバイスを渡し，被験者はデバイス上に表示される GUI を通じてロボットに行動を起こす．デバイス上に表示されるコミュニケーション画面を図 5.1 に示す．

画面上部のテキストボックスにはロボットの動作や意図が表示されており，このシチュエーションに対するユーザの選択肢として四つの行動が下部の 1 ボタンで示されている．ロボットの動作や意図と，それに対するユーザの行動４つを合わせて 1 インタラクションと定義してあり，1 インタラクションには前章で定義した４つの対人行動，すなわち支配的，服従的，保護的，拒否的の行動が 1 つずつ含まれている．どの行動がどの対人情動に対応しているかは被験者に明示されない．

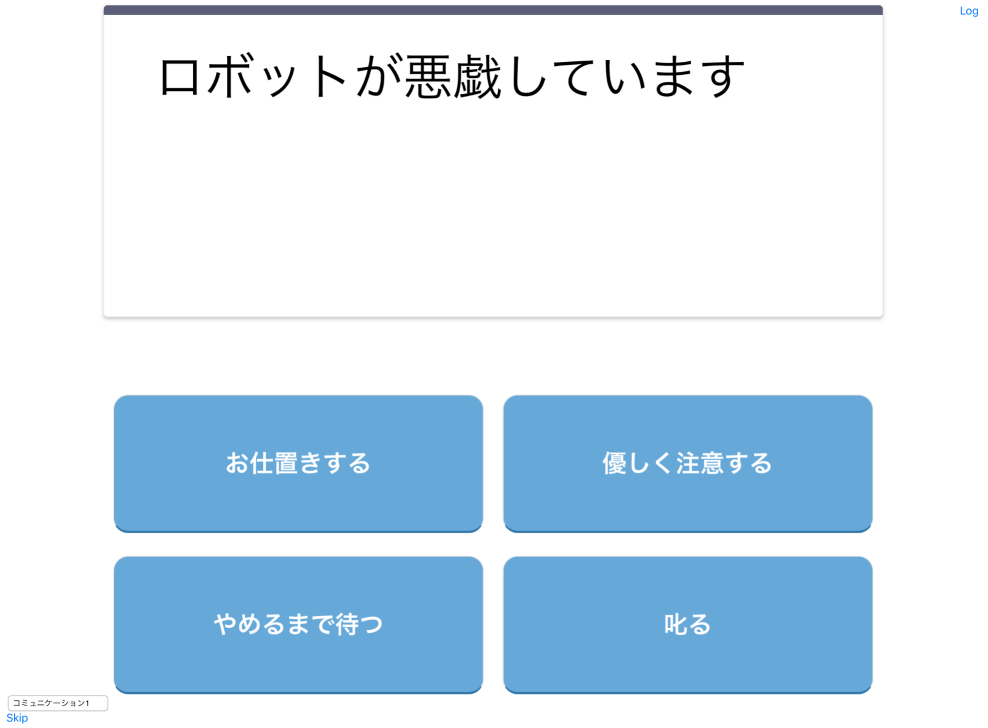


図 5.1: コミュニケーション画面

実験で用いるインタラクションとして 30 のパターンを用意した．表 5.1 に全パターンを示す．

ロボットとのコミュニケーションをこうした GUI を通じて行い，ユーザ行動の選択やロボット行動の表示をテキストベースで行うことには主に 3 つの理由がある．

第一に，自由な発話や行動によってユーザ行動を扱った場合，その行動をロボットに解釈させる機能を持たせることに大きなコストがかかってしまうからである．その機能を実装しない代わりに，実験者が被験者に分からないように裏でロボットを操作する Wizard of Oz 法を用いた場合でも，ユーザ行動を正確に Symonds の養育態度尺度によって分類することは，分類の統一した基準を設けることの難しさから困難である．従って，予めロボットの行動やそれに対するユーザ行動を定義しておく必要がある．

第二に，長期的なコミュニケーションを仮想的に短期間で行う必要があるからである．後述するように，実験では性格変化前のロボットと性格変化後のロボットそれぞれで印象調査を行ったり，ロボットを判別できるかを調査するため，長期的なコミュニケーションをそのまま実現しようとすると用意できる被験者数が著しく減少してしまう．従って，テキストを用いてコミュニケーションを行うことで，コミュニケーションにかかる時間を節約し，被験者数を確保する狙いがある．

そして第三に，ロボット行動のバリエーションを容易に増やすことができるからである．実際にロボットを動かしてシチュエーションを再現しようとすると，ロボットの動きの自由度や小道具の必要性などから，ロボットの行える動作が狭まる．コンピュータ画面上にバーチャルなエージェントを描写すればこうした制約からは解放されるが，そうした場合，物理的に存在するロボットとエージェントを結びつけることが難しくなる．物理的なロボットを排除し，画面上のエージェントのみで動作を描写した場合でも，結局は 1 つの動作に必要な時間が増大し，上で述べたことと同様にコミュニケーションにかかる時間が増大してしまうことが考え

られる．

従って，本実験においてはデバイス上の GUI に表示されたテキストをもとにロボットとコミュニケーションを行う方法を採用する．

コミュニケーション画面には他にも補助的な役割を持ったボタン等が表示されている．右上の Log ボタンはシステムログを表示するもので，エラーが起きた場合などに実験者が確認するために用いる．被験者には押させないように考慮してあるが，仮に押されたとしても実験内容に関する表示は一切出ない．左下には実験の進行度が表示されるテキストボックスがある他，その下の Skip ボタンは後述する判別実験の際，被験者の任意のタイミングで次の判別実験に移る場合に使用される．

シチュエーション	支配的行動	服従的行動	保護的行動	拒否的行動
ロボットがオモチャで遊んでいます	頭が良くなる遊びをさせる	好きに遊ばせる	一緒に遊んであげる	遊ぶのを禁止する
ロボットが勉強しています	ロボットが苦手な教科を勉強させる	好きに勉強させる	勉強を手伝う	勉強をやめさせる
ロボットが部屋を掃除しています	もっと丁寧に掃除させる	好きに掃除させる	代わりに掃除してあげる	掃除をやめさせる
ロボットの具合が悪そうです	自身で修理させる	ロボットの具合を見る	メンテナンスしてあげる	知らん振りをする
ロボットが遊びに行きたいようです	あなたが行きたい場所に連れて行く	ロボットが行きたいところへ行かせる	ロボットが行きたい場所に連れて行く	遊びに行かせない
ロボットが充電して欲しそうです	決まった量だけ充電する	ロボットの欲しい分だけ充電する	フル充電してあげる	充電を我慢させる
ロボットがアニメを見たがっています	ニュースを見せる	アニメを見せる	ロボットが好きなアニメの録画を見せる	何も見せない
ロボットがご飯を作ってくれるようです	あなたの好みで細かく注文する	好きに作らせてみる	料理を手伝う	自分で作る
ロボットが楽器を演奏しています	あなたが好きな曲を演奏させる	静かに聞く	上手だと褒める	演奏をやめさせる
ロボットがオモチャを買ってほしがっています	勉強を頑張るなどの条件付きで買う	とりあえず何が欲しいか聞く	無条件で買ってあげる	買い与えることはしない
ロボットがあなたの布団で眠っています	ロボットの布団で寝かせる	そのまま寝かせておく	寝やすいように布団を整えてあげる	起こして何か他のことをさせる
ロボットがあなたと喋りたがっています	あなたから話題を振る	ロボットの話を聞く	一緒に喋る	喋らないでおく
ロボットが悪戯しています	叱る	やめるまで待つ	優しく注意する	お仕置きする
ロボットが遊んで欲しそうです	あなたがしたい遊びをする	ロボットがしたい遊びをする	ロボットが飽きるまで遊んであげる	構ってあげない
ロボットが走り回っています	危ないからやめるように言う	特に注意しない	元気であることを褒める	うるさいからやめさせる
ロボットが泣いています	何故泣いているのか聞く	あやす	優しく慰める	泣くなと叱る
ロボットが寂しそうです	寂しくても我慢させる	どうしたのか聞く	遊んであげる	気付かないふりをする
ロボットが漫画を読んでいます	ためになる漫画を読ませる	見守る	一緒に読む	漫画を取り上げる
ロボットがテレビを見ています	あなたが見たい番組に変える	そのまま見させる	一緒に見る	テレビを消す
ロボットが絵を描いています	絵の指導をする	絵を描く様子を眺める	絵を褒める	別のことをさせる
ロボットが洗濯しています	他にも洗濯してもらう	偉いと褒める	洗濯を手伝う	あなたが自分で洗濯する
ロボットがゲームで遊んでいます	決まった時間だけ遊ばせる	好きなだけさせておく	一緒に遊んであげる	ゲームをやめさせる
ロボットがクリーニングして欲しいようです	まだそこまで汚れていないと言う	あとでしてあげる	今すぐしてあげる	クリーニングしてあげることはない
ロボットが新しいパーツを欲しがっています	今は我慢させる	パーツを与える	好きなだけ与える	与えることはしない
ロボットがウンチクを教えてくれるようです	ウンチクを聞かない	ウンチクを聞く	すごいと褒める	つまらなそうに聞く
ロボットがコップを割ってしまいました	説教する	叱って許す	全く叱らずに許す	怒る
ロボットが絵本を読んで欲しがっています	あなたが選んだ絵本を読んであげる	ロボットが選んだ絵本を読んであげる	ロボットが飽きるまで読んであげる	ロボットに読ませる
ロボットが自慢話をしています	片手間に聞く	じっくり聞く	すごいと褒める	そんなにすごくないと言う
ロボットが曲を流しています	あなたが好きな曲を流してもらう	曲を聞く	ロボットと一緒に曲を楽しむ	曲を止めてもらう
ロボットが歌っています	あなたが好きな歌を歌ってもらう	静かに聞く	上手だと褒める	今は聞きたくないと言う

表 5.1: インタラクション一覧

ユーザが 4 ボタンのいずれかを押す度にロボット内部の情動が変化し，その時の情動をロボットがジェスチャによって示す．また，次のインタラクションがランダムに読み込まれ，画面に表示される．

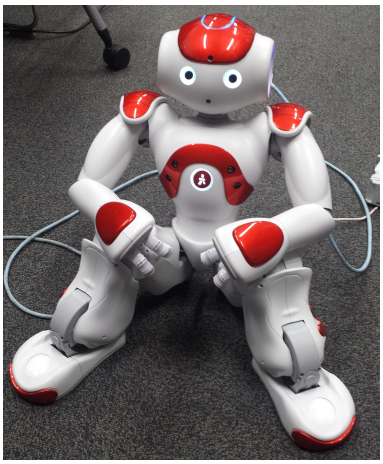
5.1.3 ロボット動作

実験には Softbank Robotics 社の Nao[56] を用いた．実験時にはロボットを図 5.2 中の a のように床に座らせる．ロボットは情動に応じて大きく分けて 4 つの動作を行うが，各四動作中でも情動の程度に応じて速さや角度の大きさといった点で微妙に異なる動作を行うことで，細かな情動を表現する．以下ではその詳細について述べる．

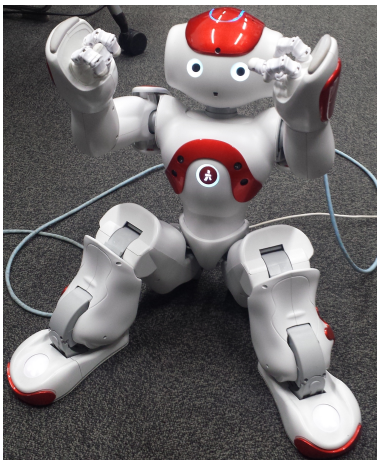
ロボットの情動が情動ベクトルにおける第一象限にあるとき ($x \geq 0 \cap y > 0$)，ロボットは図 5.2b にある喜びの動作を行う．この動作は腕を上に振り上げる動作であり，図 5.2b の状態が最も高く振り上げている状態である．振り上げたあと短い間その姿勢を維持し，再び図 5.2a の待機状態へと戻る．

情動ベクトルにおいて，第一象限は快と覚醒の状態であり，x 成分と y 成分の合計値が高まるほどより喜びの度合いが強く興奮していることを示している．従って，x 成分と y 成分との合計値が高まるほど速く，高く腕を振り上げるように設定した．また，振り上げた後に姿勢を維持する時間を合計値が高まるほど長く設定し，より喜びの印象が強まるようにした．

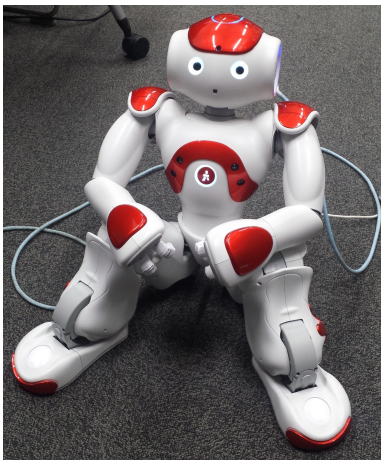
情動ベクトルが第二象限にあるとき ($x < 0 \cap y > 0$)，ロボットは怒りの状態であり図 5.2e の動作を行う．



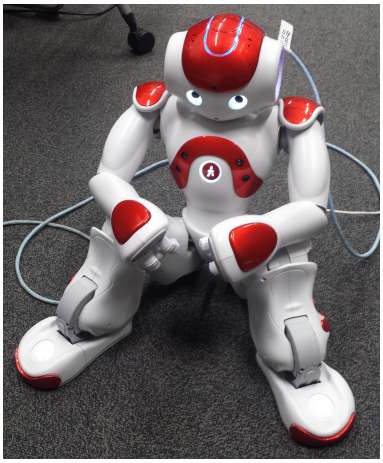
(a) 待機時



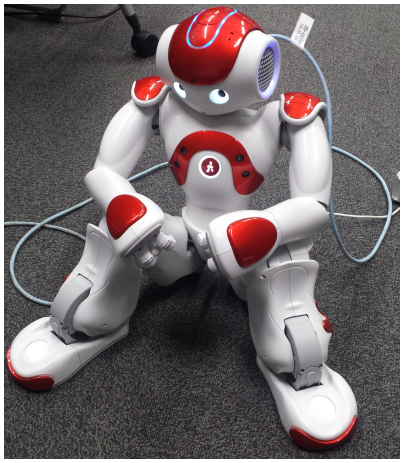
(b) 喜び



(c) 満足



(d) 悲しみ



(e) 怒り

図 5.2: ロボットの反応一覧

図からは悲しみの動作である図 5.2d との違いがわかりにくいが，怒りの動作ではロボットは俯いて首を横に二回振ることで不満を提示する．首を振ったあとは俯いたままの状態となる．

第二象限では x 成分が- 1 に近いほど不快の度合いが高く，y 成分が 1 に近いほど覚醒の度合いが高い．そのため，x 成分の絶対値と y 成分との合計値が高まるほど強い怒りを示すように動作を設計した．合計値が高いほど首を振る角度が大きくなり，首を振る速さも速くなる．

第三象限 $(x \leq 0 \cap y \leq 0)$ では悲しみを表す．動作としては，まず顔を被験者の方へ向けて上げ，その後短い時間のあと俯いて図 5.2d のようになることで落ち込んでいる様を示す．

情動ベクトルの上では，x 成分が小さく，y 成分も小さいときが最も深く悲しんでいる．従って，x 成分と y 成分の合計値が最も小さいとき，強い悲しみを示すためにロボットの俯く角度がより大きくなり，スピードもゆっくりになる．また，顔を上げてから俯くまでの時間が短くなる．

第四象限にあるとき $(x > 0 \cap y \leq 0)$，ロボットは満足感を覚えている．顔を上げ，二度頷くことで安心やリラックスしている様を表す．動作後は顔を上げたままになるため，図 5.2c のように図 5.2a の状態よりも少

し顎が持ち上がった状態となる．

細かい違いとしては，情動ベクトルの x 成分が 1 に近いほど，また y 成分の絶対値が 1 に近いほど強い満足感を示すように頷く速さと角度が大きくなるように設定してある．

5.2 実験方法

5.2.1 概要

提案システムとの比較対象としては，システムが類似している小笠原ら [8] の手法とし，以後これを既存システムあるいは既存手法と呼ぶ．実験の目的としては，本システムによってロボットとのコミュニケーションがより自然になるか，またロボットにより愛着が持てるようになるかを調査することである．また，ロボットに個性を持たせる手法についての知見を得るために，ロボットを判別する実験も合わせて行う．被験者は一人ずつ参加し，事前アンケートに答えた後，提案システムか既存システムのどちらかからランダムに実験を行い，その後同様の実験をもう一方のシステムを用いて行う． 1 実験あたりのフローを以下に示す．

決められた手順でロボットとコミュニケーション (性格固定)
↓
性格・印象評価のためのアンケート調査
↓
自由にロボットとコミュニケーション (性格形成)
↓
性格形成に関するアンケート調査
↓
決められた手順でロボットとコミュニケーション (性格固定)
↓
性格・印象評価のためのアンケート調査
↓
判別実験

表 5.2: 実験フロー

5.2.2 デフォルト状態でのコミュニケーション

まず，性格を形成する前のデフォルトの状態で性格を固定したまま 30 回コミュニケーションを行ってもらい，その状態での性格調査を行う．コミュニケーションの際は，被験者によって選択する行動に偏りが生じてしまい，性格が不平等に評価されないよう実験者側で規定を設ける．規定では，10 回は自由に行動を選択しても良いが，10 回は優しく接し，10 回は冷たく接することとした．この 10 回とは連続で行う回数であり，例えば 10 回優しく接している間は他の接し方を行ってはならない．どの順番で自由に，優しく，冷たくをそれぞれ実施するかは予めランダムに決定しておき，被験者に通達する．性格・印象調査のためのアンケート調査内容を表 5.3 に示す．

表 5.3 の項目はすべて 7 段階で評価する．項目のうち，外向性，知性，情緒安定性，協調性，勤勉性の五つ

外向性	知性
情緒安定性	協調性
勤勉性	親しみやすさ
有意性	自然さ
複雑さ	面白さ
好感度	飽きにくさ
人間らしさ	良し悪し
知性	愛着

表 5.3: 性格・印象調査のためのアンケート項目

は Big Five 理論 [46] におけるパーソナリティの次元である．その他は自然さや人間らしさ，愛着に関する項目を設けてある．

5.2.3 性格形成のためのコミュニケーション

アンケート調査の後，性格形成のために被験者はロボットと自由に 30 回コミュニケーションを行う．この際，被験者にはロボットの性格が変化していくことを明言しない．また，前回のコミュニケーション結果が影響しないようにロボットは完全にリセットされ，デフォルトの状態からコミュニケーションを行う．コミュニケーションが済んだら，被験者は性格形成に関するアンケートに回答する．アンケート内容を以下に示す．

表 5.4 の 2 項目はどちらも 7 段階評価であり，数値が大きいほど性格の変化を感じ，もしくは性格変化は自然だと感じている．

性格の変化を感じましたか
性格の変化は自然でしたか

表 5.4: 性格形成に関するアンケート項目

性格形成後は，被験者のコミュニケーションによって形成された性格を調査するため，初めと同じ手段でコミュニケーションを 30 回行ってもらう．このコミュニケーションにおいては性格は変更されず，また，自由に，優しく，冷たく，の制約も同じく設け，またその順番に関しても同じ順番を適用する．コミュニケーション後は，表 5.3 に示したアンケートにもう一度答えてもらう．

5.2.4 判別実験

その後，被験者によって形成された性格のロボットと他のロボットを見分けることができるかを調査するため，判別実験を行う．判別実験では，被験者によって形成された性格を含め，4 種類のロボットを用意してランダムな順番でコミュニケーションしてもらい，コミュニケーションが終わる度に判別に関するアンケートを実施する．1 回の判別においてはコミュニケーション回数を今までと同様 30 回とし，コミュニケーション方法は性格調査時と同様，自由に，優しく，冷たく接することをそれぞれ 10 回ずつ行う規約を設ける．自由に，優しく，冷たくの順番も変更しない．判別実験で用いる 4 種類のロボットについては後述するため，まずアン

ケートについて述べる．

アンケート項目は以下の表 5.5 に示す通り，yes/no クエスチョンや 7 段階の項目，自由記述などから成る．被験者は，自身のロボットであるか否かを判別できた時点でアンケートに答えることができる．まず被験者のロボットであるかを yes/no で答え，どの程度確信してそう答えるのかを 7 段階で答える．次に，判別するまでに要したコミュニケーション回数を記載し，最後に判別に至った理由を自由記述で回答する．判別できなかった場合は確信度を最も低い値とし，判別に至らなかった理由を記載することとした．30 回未満で判別できた場合には，後の回数分はコミュニケーション画面上の Skip ボタンによって省略することができる．

各ロボットは，判別実験開始時には性格形成が終わった段階と同じ情動・対人情動を持った状態となる．また，被験者には 4 回ロボットとコミュニケーションして判別を行ってもらうと伝えるが，その中に被験者のロボットが必ず 1 体含まれているとは明言しない．すなわち，被験者は全てのロボットに対し自分のロボットであると答えることもできるし，逆に全て違うと答えることもできる．

質問項目	回答方法
あなたのロボットですか	yes/no
どのくらい確信していますか	7 段階
何回目くらいで思いましたか	回数記述
何故そう思いましたか	自由記述

表 5.5: 判別に関するアンケート項目

5.2.5 判別実験における 4 種類のロボット

判別実験において用意される，以下の 4 種類のロボットについて説明する．各ロボットは，情動・対人情動については被験者によって性格形成された直後と同じパラメータを保持した状態でスタートする．各ロボットが異なるのはユーザ行動履歴であり，従ってそれぞれのロボットは異なった性格を保持している． 4 種類のロボットに含まれるランダムのロボットだけは，ユーザ行動履歴を持たない．

- ユーザのロボット: 被験者のロボット
- ランダムのロボット: ランダムに情動を変化させるロボット
- 類似したロボット: ユーザのロボットと近い性格を持ったロボット
- 異なるロボット: ユーザのロボットと大きく異なる性格をを持ったロボット

被験者のロボットは，性格形成後のロボットと同じユーザ行動履歴を持っている．従って，被験者がコミュニケーションしていたロボットと同じ反応を行う．ランダムなロボットはユーザ行動履歴をもたず，ランダムに情動が変化する特徴をもつ．情動がランダムに変化してしまうので，対人情動は意味を為さない．従って，システム上では対人情動は変化しないようになっている．

類似したロボットと異なるロボットについては，両方とも同じアルゴリズムによって生成する．前章で述べた通り，ユーザ行動履歴の及ぼす効果は，支配的-服従的のペアと保護的-拒否的のペアそれぞれの回数の差によって現れる．つまり，支配的が 7 回，服従的が 5 回の場合と支配的が 3 回，服従的が 1 回の場合にはこの履歴から生じる情動・対人情動に対する影響は等しい．従って，それぞれのペアにおける差を用いて図 5.3 に示すように，性格平面を描くことができる．

類似したロボットと異なるロボットでは，図 5.3 に示される距離 F を用いて原点方向に座標を移動し，小数点以下切り捨てで新たな性格を求めている．実験では，類似したロボットの距離 F を 10，異なるロボットの距離 F を 30 として算出した．元の性格が原点にある場合は，原点方向がなくなるので，特殊な例として 1/4 π ずつずらした 8 方向からランダムに選んだ．

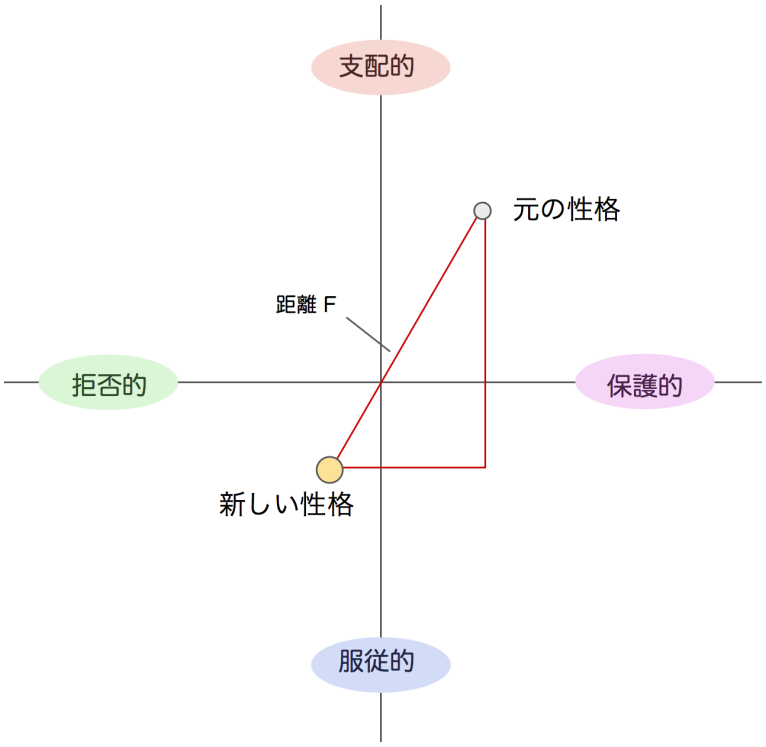


図 5.3: 性格平面における座標移動

性格平面における座標は支配的-服従的の回数の差と，保護的-拒否的の回数の差によって得られるため，座標によっては各行動選択回数が一意に定まらない．しかし，差が同じでさえあればシステム上は同じ性格になるので，新たな座標から新たなユーザ行動履歴を生成することで，新たな性格を実現している．

5.3 実験結果

5.3.1 被験者について

被験者は 17 歳から 50 歳の男女 20 人である．男女比は 11:9 であり，年齢の平均は 23.5，標準偏差は 8.53 であった．また，実験に際し普段ロボットに触れ合う機会があるかどうかを事前にチェックした．被験者の男女比と，ロボットとの触れ合いにおける人数比を表 5.6 に示す．また，実際の実験の様子を図 5.4 に示す．

性別	普段ロボットに触れ合う機会	人数
男性	有り	4
男性	無し	7
女性	有り	4
女性	無し	5

表 5.6: 被験者の人数比

図 5.4: 実験の様子

5.3.2　デフォルト状態での性格と印象

まず，デフォルト状態でのコミュニケーション結果について示す．性格と印象ごとに，平均値と標準偏差，最高値，そして最低値をまとめたものを既存システムと提案システムとで分け，それぞれ表 5.7a と表 5.7b に表す．また，平均値についてグラフで比較したものを図 5.5 に示す．

グラフからも明らかな通り，デフォルトの状態，つまりユーザの行動を記録していない状態の挙動では，性格と印象の全 16 項目のうち，実に 10 項目について既存システムの方が高い数値を示していることがわかる．我々の提案システムが高い数値を示しているのは性格における 5 指標，すなわち外向性，知性，情緒安定性，協調性，勤勉性のうちの外向性以外の 4 項目と，印象における知性，人間らしさの 2 項目である．

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
外向性	4.90	1.25	7	2
知性	4.25	1.33	7	2
情緒安定性	4.60	1.96	7	2
協調性	4.25	1.37	6	2
勤勉性	3.90	1.37	6	2
親しみやすさ	5.15	1.18	7	3
有意性	4.85	1.18	6	3
自然さ	5.25	1.02	7	3
複雑さ	3.75	1.52	6	2
面白さ	5.40	1.39	7	3
好感度	5.10	1.17	7	3
飽きにくさ	4.25	1.59	7	2
人間らしさ	4.30	1.53	6	2
良し悪し	4.90	1.21	7	3
知性	4.40	1.35	7	2
愛着を感じましたか	5.05	1.39	7	1

(a) 既存システム

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
外向性	4.15	1.73	7	1
知性	4.80	1.32	7	2
情緒安定性	4.75	1.74	7	2
協調性	4.55	1.43	6	1
勤勉性	4.35	1.31	6	2
親しみやすさ	4.50	1.99	7	1
有意性	4.70	1.38	7	2
自然さ	4.70	1.45	7	2
複雑さ	3.70	1.38	6	1
面白さ	4.20	1.51	6	1
好感度	4.55	1.64	7	1
飽きにくさ	3.95	1.57	6	1
人間らしさ	4.35	1.35	7	2
良し悪し	4.75	1.25	7	2
知性	4.50	1.19	6	3
愛着を感じましたか	4.85	1.50	6	1

(b) 提案システム

表 5.7: デフォルト状態での性格と印象

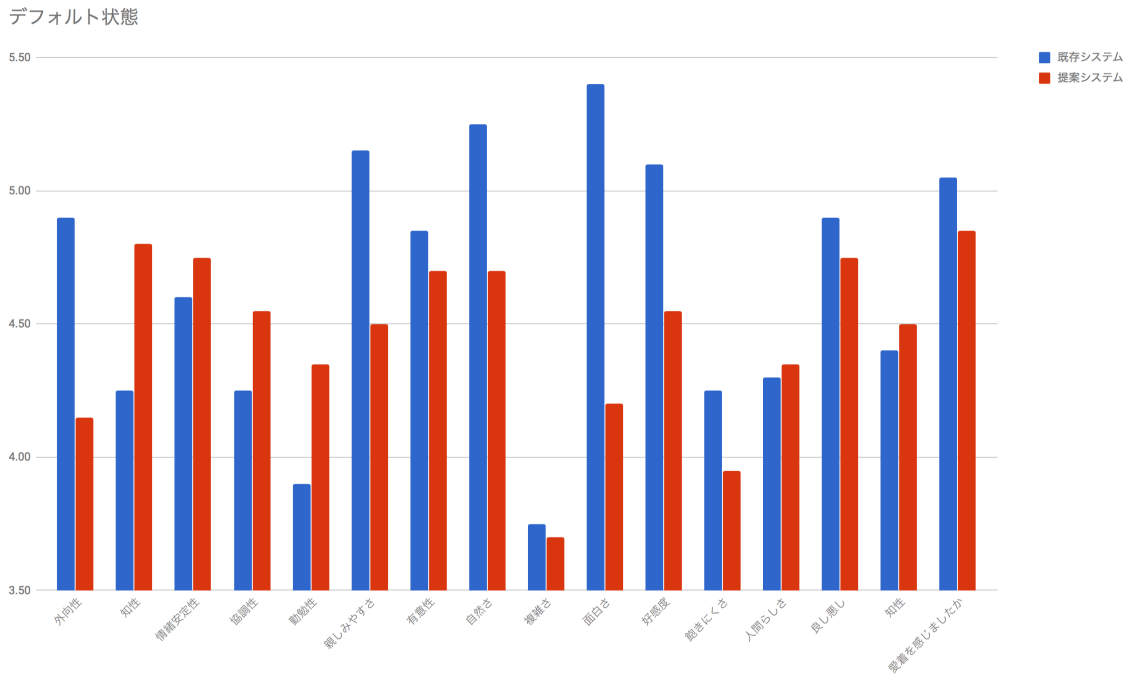


図 5.5: デフォルト状態での比較

5.3.3　性格変化についての評価

次に，ロボットの性格変化においての結果を示すと共に，性格変化後のコミュニケーション結果を示す．性格変化については表 5.8a と表 5.8b に，性格変化後の性格と印象については表 5.9a と表 5.9b に表示する．また，２者を比較したグラフを，図 5.6 に示す．

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
性格の変化を感じましたか	4.15	1.76	6	1
性格の変化は自然でしたか	4.20	1.32	7	2

(a) 既存システム

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
性格の変化を感じましたか	4.75	1.77	7	1
性格の変化は自然でしたか	4.55	1.23	6	2

(b) 提案システム

表 5.8: 性格変化についてのアンケート調査結果

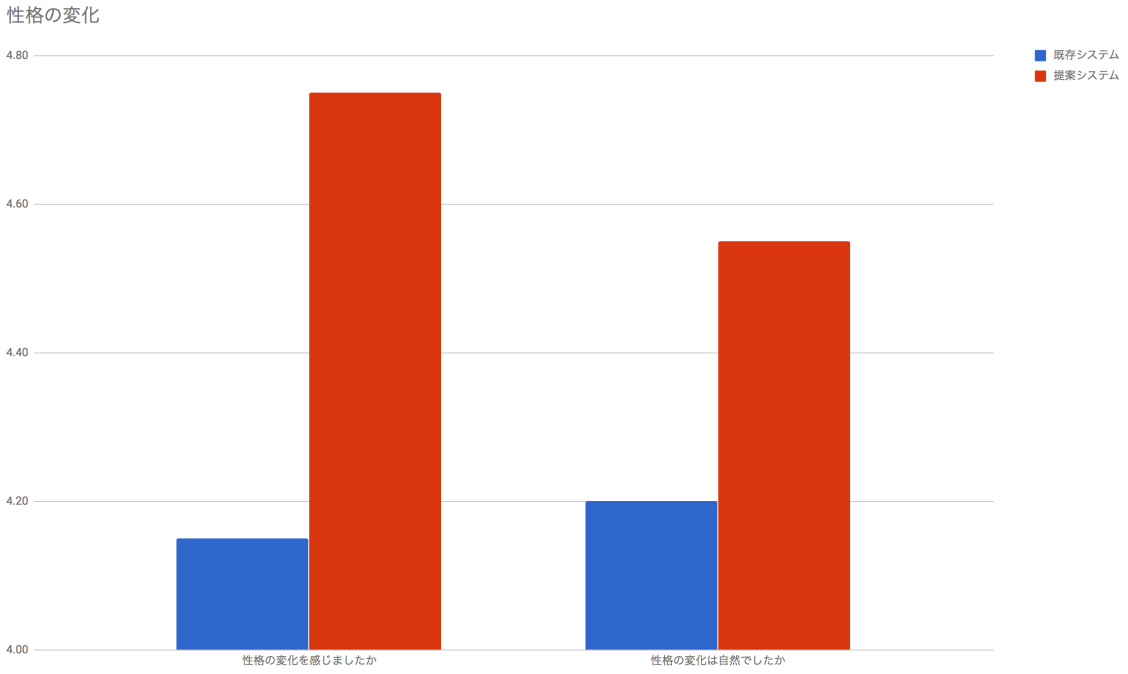


図 5.6: 性格変化における比較

性格の変化については，被験者が性格の変化そのものに気付くことと，性格変化が自然に行われることの両方において提案手法が上回った．また，性格の変化後は，16 項目中の 12 項目について，提案手法の方が高い結果を残した．性格の変化前の比較と比べ，性格の五指標のみならず印象項目の多くで改善が認められた．特に顕著な伸びを見せたのは「有意性」や「面白さ」,「好感度」といった項目である．自由記述のコメントの中には，「反応が小さいロボットも，小さい中で喜怒哀楽を表現するような引っ込み思案みたいな性格のロボットがいるのも面白い」といった感想があり，動作の細かい違いが豊かなロボットの性格表現を生み出し，優位性や面白さに繋がっていると思われる．

反面，勤勉性や複雑さといった項目では既存システムが上回る結果となった．

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
外向性	4.35	1.57	7	1
知性	4.45	1.64	7	1
情緒安定性	3.85	1.63	6	1
協調性	3.80	1.67	7	1
勤勉性	4.55	1.28	7	2
親しみやすさ	4.30	1.81	7	1
有意性	4.75	1.12	7	2
自然さ	4.75	0.97	6	3
複雑さ	4.40	1.39	7	2
面白さ	3.95	1.39	6	1
好感度	4.30	1.63	7	1
飽きにくさ	4.40	1.50	6	1
人間らしさ	4.80	1.51	7	1
良し悪し	4.60	1.23	7	2
知性	4.95	1.05	7	2
愛着を感じましたか	4.60	1.50	6	1

(a) 既存システム

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
外向性	4.65	1.69	7	2
知性	4.65	1.53	7	2
情緒安定性	3.85	1.53	7	1
協調性	4.40	1.50	6	1
勤勉性	4.15	1.60	7	1
親しみやすさ	4.75	1.68	7	1
有意性	5.30	1.08	7	3
自然さ	5.00	1.41	7	2
複雑さ	4.15	1.57	7	2
面白さ	4.90	1.37	7	2
好感度	5.00	1.59	7	1
飽きにくさ	4.70	1.38	7	2
人間らしさ	5.05	1.36	7	3
良し悪し	4.95	1.00	6	3
知性	4.70	1.26	7	3
愛着を感じましたか	4.80	1.64	7	1

(b) 提案システム

表 5.9: 性格変化後の性格と印象

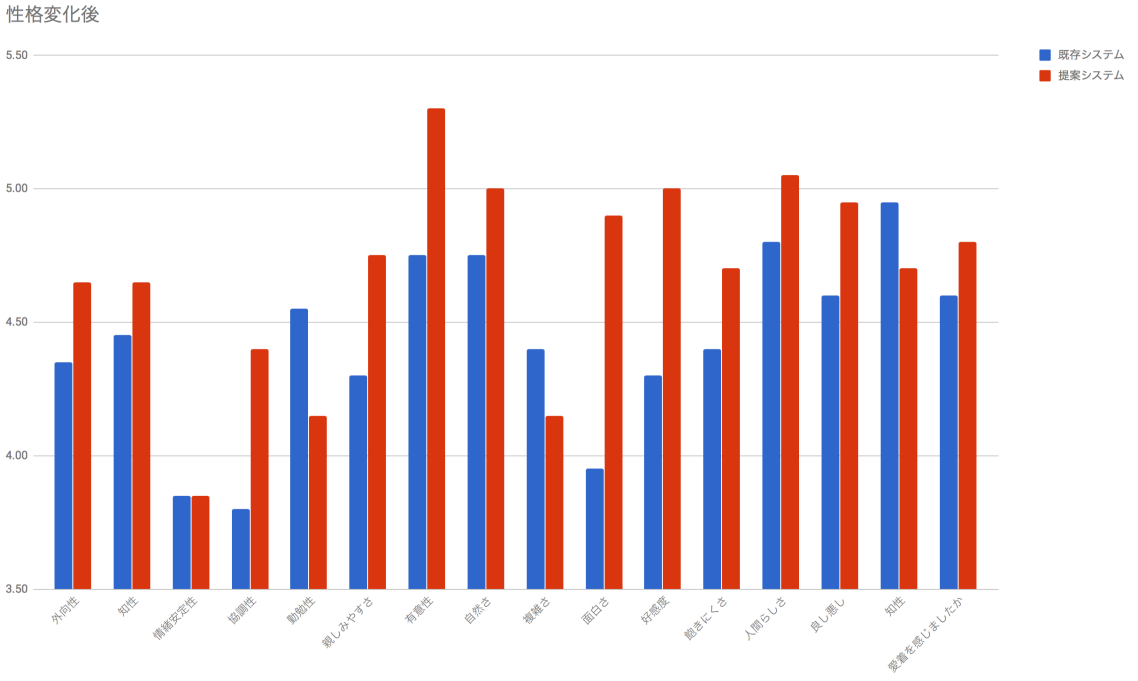


図 5.7: 性格変化後での比較

5.3.4　判別実験結果

最後に，判別実験の結果を示す．まず既存システムと提案システムそれぞれにおける，全体での判別の正答率，回答にかかったコミュニケーション数，そして確信度についてのデータを示す．その後，判別実験における 4 種類のロボット別の正答率，コミュニケーション数，確信度を示す．

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
正答率 (%)	61.3	22.2	100	25
コミュニケーション数	15.6	9.75	30	1
確信度	5.00	1.62	7	1

(a) 既存システム

項目	平均	標準偏差	最高値	最低値
正答率 (%)	67.5	24.5	100	25
コミュニケーション数	16.2	9.52	30	1
確信度	5.00	1.68	7	1

(b) 提案システム

表 5.10: 判別実験結果

種類	ユーザ	類似	異なる	ランダム
平均正答率 (%)	0.40	0.45	0.80	0.80
平均コミュニケーション数	20.10	19.55	10.90	11.65
平均確信度	4.50	4.30	5.60	5.60

(a) 既存システム

種類	ユーザ	類似	異なる	ランダム
平均正答率 (%)	0.50	0.55	0.75	0.90
平均コミュニケーション数	19.30	19.65	14.60	11.40
平均確信度	4.80	4.50	5.05	5.65

(b) 提案システム

表 5.11: ロボット種類別の判別実験結果

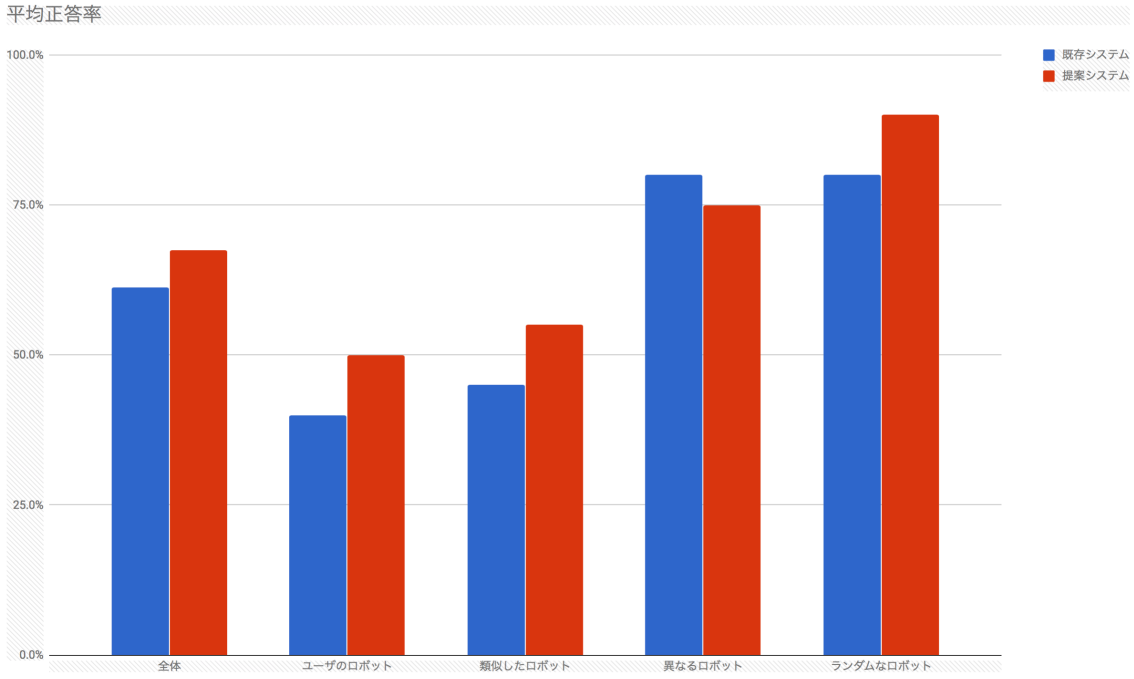


図 5.8: 平均正答率の比較

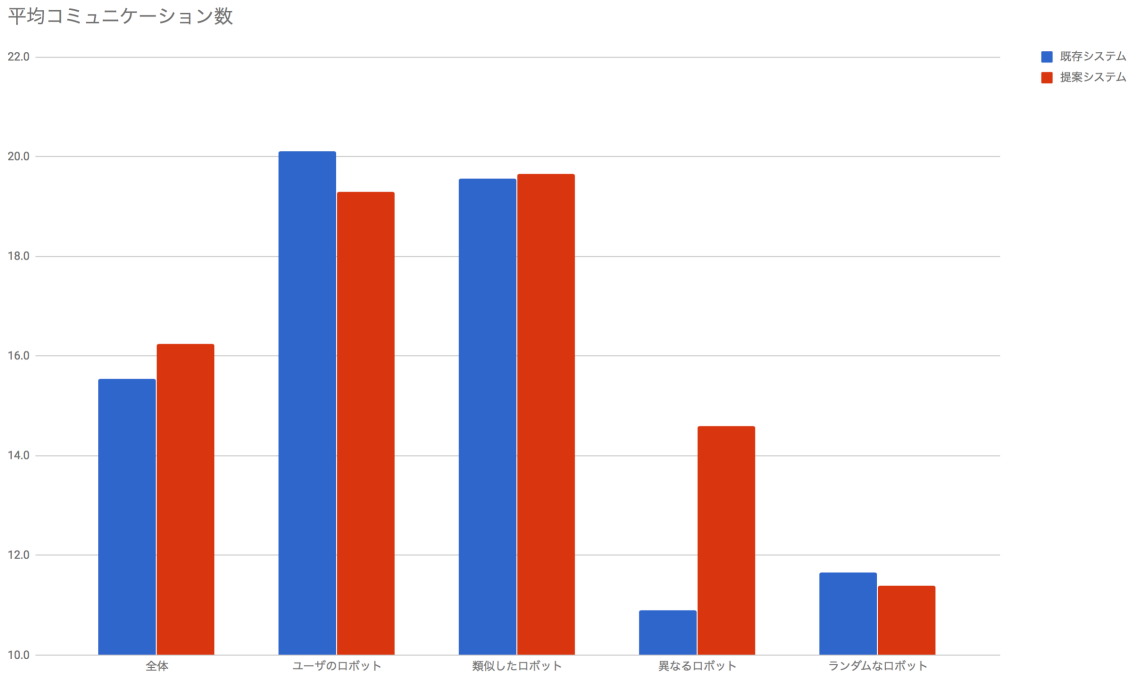


図 5.9: 平均コミュニケーション数の比較

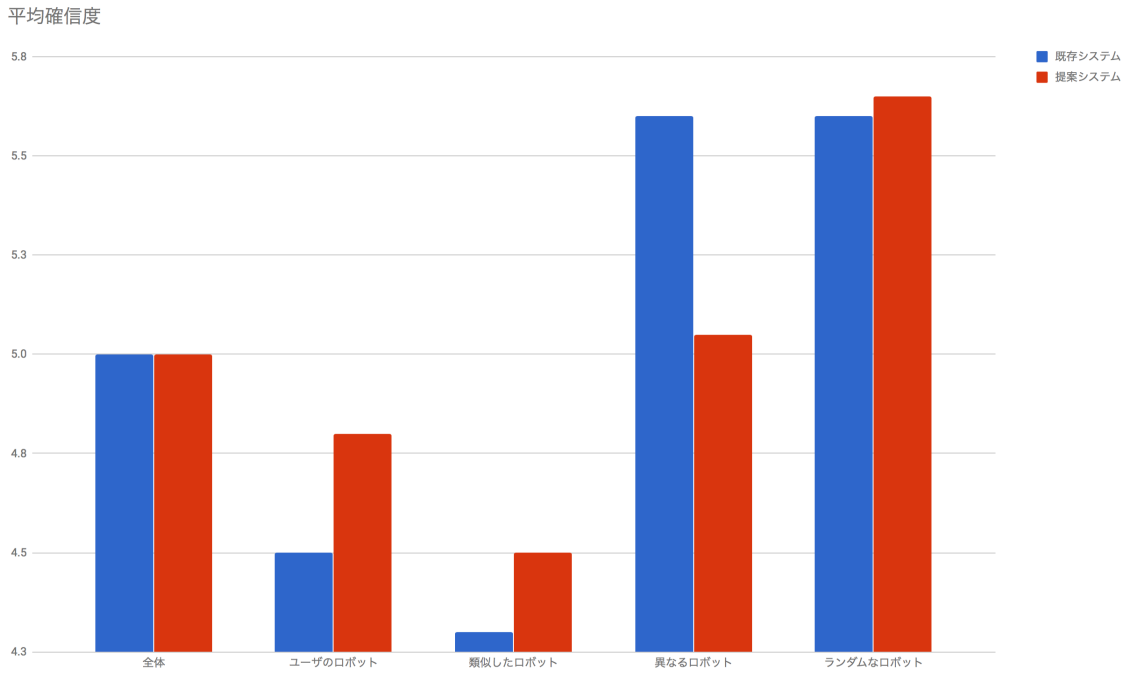


図 5.10: 平均確信度の比較

表 5.10a と表 5.10b は，それぞれ既存システムと提案システムの全体としての正答率，コミュニケーション数，確信度を示している．確信度については変化が見られなかったが，正答率が上昇すると共に，コミュニケーション数がわずかに上がっている．コミュニケーション数の標準偏差が高い値を示しているのは，判別の得意な人とそうでない人で大きく差が開くためである．表 5.10a，5.10b に示したとおり，正答できているかどうかは別として，少ない人ではわずか 1 回でロボットを判別している一方で，慎重な人や判別に自信がもてない人は上限の 30 回を目一杯使っている．

図 5.8，5.9，5.10 はそれぞれ，前述のデータに加えて判別実験時の 4 種類のロボット別のデータも比較したグラフである．まず図 5.8 に示した正答率では，全体としては正答率が上がっているものの，異なるロボットのみ提案システムの方が正答率が低い．この，異なるロボットにおける特徴は，コミュニケーション数や確信度にも同様に表れている．例えば，図 5.9 に示したコミュニケーション数では，異なるロボットだけが顕著に差を示している．また，図 5.10 の確信度においては，異なるロボットのみが既存システムよりも低い値となっている．

5.4 考察

5.4.1 性格と印象

性格変化が起こる前のデフォルトの状態では，提案手法よりも既存手法の方がユーザに良い印象を与えている．このことから，デフォルトの状態における提案システムの印象改善効果はあまり見込めないと言える．ユーザが各行動をバランス良く選択した場合，ロボットの内部的にはユーザ行動が記憶されていても，システム上はデフォルトの状態が維持されてしまうため，ユーザの行動選択傾向によっては，ロボットの印象を損ねてしまう恐れがある．

しかし一方で，性格変化後のアンケートでは印象が良くなった．被験者によって作られたロボットの性格は，性格平面上では平均して服従に 4.06，保護に 7.45 であり，デフォルトに近い性格は少なかった．これらのことから，デフォルト状態で印象があまり良くない原因と考えられるのは，デフォルト状態でのパラメータ設定だと考えられる．しかしながら，本実験ではロボットの性格を網羅的に検証したわけではないため，デフォルト状態以外でも性格によっては印象が悪くなることも考えられる．

コメントの中には「ロボットの反応がわかりやすく，かつバリエーションが豊富でよかった」とあり，提案システムにおける微妙なジェスチャの違いが「有意性」や「人間らしさ」,「自然さ」,「面白さ」などの印象向上に繋がったと考えられる．微妙なジェスチャの違いを生み出しているのは連続的な情動定義であり，また「有意性」も向上していることから，提案手法において対人情動と情動を用いた情動遷移とジェスチャの結びつきが自然に成されていたと推察される．従って，提案手法における対人情動と情動のベクトルによる定義の有用性が示されたと言える．ただ,「反応がわかりやす」いことは「複雑さ」を減少させたとも考えられる．必ずしも複雑であることが意外性に繋がるわけではないが，意外性の低さは飽きやすさの原因となり得る．本実験では「飽きにくさ」が向上しているものの，より長期的なコミュニケーションを実践した場合,「複雑さ」の低さが飽きに繋がる懸念がある．

本研究の主要な目的である「愛着」の増加は確認できた.「愛着」は「外向性」や「協調性」,「親しみやすさ」とそれぞれ相関係数 0.70，0.73，0.83 の強い相関があり，これらの項目の向上によって愛着がもたらされた可能性がある．提案システムの性格変化後の性格調査では「情緒安定性」や「勤勉性」が低いが，これらも「愛着」との間に相関係数 0.46 と 0.56 ほどの相関が見られたため,「情緒安定性」と「勤勉性」の低さが「愛着」の増加を阻害した面もあろう．

性格変化については，提案手法の方が性格の変化がわかりやすく，また変化の度合いも自然だったとの結果を示している．性格変化前と後で性格や印象が変わっているのは明らかであり，提案手法によって「緩やかに変化する個性」が実現されていることは性格と印象の面から伺える．

5.4.2 判別の容易さ

全体の正答率は上がっているものの，異なるロボットを自分のロボットではないと確信することが難しくなったという結果になった．これは，ロボットがユーザ行動記憶に応じた情動傾向のみならず，内部的に対人情動を備えていることで，単純な応答のパターンとしてロボットの反応を予測しにくくなったためだろうと考えられる．つまり，既存システムであれば A という行動に対しては，それ以前の行動に関わらず B という反応をする確率が高いという予測をユーザができるのに対し，提案システムでは A より前に行った行動が対人情動としてロボットに反映され，B ではなく C や D といった反応を示す可能性が生まれるからである．「ずっ

と触れ合っていたら彼の挙動を汲み取ってあげることができるかもしれない」といったコメントに表れているように，対人情動を含めた情動モデルをユーザが認識するためには，比較的長い時間がかかると思われる．長い時間をかけ自分のロボットをよく知ることができれば，判別の困難さが軽減される可能性はある．

また，既存システムと提案システムの双方において，ユーザ自身のロボットと類似したロボットを見分けることが難しいことがわかる．見分けるのに必要なコミュニケーション数はこの２つが他の２つよりも倍ほど多く，確信度と正答率は共に低い．この事実は，１つとして性格の粒度の問題を示している．性格空間上で距離が近すぎると，実質として同じ性格に思えてしまう．これでは，多様な個性を実現することが難しい上に，ユーザが確信をもって自分のロボットを自身のロボットであると思えないという問題は，愛着の低下などにも繋がりかねない．コメントを抜粋すると，「動きだけで性格を判別するというのはとても難しく感じ」るとあり，また「普段の生活で人の性格を判別する際，動き以外の箇所も重視している」とあることから，解決策としては，ジェスチャ以外の因子によっても個性表現を行うことが考えられる．

こうした判別の難しさを踏まえると，性格や印象上は提案手法によって個性の現出が起こっていることが分かるが，ユーザがその個性について実感することはやや難しい可能性がある．しかしそれでも，全体の正答率が上がっていることを鑑みれば，提案手法によって性格付けが行われていると言え，判別実験の結果からも「緩やかに変化する個性」がもたらされていることが確認できた．

5.5　まとめ

本章では，実験の具体的な内容を述べ，実験の結果を示した上で，考察を行った．

第 6 章

結論

本章では，本研究のまとめと結論を述べ，今後の課題と展望について記す．

6.1　本研究のまとめ

コミュニケーションロボットの社会進出が加速し，家庭内を初めとして介護や医療など様々な場面でコミュニケーションロボットが同一空間内に複数台存在するようになる中で，ロボットにおける個性の欠落が問題として表面化しつつある．コミュニケーションロボットが偏在する状況では，別々のロボットに同じ個性が存在することがコミュニケーションにおいて違和感として表出し，ロボットの不自然さが増すことによって愛着の減少やコミュニケーションを軸とするサービスの質低下を招く恐れがある．

ロボットに個性を付与する研究には様々な事例があり，本論文ではそれらを Duncan による対人コミュニケーションのチャネル概念によって外面的な個性と内面的な個性に分類した．外面的な個性に比較して内面的な個性は，比較的長期のコミュニケーションによって理解されるものであり，よりロボットの個性に深みを感じられるという点でコミュニケーションロボットにおける個性付与においては内面的な要素に着目することが重要である．

しかしながら，既存の内面的な個性実現手法においては，情動と対人情動の概念と，個性が緩やかに変化する仕組みが欠けている．情動と対人情動の概念を用いて，コミュニケーション相手によって抱く情動を変化させることは対人コミュニケーションにおいて重要である．また，個性は発達心理学の考え方では一生をかけて変化し続けるものであり，ロボットの個性が固定されたままだと違和感や飽きを招く恐れがある．また，緩やかに変化できるよう個性を定義しない場合，ロボットの個性はデザイナによって予め複数用意されることになる．この状態でもしユーザがロボットの個性を変えたいと考えた場合，ロボットの個性が全く異なるものに突然変わってしまい，このことがロボットの不自然さや愛着低下を招く問題もある．

そこで本研究では，ロボットとのコミュニケーションをより自然にし，印象や愛着を向上させることを目標として，ロボットに緩やかに性格を付与する手法である C^2AT^2 HUB を提案・実装した．本手法では情動と対人情動をそれぞれ二次元のベクトルで定義し，対人情動の値によって情動の遷移を変化させた．また，ユーザのロボットに対する行動の履歴から情動と対人情動の変化傾向を調整することで，緩やかに変化する個性の形成を行った．ロボットは自身の情動をジェスチャによって示し，ユーザはロボットの反応の連なりから個性を感じることができる．

評価実験では，性格変化前の状態では印象が改善しないものの，性格変化後には多くの項目で印象が改善し，より自然で愛着が持てるロボットが実現された．本手法においてロボットの性格変化はより自然に行わ

れ，結果として異なる性格を付与することができた．判別実験では，一部ではむしろ判別が困難になるケースも見られたが，全体的な正答率は向上し，性格付与によってロボットに個性を与えることができたと言える．以上から，本論文では，提案システムによって「緩やかに変化するロボットの個性」が実現され，ロボットとのコミュニケーションがより自然に感じられると共に，ロボットに対する愛着が増加されたと結論する．

6.2 今後の課題と展望

6.2.1 今後の課題

提案手法が抱えている問題点としては，デフォルトの状態でのパラメータ改善や，より愛着が増加することを目標とした情緒安定性や勤勉性といった項目の調査が求められる．また，ユーザのロボットをユーザ自身が確信をもって自分のロボットであると思えるような工夫を施し，より確実な個性の付与を行う必要がある．更に，より長期的にロボットと触れ合う中で，ユーザがどれほどロボットの心理モデルを理解し判別を行えるようになるのかや，長い付き合いの中で愛着がどう形成されていくのかを検証することも考えられる．

6.2.2 今後の展望

今後の展望としては，提案手法の改善として強化学習などを活用したユーザごとに合わせた性格形成を行うことや，ジェスチャ以外の様々な因子を組み合わせた感情表現，個性表現等，そしてより複雑な心理モデルの組み込みや，より自然な情動遷移の実現などが考えられる．

本研究によってその有用性が示された対人情動と情動の導入と「緩やかに変化する個性」は，これからのコミュニケーションロボットデザインで重要な要素となるだろう．コミュニケーションロボットはその相手によって別々の情動を抱くようになり，またロボットごとに抱く情動に傾向があることで，ロボットとのコミュニケーションがより自然になる．ロボットの個性は固定されたものではなくユーザとの関わりの中で変化していくため，ユーザが抱く，ロボットが自分に帰属しているのだという意識が高まり，愛着が増加する．

ロボットがより自然にコミュニケーションを行えるようになるためには，提案手法とロボットがもつ各種の認知機能を組み合わせることが必要であろう．例えば自然言語によってユーザからの意図をロボットが認知する機能をもつ場合，この意図を対人コミュニケーションにおける支配や服従などの対人行動として分類し性格形成に活用したり，情動遷移の計算に用いることになる．自然言語以外にも，ジェスチャ認識やコンテクスト把握など，他の機能と提案手法を組み合わせる場合には，ロボットに対する刺激をユーザ行動履歴として保存し，情動遷移を行えるよう機能を拡張することになる．ただし，その場合でも本論文で示した手法の根幹の部分である，対人情動と情動の計算やユーザ行動履歴による情動傾向の変化は利用可能であり，その意味で本手法は対人情動と情動を組み合わせた緩やかな性格形成の基礎を成す．

参考文献

[1] 2016 年に国内で開発されたサービスロボットの動向に関する調査結果を発表 — アスラテック株式会社.
https://www.asratec.co.jp/2016/11/10/9318/.

[2] Pepper, the humanoid robot from softbank robotics, a genuine companion — softbank robotics.
https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/pepper.

[3] 週刊 ロビ 2 — シリーズトップ.
https://deagostini.jp/rot/.

[4] Musio(ミュージオ), your curious new friend.
https://themusio.com/home.

[5] Palmi garden by fujisoft inc.
http://palmigarden.net/site/index.html.

[6] Aibo official site.
http://www.sony.jp/products/Consumer/aibo/index2.html.

[7] Percival Mallon Symonds. *The psychology of parent-child relationships*. The Century psychology series. Appleton-Century Co., 1939.

[8] 宏樹小笠原, 昇平加藤. ユーザの行動選択傾向に応じた感性ロボットの性格付与. 日本感性工学会論文誌, 2015.

[9] Posner, Jonathan, James A. Russell, and Bradley S. Peterson. The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. pp. 715–734, 2005.

[10] 斎藤勇. 対人感情の心理学. 誠信書房, 1990.

[11] 会話ロボット最先端！ palro(パルロ)【公式】 富士ソフト.
https://palro.jp/.

[12] パロ｜ロボット事業｜法人のお客さま（生活環境ソリューション）｜大和ハウス工業.
http://www.daiwahouse.co.jp/robot/paro/.

[13] 商品情報｜ ohanas（オハナス）｜オムニボット｜タカラトミー.
http://www.takaratomy.co.jp/products/omnibot/ohanas/.

[14] Spotlight 編集部. 「部品がなくても必ずやり切れる」修理期間が終了したアイボを救い続ける人達がいた- spotlight (スポットライト), Oct 2017.
http://spotlight-media.jp/article/304537096625076836.

[15] 作本佑輔, 阿久澤拓巳, 善教雅貴, 池田慶祐, 横沢和彦, 石川陽一, 富山健. 2p1-p11 ロボットサイズの違いによる印象の調査 : 感性表出プラットフォームロボット『kepro』小型モデルの開発 (コミュニケーション・

ロボット). ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol. 2013, pp. 2P1–P11(1)–2P1–P11(3), may 2013.

[16] Heeyoung Kim, S. S. Kwak, and Myungsuk Kim. Personality design of sociable robots by control of gesture design factors. In *RO-MAN 2008 - The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 494–499, Aug 2008.

[17] Daniel H. Grollman. *Infinite Personality Space for Non-fungible Robots*, pp. 94–103. Springer International Publishing, Cham, 2016.

[18] 浅田稔, 石黒浩, 國吉康夫. 認知ロボティクスの目指すもの. 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 1, pp. 2–6, 1999.

[19] David Vernon and Markus Vincze. Industrial priorities for cognitive robotics. *Cognitive Robot Architectures*, p. 6, 2017.

[20] C.S. Hall and G. Lindsey. *Theories of Personality.* John Wiley and Sons Inc, 1957.

[21] H.J. Eysenck. *The scientific study of personality.* Routledge and Kegan Paul, London, 1952.

[22] 若林明雄. パーソナリティとは何か その概念と理論. 培風館, 2009.

[23] 星野命（編）. 対人関係の心理学. 日本評論社, 1998.

[24] 横沢和彦, 池田慶祐, 作本佑輔, 阿久澤拓巳, 善教雅貴, 石川陽一, 富山健. 感性表出プラットフォームロボットの開発と印象評価（ロボットの腕の長さと大きさの違いによる印象評価）. 研究報告知能システム（ICS）, Vol. 2013, No. 12, pp. 1–4, mar 2013.

[25] Michael L. Walters, Dag S. Syrdal, Kerstin Dautenhahn, René te Boekhorst, and Kheng Lee Koay. Avoiding the uncanny valley: robot appearance, personality and consistency of behavior in an attention-seeking home scenario for a robot companion. *Autonomous Robots*, Vol. 24, No. 2, pp. 159–178, Feb 2008.

[26] Elizabeth Broadbent, Vinayak Kumar, Xingyan Li, John Sollers, 3rd, Rebecca Q. Stafford, Bruce A. MacDonald, and Daniel M. Wegner. Robots with display screens: A robot with a more humanlike face display is perceived to have more mind and a better personality. *PLOS ONE*, Vol. 8, No. 8, pp. 1–9, 08 2013.

[27] Christoph Bartneck, Takayuki Kanda, Omar Mubin, and Abdullah Al Mahmud. Does the design of a robot influence its animacy and perceived intelligence? *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, No. 2, pp. 195–204, Apr 2009.

[28] J. Goetz, S. Kiesler, and A. Powers. Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation. In *The 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2003. Proceedings. ROMAN 2003.*, pp. 55–60, Oct 2003.

[29] A. Niculescu, B. van Dijk, A. Nijholt, and S. L. See. The influence of voice pitch on the evaluation of a social robot receptionist. In *2011 International Conference on User Science and Engineering (i-USEr)*, pp. 18–23, Nov 2011.

[30] Andreea Niculescu, Betsy van Dijk, Anton Nijholt, Haizhou Li, and Swee Lan See. Making social robots more attractive: The effects of voice pitch, humor and empathy. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 5, No. 2, pp. 171–191, Apr 2013.

[31] 能勢隆. 統計モデルに基づく多様な音声の合成技術. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J100-D, No. 4, pp. 556–569, Apr 2017.

[32] 恵一徳田. 音声情報処理技術の最先端：1. 隠れマルコフモデルによる音声認識と音声合成. 情報処理, Vol. 45, No. 10, pp. 1005–1011, oct 2004.

[33] G. Trovato, J. G. Ramos, H. Azevedo, A. Moroni, S. Magossi, H. Ishii, R. Simmons, and A. Takanishi. Designing a receptionist robot: Effect of voice and appearance on anthropomorphism. In *2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 235–240, Aug 2015.

[34] Isabel Briggs Myers. *Introduction to type : a guide to understanding your results on the Myers-Briggs type indicator*. Consulting Psychologists Press, Palo Alto, Calif, 1998.

[35] サウンドエンターテインメントプレーヤー rolly ＜ローリー＞ — ソニー. `http://www.sony.jp/rolly/`.

[36] H. J. Eysenck. *Biological Dimensions of Personality*. Guilford Press, 1990.

[37] J. Kim, S. S. Kwak, and M. Kim. Entertainment robot personality design based on basic factors of motions: A case study with rolly. In *RO-MAN 2009 - The 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 803–808, Sept 2009.

[38] 井上博行. 「大きい-小さい」「速い-遅い」に基づいたペット型ロボットの動作に対する印象評価. 日本知能情報ファジィ学会 ファジィ システム シンポジウム 講演論文集, Vol. 29, pp. 31–31, 2013.

[39] F Iida, M Tabata, and F Hara. Generating personality character in a face robot through interaction with human. pp. 481–486, Los Alamitos. IEEE Press.

[40] Sean Andrist, Bilge Mutlu, and Adriana Tapus. Look Like Me: Matching Robot Personality via Gaze to Increase Motivation. In *CHI*, Seoul, South Korea, April 2015.

[41] 知正佐藤, 亨中田, Sato Tomomasa, Nakata Toru, 東京大学大学院情報理工学系研究科, 独立行政法人産業技術総合研究所, Graduate School of Information Science, The University of Tokyo. Technology, National Institute of Advanced Industrial Science, Technology. 人と調和するペットロボットのための対人心理作用技術 (＜特集＞「エンターテイメントと ai」). 人工知能学会誌 = Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence, Vol. 16, No. 3, pp. 406–411, may 2001.

[42] S. Woods, K. Dautenhahn, C. Kaouri, R. Boekhorst, and Kheng Lee Koay. Is this robot like me? links between human and robot personality traits. In *5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, 2005.*, pp. 375–380, Dec 2005.

[43] Adriana Tapus and Maja J. Matarić. *User Personality Matching with a Hands-Off Robot for Post-stroke Rehabilitation Therapy*, pp. 165–175. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.

[44] 倉本到, 安田淳志, 山本景子, 水口充, 辻野嘉宏. 対話エージェントへの「個性」の付与: 意思決定支援システムに対する影響. Vol. 3, pp. ROMBUNNO.1EXB–15, 2012.

[45] Zerrin Kasap and Nadia Magnenat-Thalmann. Building long-term relationships with virtual and robotic characters: the role of remembering. *The Visual Computer*, Vol. 28, No. 1, pp. 87–97, Jan 2012.

[46] O. John. *The 'Big Five' factor taxonomy: Dimensions of personality in the natural language and in questionnaires*. Guilford Press, 1990.

[47] 尾形哲也, 菅野重樹. 情動モデルを有する自律ロボット wamoeba-2(ワメーバ) と人間との情緒交流. 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 65, No. 633, pp. 1900–1906, 1999.

[48] 黒須亮成, 清水博貴, 橋本智己. コミュニケーションエージェントにおける感情モデルの提案. 知能と情

報, Vol. 29, No. 1, pp. 501–506, 2017.

[49] H. Miwa, A. Takanishi, and H. Takanobu. Experimental study on robot personality for humanoid head robot. In *Proceedings 2001 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Expanding the Societal Role of Robotics in the the Next Millennium (Cat. No.01CH37180)*, Vol. 2, pp. 1183–1188 vol.2, 2001.

[50] H. Miwa, T. Umetsu, A. Takanishi, and H. Takanobu. Robot personality based on the equations of emotion defined in the 3d mental space. In *Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.01CH37164)*, Vol. 3, pp. 2602–2607 vol.3, 2001.

[51] M. J. Han, C. H. Lin, and K. T. Song. Robotic emotional expression generation based on mood transition and personality model. *IEEE Transactions on Cybernetics*, Vol. 43, No. 4, pp. 1290–1303, Aug 2013.

[52] 将吾竹内, あゆみ酒井, 昇平加藤, 英則伊藤. 対話者好感度に基づく感性会話ロボットの感情生成モデル. 日本ロボット学会誌 = Journal of Robotics Society of Japan, Vol. 25, No. 7, pp. 1125–1133, oct 2007.

[53] Paul B. Baltes and K Warner Schaie, editors. *Life-Span Developmental Psychology.* Academic Press, 1973.

[54] 八木冕. 心理学. 培風館, 1967.

[55] 洋道堀, 真理子山本, 豊松井. 心理尺度ファイル : 人間と社会を測る. 垣内出版, 1994.

[56] Discover nao, the little humanoid robot from softbank robotics — softbank robotics. `https://www.ald.softbankrobotics.com/en/robots/nao`.

謝辞

本研究に際して、丁寧にご指導を頂きました慶應義塾大学環境情報学部准教授高汐一紀博士に深い感謝の意を表します。四期に亘ってロボットパーソナリティの研究を続けることが出来たのは，幾度とない議論を通じて多くの示唆を下さった先生のお陰です．

また，WIP，TERM を含め多くの助言を下さった慶應義塾大学環境情報学部客員教授徳田英幸博士，慶應義塾大学環境情報学部准教授中澤仁博士，慶應義塾大学政策・メディア研究科米澤拓郎特任講師，慶應義塾大学政策・メディア研究科大越匡特任講師，慶應義塾大学政策・メディア研究科伊藤友隆氏に深く感謝致します．様々な視点から頂いたアドバイスによって，筆者は多大な刺激と気付きを得ることができました．

そして、普段から多くの議論を通じて様々な知識や示唆を頂き，実験の際には被験者を快く引き受けてくださった Sociable Robots Lab. の同期・後輩の皆様に感謝の意を表します。研究室の仲間がいてこそ，熱心に研究活動に励むことができました．また，多くの助言や協力を下さった先輩，同期，後輩の皆様と被験者の方々に，感謝致します．

本研究を進めるにあたって，山岸学生プロジェクト支援制度には大きな援助を賜りましたことを，深謝致します．支援金によって研究の幅が広がり，制約を感じることなく研究に励むことができました．

最後になりますが，これまでの大学生活と研究活動を応援してくださった家族，親戚，友人の皆様，本当にありがとうございました．皆様の支えがあって，四年間の大学生活を存分に過ごすことができました．

23 January 2018

川那子進太郎