

千葉工業大学  
博士学位論文

コミュニケーションロボットにおける  
擬似感性の研究

平成30年9月  
宮治 裕



# ABSTRACT

This dissertation describes my attempts to construct a series of systems for Virtual KANSEI (VK), a system I propose for robots to behave like having KANSEI in order to realize better interaction between humans and robots. The Japanese word ‘KANSEI’ is used here to express a concept that combines emotions, feelings and affective behaviors. I chose welfare field as my test site because of the serious needs of robots working in close vicinity of humans.

Human reaction to a robot in KANSEI level starts from physical attributes of the robot such as shape, color, sound, motion, and so forth. Robots should not make human partners uncomfortable and should give them safe impression. Therefore, I first studied visual effects of prototype robots based on the research result focusing on shape and color. I also examined the correlation between physical properties and the Kawaii-ness (Japanese original KANSEI representing cuteness and affectionateness) of motion of a robot using Roomba.

As for the VK itself, I focused on the emotion which is the main part of KANSEI. The most basic requirement of the VK is that the robot can make emotional transitions and expressions just like a human. The VK is proposed to have three modules: KANSEI Detector to detect emotional state of the partner, KANSEI Generator to generate robot emotion from partner’s emotional state, and KANSEI Expressive Regulator to modify robot motions to express emotion.

The KANSEI Detector detects human partner's emotional state using facial images or voice sound. Facial expression is detected by a method of combining recognition results of facial parts motion. I decided to utilize only prosodic information based on the fact that it contains rich emotional content and that conventional studies on semantic information in human voice is abundant.

The KANSEI Generator is also called Virtual KANSEI in a Narrow Sense (VKNS) because it is responsible to generate virtual emotion of the robot. It is implemented in several ways using Recurrent Neural Network, combined Petri-net and Genetic Algorithm (GA), and Hidden Markov Model. The VKNS needs to realize the same dynamics as human, I adopted the concept of feedback. The combination method of Petri-net and GA has advantages such as easy visualization of internal processing, easy introduction of other factors such as environment factors, and easy manipulation for personalization. In order to evaluate and compare developed VKNS modules, I defined a 2D emotion circle and used it to measure the emotion distance.

The main idea of KANSEI Expressive Regulator is to modulate basic robot motion trajectory to add emotional contents to the motion trajectory. Basic motions for six emotions are generated and are mixed according to the proposed emotion vector. Using this function, virtual robot emotion can be expressed in daily task motions.

The three functions are collectively called Virtual KANSEI of a Wide Sense (VKWS) and I also conducted integrated experiments to evaluate the overall impression of VKWS. I used augmented reality as an experiment method and evaluated the interaction between the displayed robot and human from the viewpoint of naturalness.

Through my comprehensive studies, I gained an integrated view of KANSEI in human robot interaction that cannot be obtained otherwise. It is also noted that



the new models, learning data generation and handling methods, and evaluation methods I devised are valuable in designing human robot interaction.



# 目次

Abstract	i
<b>第 1 章 序論</b>	<b>1</b>
1.1 研究背景	1
1.2 介護ロボットを対象とする理由	3
1.3 研究目的および条件	9
1.4 論文構成	10
<b>第 2 章 介護者支援ロボットの提案と機能</b>	<b>13</b>
2.1 介護におけるロボット技術の必要性調査	13
2.2 介護者支援ロボットの定義	16
2.3 介護者支援ロボットの要件	17
2.3.1 介護対象および利用環境	17
2.3.2 用途: 基本的な動作・作業	18
2.3.3 感性的な入出力	20
2.4 既往の研究と本研究の位置づけ	21
2.4.1 介護における物理的支援ロボット	22
2.4.2 介護における精神的支援ロボット	24
<b>第 3 章 プロトタイプロボットの構築と外的感性</b>	<b>27</b>

3.1	開発の指針 . . . . .	27
3.2	構造および基本スペック . . . . .	28
3.3	形状の検討 . . . . .	29
	3.3.1 目的・方針 . . . . .	29
	3.3.2 実験方法・結果 . . . . .	30
3.4	プロトタイプロボットの開発 . . . . .	34
3.5	色の検討 . . . . .	35
	3.5.1 予備実験 . . . . .	36
	3.5.2 実験方法・結果 . . . . .	37
3.6	動きにおける感性要素 . . . . .	39
	3.6.1 感性要素の検討 . . . . .	40
	3.6.2 感性要素の抽出 . . . . .	43
	3.6.3 結果 . . . . .	46
3.7	プラットフォームロボットロボットの改良 . . . . .	47
3.8	まとめと課題 . . . . .	47
<b>第 4 章</b>	<b>擬似感性システム</b>	<b>53</b>
4.1	概要と情報処理構造 . . . . .	54
4.2	狭義と広義の擬似感性 . . . . .	56
4.3	擬似感性の構成 . . . . .	59
4.4	感性同定 . . . . .	60
	4.4.1 音声からの感性同定 . . . . .	61
	4.4.2 顔画像からの感性同定 . . . . .	65
4.5	まとめと課題 . . . . .	69
<b>第 5 章</b>	<b>感性生成</b>	<b>71</b>

5.1	感性生成の要件 . . . . .	71
5.2	基本モデルと学習・評価データ . . . . .	73
5.3	ニューラルネットワークによる感性生成部 . . . . .	75
5.3.1	ニューラルネットワークによる感性生成部の構成 . . . . .	75
5.3.2	実験結果 . . . . .	77
5.4	評価手法 . . . . .	78
5.4.1	一般的な評価手法での問題点 . . . . .	78
5.4.2	評価手法：二次元感情モデルの利用 . . . . .	79
5.5	学習可能なペトリネット手法 . . . . .	81
5.5.1	ペトリネットによる感性生成部の構成 . . . . .	82
5.5.2	GA による感性生成部の学習方法 . . . . .	84
5.5.3	実験方法と結果 . . . . .	85
5.6	ペトリネットを用いた感性生成部の解析と調整 . . . . .	86
5.6.1	感性生成部の解析 . . . . .	86
5.6.2	感性生成部の調整手法 . . . . .	87
5.6.3	感性生成部の調整結果 . . . . .	88
5.7	ペトリネットを用いた感性生成部の拡張：環境からの影響 . . . . .	89
5.7.1	環境情報処理部 . . . . .	90
5.7.2	快度入力部 . . . . .	94
5.7.3	実験方法と結果 . . . . .	96
5.8	隠れマルコフモデルによる手法 . . . . .	98
5.8.1	Type1 モデル . . . . .	99
5.8.2	Type2 モデル . . . . .	100
5.8.3	Type3 モデル . . . . .	101
5.8.4	比較実験 . . . . .	102

5.8.5	ペトリネット手法との比較 . . . . .	104
5.9	まとめと課題 . . . . .	105
<b>第 6 章</b>	<b>感性表出</b>	<b>109</b>
6.1	動作における感性表出の要件 . . . . .	110
6.2	動作調整表出部 (MMS) . . . . .	111
6.3	感情ベクトル導出部 . . . . .	112
6.4	動作パラメータ算出部 . . . . .	114
6.4.1	動作パラメータ: MP . . . . .	114
6.4.2	MP 算出方法 . . . . .	116
6.5	動作軌道生成部および関節角度算出部 . . . . .	117
6.6	実験方法・結果 . . . . .	118
6.7	まとめと課題 . . . . .	121
<b>第 7 章</b>	<b>擬似感性システムの有効性評価</b>	<b>123</b>
7.1	擬似感性システムの統合 . . . . .	124
7.2	擬似感性システムの評価 . . . . .	126
7.3	擬似感性システムの評価環境・指標 . . . . .	133
7.4	まとめと課題 . . . . .	136
<b>第 8 章</b>	<b>結論</b>	<b>139</b>
8.1	総括 . . . . .	139
8.2	将来課題 . . . . .	146
	<b>引用文献</b>	<b>151</b>

# 目次

2.1	Relationship among tripartite (Caregiver, Cared-Person and Caregiver Support Robot). . . . .	19
3.1	Basic shapes by robot parts. . . . .	31
3.2	Example of a questionnaire form for determining the robot shape. . . . .	32
3.3	Aggregated result of robot whole body. [Miyaji 07] . . . . .	33
3.4	Combination of aggregation result by robot parts. [Miyaji 07] . . . . .	33
3.5	Early prototype of caregiver support robot, called HAJIME-CHAN. [梁取 04] . . . . .	35
3.6	Candidate colors for robot exterior used in questionnaire. . . . .	36
3.7	The model of preliminary experiment on color impression of robot. . . . .	37
3.8	The scene used for experiments on color impression of caregiver support robot. [Miyaji 07] . . . . .	38
3.9	Screen layout for color judgement experiment. [吉田 05] . . . . .	39
3.10	Ten candidate motions of Roomba for testing Kawaii-ness. [菅野 15] . . . . .	41
3.11	Nine simplified motions for verifying Kawaii-ness. [菅野 15] . . . . .	44
3.12	Create with a cover for composing test motions. [菅野 15] . . . . .	45
3.13	KANSEI Expression Platform Robot[作本 13], called KEPRO. . . . .	48

3.14	Large robot (height: 1,400[mm]) displayed using AR for investigating size effects. [宮治 09]	50
3.15	Small robot (height: 900[mm]) displayed using AR for investigating size effects. [宮治 09]	51
4.1	Conceptual information processing structure of the Caregiver Support Robot with Virtual KANSEI. (Simplified from [Miyaji 03]).	55
4.2	Concept of Virtual KANSEI of a Wide Sense (VKWS).	57
4.3	Three factors controlling human behavior and the role of Virtual KANSEI.	58
4.4	Three major functions of Virtual Kansei [Miyaji 07]: Kansei Detector, Kansei Generator and Kansei Expressive Regulator.	59
4.5	Processing in KANSEI Detector for human voice.	62
4.6	Human voice signal and various attributes (LPC, Pitch and Voice Print).	62
4.7	The flow of processing of voice print to compute average density.	63
4.8	Processing in KANSEI Detector for facial expression.	66
4.9	An original image and its two dimensional frequency image.	66
4.10	Structure of the neural network in KANSEI Detector for facial expression identification. [矢島 03]	68
5.1	Feedback structure of Kansei Generator. [Miyaji 03]	73
5.2	The RNN model of KANSEI Generator. (Revised from [高田 01]).	76
5.3	The proposed two-dimensional emotion model. [Miyaji 03]	80
5.4	Components and structure of Petri-Net and firing mechanism.	83



5.5	The Petri-Net model of KANSEI Generator. (Revised from [Miyaji 03]). . . . .	84
5.6	Schematics of incorporation of environmental information into KANSEI Generator. (Revised from [井上 07]). . . . .	90
5.7	Comfort distribution of $P2$ for temperature. [井上 07] . . . . .	92
5.8	Comfort distribution of $P2$ for brightness and noise sound. [井上 07]	92
5.9	Sensibility variation against environmental factor. (Revised from [井上 07]). . . . .	93
5.10	Flow of environment information processing unit for Petri-Net model of VK. (Revised from [井上 07]). . . . .	94
5.11	Kansei Generator with comfortableness injector. (Revised from [井上 07]). . . . .	95
5.12	Structure of KANSEI Generator using Type1 HMM Model. (Revised from [Kogami 09]). . . . .	99
5.13	Structure of KANSEI Generator using Type2 HMM Model. (Revised from [Kogami 09]). . . . .	101
5.14	Structure of KANSEI Generator using Type3 HMM Model. (Revised from [Kogami 09]). . . . .	102
5.15	Output emotions from caregiver. [Kogami 09] . . . . .	103
5.16	Output emotions of Type1 Model. [Kogami 09] . . . . .	103
5.17	Output emotions of Type2 Model. [Kogami 09] . . . . .	103
5.18	Output emotions of Type3 Model. [Kogami 09] . . . . .	104
5.19	Output emotions of Petri-Net + GA model. [Kogami 09] . . . . .	105
6.1	Structure of Motion Modulation System. (Revised from [Miyaji 07]).	113

6.2	Spline curve representing basic motion trajectory of a robot hand. .	114
6.3	Adjustment schemes of the spline curve using Motion Parameters. .	116
6.4	The trajectory generated by a combination of anger and fear basis trajectories at 5 to 6 combination ratio. [内藤 05] . . . . .	118
6.5	Emotional impression score breakdowns of sample motions. . . . .	120
7.1	Process flow of simple integrated simple Virtual Kansei system. [Kogami 09] . . . . .	125
7.2	3D facial expression robot using AR. . . . .	126
7.3	Examples of the robot facial expressions. [Kogami 09] . . . . .	127
7.4	A movie clip showing emotional interaction between a robot and a human. [Kogami 09] . . . . .	128
7.5	Comparison of emotion transitions from KANSEI Generator, the mirroring of the partner emotion, and the random manner. [Kogami 09] . . . . .	129
7.6	Evaluation of naturalness of the robot response using KANSEI Generator, the mirroring of the partner emotion, and the random manner. [Kogami 09] . . . . .	130
7.7	Distance scale among KANSEI Generator, the mirroring, and the random methods. [Kogami 09] . . . . .	132
7.8	An experimental set up considered for evaluation by the partner. .	134
7.9	An experimental set up considered for evaluation by a third party. .	135

# 表目次

3.1	Question items for determining the robot shape. . . . .	33
4.1	Table of correspondence between AUID and actions. [エクマン 87] .	67
4.2	Facial Action Coding System, FACS. Relation between combinations of AUID and facial expressions. [エクマン 87] . . . . .	68
5.1	Comparison of number of correct answers between NN and RNN systems. [高田 01] . . . . .	77
5.2	Sums of emotional distances with three partitioned data sets for three top individuals obtained by GA. . . . .	86
5.3	Middle transitions with low firing rates for each emotion. [Miyaji 03]	87
5.4	Firing inhibited middle transitions versus emotion for emotion en- hancement experiments. [Miyaji 03] . . . . .	88
5.5	Effect of manipulations for each emotion enhancement. [Miyaji 03]	89
5.6	Emotion transitions before and after manipulation. [Miyaji 03] . .	89
5.7	Behavior of KANSEI Generator with a single input of environmental sound at constant loudness. . . . .	97
6.1	Motion parameter setting for impression evaluation experiment. . .	119
6.2	Emotional effect and motion parameters (MP). [梁取 06] . . . . .	120

7.1	Ranking of the robot responses in terms of their natural-	
	ness. [Kogami 09] . . . . .	131

# 第1章

## 序論

本論文では、コミュニケーションロボットにおいて、親和性を実現するために重要な感性的な要素や機能について網羅的・体系的におこなった研究について述べる。その感性的な要素や機能を実現するための概念や機構を「擬似感性」と名付け、具体的な検討のために介護ロボットをターゲットとし、モデルや手法の提案・構築・実験をおこない、得られた知見をまとめた。

本章では、コミュニケーションロボットにおける擬似感性の研究に取り組むに至った背景、介護ロボットをターゲットとし検討する背景と理由、研究目的および論文の構成について述べる。

### 1.1 研究背景

現在の日本は超高齢者社会かつ労働者の不足が問題となっており、さらに深刻化することが予想されている。厚生労働省の2017年度版高齢化社会白書 [内閣 17] によると、2016年度時点で総人口に対する65歳以上人口の割合を示す高齢化率は27.5%を示している。さらに高齢化率は、2036年には総人口の1/3に達することが予想されている。また、2015年の国勢調査の結果を受けて、国立社会保障・人口問題研究所から2017年に発表された日本の将来推計人口 [社会 17] によると、15歳から64歳が該当する生産年齢人口は2015年時点で7,728万人(60.8%)である。出生仮定による違いはあるが、

2040年には6,000万人を割る（54.1%:筆者換算）ことが推計されている。

生産年齢人口の減少が及ぼす影響は、近年問題化している。帝国データバンクが2013年から2017年度までの5年間集計した人手不足倒産（従業員の離職や採用難などにより人手を確保できず、収益が悪化したことなどを要因とする倒産）の集計[帝国18]によると、2017年度は114件、2013年度比で2.5倍、4年連続で前年度を上回る増加傾向を示している。また、その業種は幅広い業種および人口の多い都市部にも及んでいることが示されている。人材不足に悩む企業では、その確保のために賃上げや労働条件を向上させる対応に迫られている、その分の価格面への転嫁が難しい状況、それでも人材が確保できない状況などが、日常的にニュース等で取り上げられるようになっている。現状の問題は、日本の人口構成比やその推移が根幹にあり、女性や高齢者の活用や外国人労働者の受け入れなどの対策だけでは容易に解決することは難しい。

このような労働者不足の状況下において、ロボットや人工知能の活用に関する期待が高まってきている。すでに床掃除、店舗などの受付・案内、建屋内での物品の配送などのロボットが半自動的ではあるが、導入・運用されている。それに加えて、近年のロボット技術や人工知能技術の進展に伴い、運転や各種診断などの高度な認知や推論が必要な分野でも活用が現実視され始めている。実際に、2016年にロイターニュースメイカーにて安倍首相が講演した際、「少子高齢化で労働人口が減少する中、安倍首相は生産性向上の必要性に迫られることで、むしろロボットや人工知能（AI）の活用に拍車がかかると指摘した。」と発言したこと報道されている[ロイ16]。

また、2015年に野村総合研究所から公表された「国内601種類の職業について、それぞれ人工知能やロボット等で代替される確率を試算」[野村16]した資料によると、日本の労働人口の約49%が「技術的には代替できるようになる可能性が高いと推計」されている。また、「必ずしも特別の知識・スキルが求められない職業に加え、データの分析や秩序的、体系的な操作が求められる職業について」その傾向が高いことが確認出来たとされている。すべての労働力不足に対応することはできる訳ではないため楽観視することは

できないが、そのなかにはロボットや人工知能にて代替可能なものがあることから、今後の日本においてこれらの導入が進展することは確実であろう。

今後さらに自律的に動作するロボットが世の中で活用される様になった際、生活空間の多くの場所においてロボットが存在・活動する社会となった際、これまで人間がおこなっていた一部の対人業務をロボットが担うようになった際、ロボットにはどのような要件が求められるのだろうか。「親和性」「良い印象」に代表される感性的な影響に配慮したモノや動作・表出であること、人間の感情や感性的な表出に応じて適切に反応・振る舞うことであると考え、また、このような要件について配慮を行ったロボットのことを、本研究ではコミュニケーションロボットとよぶ。

このコミュニケーションロボットと概念的に同様のジャンルとして、厳密には分類可能ではないが、人間共存ロボット・ソーシャルロボット・ペットロボット・ホームロボットなどが挙げられる。これらのロボットの研究の多くは、インタラクション・コミュニケーション・発達科学・感性表現・感性評価の一部の機能に着目して深くおこなわれており、一つの利用目的（分野）に対して網羅的におこなった研究は見当たらない。

以上のことから、人間共存領域においてロボットに対して要求される感性的な要素を実現するコミュニケーションロボットについて、網羅的・体系的に研究をおこなう必要がある。

## 1.2 介護ロボットを対象とする理由

コミュニケーションロボットは用途や目的が多彩であり、それらを包括する形で具体的かつ詳細な検討を進めることは困難である。その具体化と詳細化を検討するため本研究では、前述の背景と齟齬を起こさない背景を有し、「親和性」や「適切さ」「良い印象」などの感性的な要素が重要と推察できる介護ロボットをターゲット候補とした。本節では、介護ロボットを対象とする理由について記述する。

高齢者介護は、以前から日本において社会問題になることが予想されており、それが

実際に顕在化してきている。その問題は、現在3点挙げることができる。

最初の問題点は、人口構成のバランスの変化である。日本における高齢化率（65歳以上の高齢者人口が総人口に占める割合）は、1980年において9.1%であったが、2000年には17.4%と急速に進行 [内閣 08b] していた。いわゆる「団塊の世代」と呼ばれる世代が65歳に到達した2015年には、高齢化率は26.6% [内閣 17] となり、総人口の1/4を超えている。さらに、厚生労働省の2017年度版高齢化社会白書 [内閣 17] では、高齢化率はさらに増加しつづけることを予想しており、2036年には33.3%（総人口の1/3）、2065年には38.4%でその際の75歳以上人口の割合は25%を超えるとしている。出生率が人口を維持するために必要な値を依然下回り続けている現状において、労働人口の比率の向上は望むことはできず、必然的に介護者の数を十分に確保することが難しい。

次の問題点は、高齢者の増加に伴う介護を必要とする者の増加である。介護サービスを受けるためには、「要介護認定」の申請が必要となる。認定は、「非該当」と介護保険の対象となる「要支援」が2段階、「要介護」が5段階に区分される（2000年～2006年度まで要支援は1段階）。厚生労働省の平成27年度介護保険事業状況報告 [厚生 15] によると要介護認定された総数は、2000年には2,562,000人（要支援322,000人、要介護1: 701,000人、要介護2: 484,000人、要介護3: 355,000人、要介護4: 363,000人、要介護5: 337,000人）であったが、2015年には総数で6,204,000人（要支援1: 890,000人、要支援2: 858,000人、要介護1: 1,220,000人、要介護2: 1,080,000人、要介護3: 810,000人、要介護4: 744,000人、要介護5: 601,000人）に増加している。2000年を基準として2015年には2.42倍を示しており、高齢化率の推移からも今後も増加していくと考えられる。

最後の問題点は、日本における家族や家庭の構成も変化したことによる介護の担い手の問題である。三世代同居世帯の割合や子どもと同居する高齢者世帯の割合が、徐々に減少している。総務省がおこなっている国勢調査を元に内閣府がまとめた報告書 [内閣 08a] によると、「全体として、三世代同居世帯は、世代の移り変わりとともに、



今後も一貫して減少していくと想定される。」としている。また、この三世代同居世帯（または子どもと同居する高齢者世帯）で介護を中心的に担っていたのは女性であったが、現在では家庭の外での稼得活動に進出している。同居している場合であっても、高齢化が進んだ現在においては、親と同居する子ども自体が高齢である「老老介護」状態になってしまっている。このように、家庭の中で介護の担い手を確保することが難しい。

以上のように、超高齢社会の日本においては、年金・医療・福祉の財政面での問題が生じるだけでなく、高齢者を介護する者の不足や過負担などの事象につながり、これらについては既に実際に社会問題化している。

行政は、各種高齢者福祉政策の実施や介護保険制度の施行と改訂などをおして、高齢者に必要な介護を実現しつつ破綻しない仕組みを実現しようとしているが、問題も存在している [厚生 13]。たとえば、介護職員数は 2000 年に 55 万人であったものが 2012 年においては 149 万人に増加している一方で、2025 年には 237 万人から 249 万人が必要されると予測されており [社会 13]、現状と同水準で伸び続けたとしても 20 万人程度が不足すると予測されている（現行数のままでは 100 万人の不足となる）。これは労働人口の減少といった側面からみた場合には、楽観視してはならない数字である。

介護者不足を解消するためには、参入の促進、キャリアパスの確立、職場環境の整備・改善、処遇改善が必要 [社会 13] とされ、徐々に対策がなされてきている部分もあるが、まだ十分とはいえない。

これらの介護者不足への対応としては、まず外国人労働者の受け入れが検討・実施されている。経済連携協定（EPA）に基づき、2008 年度にインドネシアから、その後フィリピン（2009 年度）とベトナム（2014 年度）から介護福祉士と看護師の候補者を受け入れ開始し、2016 年度 10 月 1 日時点で 2,777 人の介護福祉士候補者を受け入れ、438 名が資格を取得している [厚生 17]。

候補者の受け入れに関しては、母国での一定の専門教育を受けた後、一定期間の日本語教育を受け、日本語能力試験により一定以上の成績を得た者が対象となる。さらに、

日本の受け入れ施設にて特定活動という雇用契約に基づいた就労・研修介護施設で就労の後、4年目に「介護福祉士資格」の取得をしなければ（養成施設卒業者の場合、異なる）、在留資格が延長されない。

しかしながら、この非常に高いハードルによる資格取得人数の少なさからもわかるとおり、「労働力」を補うには、あまりにも足りない。

これを解消するために、2014年2月の自由民主党の関連の特別委員会において「経済連携協定（EPA）での介護福祉士候補生の受け入れに加え、技能実習制度の対象拡大などを視野に入れる。」[産経 14] ことが検討されたが、受け入れに関する問題点の多くは解消されていない。また、このことに関して上林は特集記事 [上林 15] において以下のように指摘しており、簡単に解決は難しいといえるだろう。

EPAのような入念な制度設計の下でおこなわれる介護士候補者受け入れにも、これまで述べたような問題が伴うのである。今後に予定されている技能実習制度による外国人介護労働者受け入れは、EPAによる受け入れより日本語能力などの点で受け入れ基準が緩いのであるから、受け入れた実習生に対しどのように教育訓練機会を担保していくかが、EPAによる受け入れ以上に大きな課題となるだろう。とりわけ、教育訓練費の負担を誰が担うのかという点は、受け入れ施設側だけでなく、今後の介護保険制度の在り方も含めて検討しなければならないと思われる。

もう一つの解決策としては、ロボットの導入が検討・実施されている。2012年度、経済産業省と厚生労働省は、「ロボット技術の介護利用における重点分野」として「移乗介助」「移動支援」「排泄支援」「認知症の方の見守り」の4点を策定した（2014年度に一部改定）。また、経済産業省は2013年度より「ロボット介護機器開発・導入促進事業」を、厚生労働省は同年度より「福祉用具・介護ロボット実用化支援事業」をおこなっている。さらにその後、経済産業省は「ロボット介護機器導入実証事業（2014年度）」、厚

厚生労働省は「介護ロボット導入支援事業（2015年度～）」「介護ロボット開発等加速化事業（2016年度～）」「介護ロボット等導入支援特別事業（2016年度）」「介護ロボット導入支援及び導入効果実証研究事業（2017年度）」などの政策を打ち出し、その実用化に向けて力を注いでいる。現状ではその導入は一部であり現時点で有効性の評価をおこなうことは難しいが、これらの政策からも介護者不足に対してロボットの導入が一定量効果が見込めると予測されているといえるだろう。

平成 27 年度版情報通信白書 [総務 15] では、総務省がおこなった「社会課題解決のための新たな ICT サービス・技術への人々の意識に関する調査研究」アンケートの結果を元に、介護用ロボットの利用意向についてまとめている。介護をする側の立場として、「利用したい（14.1%）」「利用を検討しても良い（49%）」と 63.1% が肯定的な意見を示している。また、介護を受ける立場としては、「利用してほしい（15.1%）」「利用を検討してほしい（48.2%）」と 63.3% と介護者とほぼ同様の値を示している。開発側のエゴではなく、社会的なニーズが増していることが、これらのデータから判断できる。

以上のように、今後ますます高齢化率が増大する日本において、給与や待遇などの改善だけでは介護者不足の解消はむずかしく、外国人の介護者を大幅に拡充することも困難である。そのような背景の中で、高い技術力・開発力を所有する日本ならではの解決策として、ロボット技術の適用が期待されているといえる。

この介護ロボット技術に関しては、経済産業省と厚生労働省の重点分野に策定される以前から取り組まれており、すでに補助器具や支援機器としては有用な機器も出現している。しかし、介護作業をこなすための腕部を有した自律型のロボットは、研究の進展にも関わらず実現には至っていない。その理由の一つは、産業用ロボットと異なり、人と同じ空間内で作業をするロボットには、十分な安全性が確保されなければならない点にあるといえる。簡易的な作業であっても本体や腕部は人間と同程度のサイズや自由度が必要となり、必然的に重量が増すことになる。この問題は、技術の進展や制御の研究開発によって、いずれ解決されることが予想される。

安全性の問題が解決された後に検討が必要となるのが、親和性の観点である。介護の現場での利用を考えると、ロボットは被介護者に恐れや不安を感じさせてはいけないだけでなく、できれば良い影響を与えられるようなものであることが望ましい。その実現のためには、ロボットが人間に対して与える影響や要素（例えば形状や色）、機械的ではなく人間的な振る舞いなどについて検討する必要がある。また、その人間的な振る舞いのためには、人間の感情の状態を読み取り、ロボットの感情に類する要素を作り出す機能を有する手法が考えられる。さらにそのロボットの感情に類する要素は、介護者の感情と近いことが望まれるであろう。

これらの親和性の観点を有するロボットとして、一部のペットロボットやパーソナルロボット、ホームロボットなどが挙げられる。しかしながら、これらロボットの多くは、机に載せることができる程度の小さなサイズであり、情緒的な振る舞いをするための顔・体などの色の変化や単純な動作しかできない。換言すると、癒しや人間とのコミュニケーションを目的としたロボットであるために、その他の介護現場での物理的な作業ができない。

ペットロボットなどにおいて、形状・質感などの感性要素や人間とのインタラクションが、介護などに効果をもたらすことが示されており、介護の補助作業をおこなえるような人間と同程度のサイズのロボットにおいても、それらを実現した方が効果的であることは明らかである。ただし、人間と同程度のサイズのロボットにおいては、ペットロボットなどの研究による心理的な側面の研究の成果である形状・質感・動き・インタラクションなどをそのまま活用することはできない可能性がある。

さらに進展することが予想される介護の分野でのロボット利用をより効果的なものとするためには、このような人間との関わりや親和性の配慮に関する研究をおこない、その成果を実際の介護作業をおこなうロボットに適用していくことが望ましいと考える。

これらの背景から導き出される介護の現場で活用するロボットに必要な要素を以下に示す。物理的な補助作業（物理的支援）をおこなうロボットは、人間と同程度のサイズ

や自由度が必要となる。人間に対して「冷たい印象，不快感，不安感や恐怖感を与えない」[富山 01] ように心理的な影響を考慮した形状やサイズ，振る舞いを選定する必要がある。できるだけ人間に良い影響を与えられるようなコミュニケーション機能（精神的支援）が必要であり，そのためには人間の感情を読み取り，介護者の感情と同じようなロボットの感情に類するものを作り出す機構が必要である。人間と同程度のサイズや自由度のロボットにおいて，これらの心理的な側面を実現したものはなく，新たに検討しなければならない。

以上のように介護ロボットは，コミュニケーションロボットと同様の背景を有し，感性的な研究を必要とし，本研究の対象として適切であることがわかる。

### 1.3 研究目的および条件

以上のことから本研究は，コミュニケーションロボットにおいて要求される感性的な要素やそれらを実現する機能について，網羅的・体系的に研究をおこなうことを目的とした。また，その具体的かつ詳細な検討のために，介護ロボットを対象として取り扱う。具体的に「親和性」や「良好さ」などを実現するには，ロボットを外部観測した際の感性的な要素と，人間の感情状態を把握しつつロボット自身の振る舞いを変化させる必要があると考え，本研究ではこれら統合して「擬似感性」と名付けた。この介護ロボットにおける擬似感性の提案・実装・実験・評価手法の確立をとおして得られた知見を，広くコミュニケーションロボットの感性的機能の実現の一助となるようにまとめる。

この目的を達成するための問題設定として，以下の2点6項目を示す。

1. 介護者の不足の環境下において，ニーズ調査の結果に基づく機能を有するロボットを提案すること
  - プロトタイプを作成する過程をとおして外部観測と関わる感性要素の検討をおこなうこと

- 擬似感性研究のテストベッドとしてプロトタイプロボットを利用すること
2. 介護ロボットは、被介護者に親和性を与えたり、精神的な補助能力としてのインタラクション機能を有すること。それを実現するため以下の機能構築と実験をとおして擬似感性を構築すること
- 人間の感情や快-不快状態を把握する機能の構築
  - ロボットの感情状態を生成する機能の構築
  - ロボットの感情状態を表出する機能の提案と構築
  - 擬似感性を有するロボットを評価する手法の検討

なお、本節で述べた研究の目的の詳細や問題設定の詳細は、実際には研究を進めていく中で決定した。また、介護施設でのヒアリングの結果、本研究では介護ロボットではなく「介護者支援ロボット」なる用語を用いている。この介護者支援ロボットの条件設定の過程も含めて、2章にて詳述する。

## 1.4 論文構成

本章では、研究の背景と研究の目的について述べた。

第2章「介護者支援ロボットの提案と機能」では、介護施設での研修や聞き取り調査の結果から導きだした介護者支援ロボットの概念と機能要件について述べる。介護者支援ロボットに欠くことのできない感性的なインタラクションについてとりあげる。また、既存のロボットや研究との差異について述べる。

第3章「介護者支援プロトタイプロボットの構築と外的感性」では、実際に介護者支援ロボットのプロトタイプ開発の過程をとおして、形状や色の外的感性を評価選定した手法について述べる。また、感性的動作の本質を理解するための研究としておこなわれた、ロボットの動きにおける「かわいさ」を明らかにする一連の研究について述べる。

第4章「擬似感性システム」では、擬似感性の定義をおこない、それを構成する要素

と情報処理構造の解説をする。また、擬似感性の一つの要素である感性同定部を構築し評価した研究について述べる。

第5章「感性生成」では、人間の感情遷移を学習し出力する部位の構成手法とその構築結果について解説する。

第6章「感性表出」では、介護者支援ロボットにおける感性表出の手法として動作調整表出部の構成手法と実験の結果について述べる。

第7章「擬似感性システムの有効性評価」では、システム全体を統合した上での感性生成部からの出力を評価する実験について触れる。また、評価システムの検討項目について記述する。

第8章「結論」では、各章で得られた結論を総括するとともに、将来課題について言及する。





## 第2章

# 介護者支援ロボットの提案と機能

福祉領域で活用されるロボットは、様々な対象・機能用途が考えられる。その中で本研究が対象とする「介護者支援ロボット」は、「介護ロボット」とは概念的に異なっており、必然的に名前が異なっている。

本章では、この介護者支援ロボットを対象とした理由についてヒアリング調査の結果に基づいて解説する。また、その目的・位置づけ・対象・機能用途・実現のために必要な技術要件について詳述する。さらに、介護者支援ロボットに欠くことのできない、感性的なインタラクションのための特性について述べる。

### 2.1 介護におけるロボット技術の必要性調査

背景で示したとおり、これからの日本において増加し続ける高齢者に対応する十分な人数の介護者を確保することは難しく、その補助的な役割として介護ロボットの開発が望まれている。その介護ロボットは、介護の現場でのニーズに合致したものである必要がある。本研究グループ<sup>1</sup>では、その研究にあたり工学分野からの一方的な提案をおこなうのではなく、現場のニーズや問題点の洗い出しから始めた。

ある特別養護老人ホームにおいて継続的に介護実習を経験し、それをとおして多くの

---

<sup>1</sup> 当時の青山学院大学理工学部機械工学科エンジニアリングシステム研究室（後に情報テクノロジー学科同研究室）。2007年からは、千葉工業大学工学部未来ロボティクス学科エンジニアリングシステム研究室。

介護者にインタビューをおこない、介護現場でのロボットに対する様々なニーズや機能リストを得ることができた。

具体的には、被介護者に対する物理的な補助のニーズとして、車椅子とベッド間の移動補助、自動移動車椅子、床ずれを防止するための体位変換補助、排泄支援のための歩行補助、おむつ交換支援などが挙げられた。また、介護者に対する支援として、医療情報の記録および検索機能、リネン類の配布やその他の必要な物を配布する機能、介護者不在時の被介護者を観察する機能などが挙げられた。

しかしながら、この体験をとおして介護者達は、被介護者の健康維持のための介護作業や、その他のパーソナルケアに関わる作業に対して、ロボットを活用することに期待していないことが分かった。その最も大きな理由は、介護とは人と人との相互作用によって与えられる物で、機械に置き換えることは決してできないという考えであった。この考えは、ロボットの利点を説明することによっても、多くの介護者にとって抗し難いものであった。また、介護者らは仮にロボットが介護の個々の仕事をする能力を持つことができるようになったとしても、それは十分な安全性が確保されないと考えていた。なお、何名かの介護者は、ロボットによって職が奪われる恐れを感じていたことも追記する。

また介護実習中に、介護者の作業と被介護者の生活を観察した。観察と経験によって直接得られた事項について、以下に概略を記す。

- 介護者は、被介護者と常に一緒に居ることはできない
- 介護者は、定期的におこなわなければならない作業の長大なリストを持っている
- 介護者が日常におこなっている仕事の多くは、被介護者の健康状態を維持するためのものである
- 介護者は、被介護者の安全性に常に気をはらっている
- 介護者は、その他の同僚の介護者との間で、被介護者の情報を共有することに時

間を割いている

- 介護者は、介護保険等の書類を提出するために、多くの情報を収集し記録する必要がある
- 介護者は、ほとんどの時間において非常に多忙である。そのため、被介護者の中には、介護者に対して個人的な要求をすることを躊躇している者がいる
- 介護施設は、被介護者にとっては病院ではなく、家である。彼らはそこに住み、生活をしている
- 被介護者は、介護者からの物理的な支援だけでなく、精神的な支援を必要としている

以上からわかるように、ロボットが介護者の活動のすべてを補助したり、ましてやすべてを代替することはできない。

その一方で、身体状態や環境状態の把握などの介護者が仕事の中でおこなっていることの一部には、ロボット（もしくは情報機器・設備）の方が向いているものも存在することがわかる。さらに、一日中被介護者に付き添うことのような、一般的には介護者だけではできないことが、ロボット技術によって実現できる可能性が存在していることがわかった。

以上の体験をとおして、得られた気づきは以下の3点にまとめられる。介護は、あくまでも人間同士のコミュニケーションの中でおこなわれるのが基本である。介護者の多忙な状況を改善するために、一部の作業の補助を介護ロボットがおこなうことは有効である。介護ロボットが現場で受け入れられるためには、介護者がロボットに対して感じている懸念事項について十分配慮する必要がある。

## 2.2 介護者支援ロボットの定義

以上の調査をとおして、本研究はハードウェアとしての福祉・介護技術の研究は当然必要であるが、ロボットが人の間に入り・人のために作業をし・人と接する観点からの研究、より形而上的な福祉の概念を含む研究の必要性が確認できた [富山 01].

この理念を現実のものとするために、介護者支援ロボットを以下のように定義づけた.

1. 福祉の現場において介護者が被介護者に対しておこなっている作業の一部を代行する機能や被介護者の命令に従って身の回りの世話をする機能を有する
2. それに加えて人間との有形・無形（言語，文字，動作，表情など）のコミュニケーションをとおして，被介護者の精神的状態の改善を図るロボットである

以上の実現により，介護者の負担が軽減され，それにより介護全体の質が向上すると想定できる.

ここで，以下の詳細な条件を付記する.

- a. 単に感情を持つかの様に振舞うロボットではなく，実際の介護の現場で利用できるロボットを前提とする
- b. ロボットが介護者にとって代わり，すべての介護をすることを目指しておらず，被介護者のすべての精神的な支援を請け負うことも目的としない
- c. 人間がしたほうが良いことはロボットに任せるべきではない，介護にとっては人間が重要かつ不可欠でありロボットに置き換えるべきではない

ここで，介護ロボット（＝被介護者支援ロボット）も，介護者を支援するロボット（＝介護者支援ロボット）も実質的に有する機能としては，同様であることが予見できた. しかしながら，「被介護者を支援することを目指す」ものと「介護者を支援することを目指す」ことは，コンセプトとしては大きな違いがある. 本研究では，この「介護者支援

ロボット ≠ 介護ロボット」という概念が非常に重要であると考えている。

## 2.3 介護者支援ロボットの要件

介護者支援ロボットは、上記の概念を満たすために、介護現場に必要な基本的作業に加えて、人間とのインタラクションに必要な感性的な入出力の機能を必要とする。したがって、「介護者支援ロボット = ロボットのハードウェア + ロボットとしてできなければならない動作・作業 + 介護の現場での基本的な動作・作業 + 感性的な入出力の機能」が全体的なイメージとなる。

本研究と他研究機関における類似研究との相違点は、実際に作業をおこなうロボットに、人間の感性的な振る舞いを読み取る能力、ロボットの感性状態を作り出す機能、ロボットの感性を表出する機能を実装することにもある。また、これに加えて、介護現場での利用を目的とするため、介護者支援ロボットは被介護者にできるだけ不快感や悪い印象を与えないものである必要がある。ここで、福祉の現場での基本的な作業以前に「ロボットとしてできなければならない動作・作業」が当然の課題として存在しているが、これらに関しては多くの研究がなされているため、ここでは触れない。

これらの介護者支援ロボットが有すべき機能と条件について、通常のロボットと異なる点を中心に以下に記す。なお、福祉の現場での基本的な動作・作業や感性的な入出力の機能は切り離せるものではないが、それらの概要を別立てで記述する。また、介護者支援ロボットが特に有すべき条件について述べる。

### 2.3.1 介護対象および利用環境

介護者支援ロボットの作業内容や機能を考える際、その技術的実現可能性や環境における条件による制約は無視することができない。それに加え被介護者は、要支援1から要介護5まで幅は広く、対応はそれぞれ異なる。また、介護者は在宅・訪問・施設での介護など多岐にわたり、介護内容もそれぞれの場所や対象によって異なる。そこで、介

護施設の実地調査の経験をとおして、実際に適用可能な条件を想定した。

以下に介護者支援ロボットの想定した対象と環境について示す。

- 被介護者は、痴呆の症状が重くなく、四肢が全く動かないわけではないが不自由な高齢者とする<sup>2</sup>
- 介護者は、介護施設において働いている者とする
- 利用環境は、介護施設かつ1名部屋での利用である<sup>3</sup>

なお、これらの条件は後述の「介護者支援ロボットの用途」と「感性的なインタラクション」が有益となる対象者・環境である。

### 2.3.2 用途: 基本的な動作・作業

介護の現場での基本的な動作・作業は多岐にわたるが、その多くを可能とする汎用的なロボットを近い将来に実現することは困難である。そのため、介護者の不在時であっても被介護者の体調情報を収集するようなロボットに適したタスクを実行することによって介護者を助ける動作・作業に限定した。それらを以下に列挙する。

- 被介護者の命令（言葉およびジェスチャ）を理解し、ものをもって運び手渡す
- 定期的におこなわなければならない行動（被介護者への水分補給など）を実行する
- 被介護者の命令（言葉およびジェスチャ）を理解し、他の機器（テレビやエアコンや照明など）を操作する
- 被介護者の質問を理解し、必要な情報（天気や食事内容など）を参照し、提供する
- 被介護者の感情状態や体の状態を観測記録し、介護者に提供する。また異常時は介護者に通報する

---

<sup>2</sup> 現在の介護認定の基準では、要支援1～要介護2相当

<sup>3</sup> 在宅介護の場合、障害物が多いため、ロボットが稼働できる範囲が大幅に制限され、危険性が高くなるため

- 被介護者の入退出など行動を観測し，場合によっては介護者に通報する
- 被介護者との精神的なインタラクション，つまり介護者の感情状態に応じたロボットの感情の表出をする

※ 食事の補助については，既に開発済みであること，また可能であれば介護者がおこなうべきと考える

※ 被介護者の抱き上げ動作は重要な機能であるが，他機関にて既に研究がおこなわれており，かつ十分な安全性の確保が難しいため，現時点では想定しない

なお，上記一覧から分かるとおり，被介護者との物理的な接触はものの手渡し程度に限っている．直接の物理的な支援について，安全性の点から現時点では介護の現場での受け入れが難しいと判断した．

これらの用途を踏まえた上で，介護者・被介護者・介護者支援ロボットの関係を Fig. 2.1 に示す．

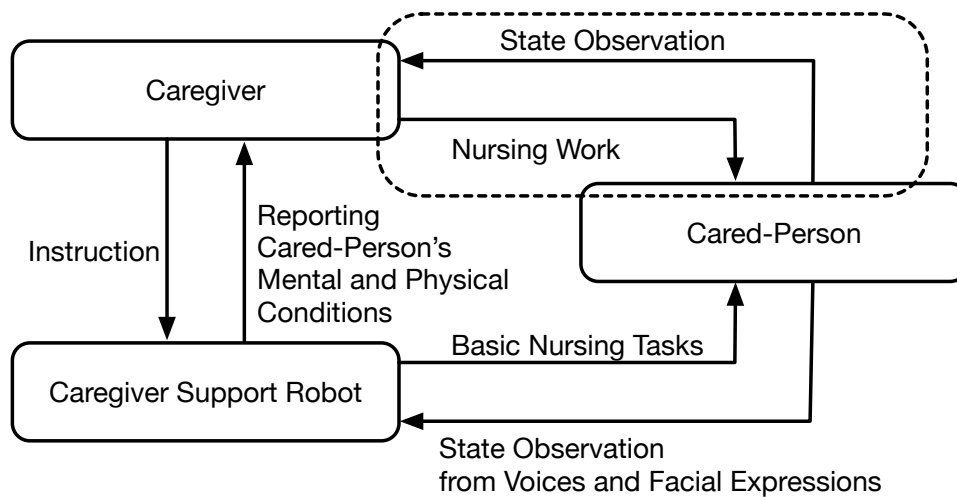


Fig. 2.1: Relationship among tripartite (Caregiver, Cared-Person and Caregiver Support Robot).

### 2.3.3 感性的な入出力

介護者支援ロボットにおいては、感性的な部分において考慮すべき点が存在する。介護者を支援するロボットは、福祉分野で用いられることを特に念頭に置く必要がある。つまり、ロボットが人間のごく近傍で使用されることを意味し、当然のことながら十分な安全性が確保され、被介護者にとって安全である印象を与えなければならない。またそれに加えて、被介護者を最低限不快にしないだけでなく、人間とロボットの間のインタラクションを通じて、できれば相手の精神状態を改善する能力を持つべきである。

これらの条件を満たすためには、まずロボットの形状、色、質感、音、動きなどのハードウェアに起因する属性は、不快感を与えてはならない。筆者は、これを「ロボットの外的感性」とよぶ。この外的感性については、次章にて述べる。

次に、ロボットは被介護者の身体的・感情的な情報収集をおこなう必要があるが、被介護者を不安にするような接触型・侵襲型のセンシング方法を用いてはならない。そのため、顔画像や音声、体の動きなどのデータは、カメラやマイクなどの非接触・非侵襲型のセンサーを用いて取得する必要がある。さらに、本研究の介護実習の中で、被介護者が最小限の動作や発声をとおして自分の状態を伝えることを観測した。多くの介護者は、被介護者の表情や音声応答（声色）などの非言語的な情報源から、感情状態を理解することができる。このことから、介護者支援ロボットにおいては、表情の認識が不可欠であること、また発声においては意味情報を理解するのではなく発声の感情要素の認識が必要であることを導き出した。なお、発声における意味情報の取得や感情推定は多くの研究が存在する [目良 02][三品 10] ことから、ここでは扱わない。この感性的な入力については、第4章で述べる。

一方、人間と円滑にインタラクションするためには、ロボットも感性的な行動をする能力が必要となる。あざらし型のメンタルコミットメントロボット「パロ」[柴田 06] は、ロボットが人間に対する精神的な補助のニーズや効果があることを証明した。また、



ペットのようないわゆるパートナーロボットと呼ばれるものについて盛んに研究開発がなされている [藤田 99][牛田 01]。しかしながら、これらのパートナーロボットとは異なり、介護者支援ロボットは日常的なケアに関わる仕事を実行しつつ、相手の人間とインタラクションをする必要がある。言い換えれば、本研究のロボットは、必要なタスクの実行中に、その動きを修正することによって感性的な表出による関わりがおこなえる能力が必要である。そのような表出のためには、ロボットに感情のような状態を作り出し、それ利用することが妥当であろう。そのための取り組みについては、第5章にて解説する。

また、感性的な表出をおこなうためには、その元となる情報が必要である。介護者支援ロボットは被介護者と接するが、その際の振る舞いは介護者の振る舞いと近いことが望まれる。その介護者の振る舞いを決定している要素の一つは介護者の感情状態である。この介護者の感情と「同じような感情状態を作り出す」＝「学習して感情状態を生成する」ことが望まれる。この感性生成＝ロボットの擬似的な感情生成については、第5章で述べる。

以上のとおり、本研究では「感性」ということばを利用するが、そこには「快-不快」「印象」「感情」「親和性」などの意味を包含している。

## 2.4 既往の研究と本研究の位置づけ

工業技術を障害者や高齢者の支援に利用する試みは古くからおこなわれており、同様に福祉を目的としたロボットの研究開発も古くからおこなわれている。その内容も、障害者の補装具・代替機器・補助機器、リハビリのための支援機器、重度障害者用の多機能ベッドや高齢者の体調監視システム、高齢者や障害者のための食事搬送移動ロボット、コミュニケーションや環境を支援する機器 [富山 01] など多岐にわたる。

介護支援のロボットは、介護者を対象とするものと被介護者を対象とするものに大別することができる。また、被介護者を対象とするものは、物理的・身体的な支援をする

ものと精神的な支援をするものに大別できる。

本節では、本研究と関係する既往の関連研究とその関係について、これらの枠組みにおいて述べる。

#### 2.4.1 介護における物理的支援ロボット

前述のとおり、経済産業省と厚生労働省は、2012年11月に「ロボット技術の介護利用における重点分野」を策定し、その改訂を2014年2月におこなった [経済 14]。その分類である5分野は、「移乗介助」「移動支援」「排泄支援」「入浴支援」「認知症の方の見守り」であり、被介護者が主体となるものもあるが基本的に介護者が介在したり、介護者自身を対象としている。また、現時点では、被介護者を対象とした重点項目はない。

移乗介助に該当するロボットは、非装着型と装着型とに分類されている。非装着型は、施設またはベッドなどの什器に備え付けられたり床に設置することによって、介護者が全く力を入れなくても、あるいは少しの力でベッドから車椅子などへの移乗をサポートする。パワーアシスト移動介助リフト [舟久保 01] などが例としてあげられる。各種感覚機能を有した介護ロボット RI-MAN [小田 07] は人を抱き上げることができ、介護者の負担を軽減できると期待できる。また装着型は、人間に装着することによって立ち上がり・座り、歩行、階段昇降などの動作アシストをおこなう。介護者が装着した場合には、移乗などの介助補助の際に多くの力を必要としない。HAL [山海 06] は、この装着型の代表例である。これらの移乗介助のロボットは、実際に介護現場での聞き取り調査の際にもニーズが高い項目である。同様に「移動支援」「排泄支援」「入浴支援」のロボットもニーズが高く、すでに多くの研究 [寺嶋 04][神山 04][本間 08] や機器が世に出ている。これらのロボットは、被介護者が単独で用いることができるものも存在するが、通常は介護者が必ずひとり以上補助に入り利用する。

これらの4分野のロボットは介護現場のニーズは非常に高いが、直接的な介護あるいは補助は前述のとおり本研究の対象ではない。

もう一つの重点項目である「見守り」に関して、「高齢者が施設から勝手に出て行くことを防止する」「現在位置や現在の状況を把握する」などの見守りの機器が多数開発されている。その中でも、見守り思い出し支援ロボット Mamoru [白山 09] は、本研究の介護者支援ロボットが目標とする機能と非常に近い。Mamoru は、人のそばに設置され、カメラで人や手先の移動や動作を観察し、毎日おこなわなければならない薬の服用などの思い出しを支援する。介護者が不在の際であっても、日常におこなっている・確認する作業を補助（薬服や水分補給を記録）し、被介護者の状態を把握することを目的とするため、この見守りや記録の仕組みは機能として必要と考える。

本研究の目指している介護者支援ロボットの物理的な支援機能は、重点項目には含まれていない。被介護者に対してものをもって受け渡す・家事的な補助をおこなう・適宜情報を提供するなどを示す。これらに対する既往の研究の代表例として、介護作業をおこないつつ家事的な事項をこなすことのできる介助ロボットである TWENDY-ONE[Iwata 09] が挙げられる。また、実行できる機能は非常に少ないが単純な日常生活補助（ものをとる・運ぶ）をおこないながら、被介護者にとって必要な情報提供をおこなうロボットとしては Care-O-bot [Graf 09] が挙げられる。

以上のように、介護者支援ロボットの物理的な支援機能は、既往の研究と比較して大きな特徴や特性を有するものではない。枠組みを利用して整理すると、以下のように示すことができる。

#### ■介護者支援ロボットの物理的支援

- 介護者に直接物理的に補助する機能は有さない（対象外: 移乗介助, 移動支援, 排泄支援, 入浴支援）
- 介護者に対して、被介護者や環境の情報を提供する（対象: 見守り）
- 被介護者に対して、日常生活面での補助をおこなう（ものをとる, 運ぶ）
- 被介護者に対して、必要とする情報を提供する

## 2.4.2 介護における精神的支援ロボット

介護分野での物理的な側面以外での利用を想定したロボットとしては、高齢者向けのコミュニケーション支援を目的とした対話型の「ワンダー」[野口 02]、実際に介護現場に導入されレクリエーションの司会進行や会話・クイズなどをとおして介護予防に役立つとされている「パルロ」[月岡 16]などが挙げられる。特に精神面でのケアに重点を置いたロボットとしては、その癒やしの効果がギネスブックにも認定された「パロ」[柴田 03]や主に幼児セラピーを目的とした「Huggable」[Stiehl 05]が挙げられる。また、エンタテインメント性に機能を特化したペットロボットや日常生活の手伝いや話し相手をするホームロボットも福祉施設への導入事例が存在しており、それとのインタラクションを繰り返すうちに感情移入をし精神的な支援につながっている事例もある。

ただし、これらのロボットの多くは比較的小型であり、動物の形態を模倣することによって親和性を与える。しかしながら、小型であるが故に、コミュニケーションやケアの目的以外の機能をロボットに持たせることができない。

本研究で提案するロボットは、介護者不在の際の簡単な日常生活の補助作業をおこないつつながら、感情を有するような親和性のあるインタラクションやケアの機能を実現することを想定している。人間と同程度のサイズや機構を必要とし、上記のロボットの形状や色や肌触りなどの要素の手法を適用することができない可能性がある。

一方で、本研究の目的とする感情を有するロボットや親和性を追求するロボットの研究も数多くおこなわれている。感情を有するよう見えるロボットの代表として「Kismet」[Breazeal 02]が挙げられる。顔の表情や声のピッチによって感情を表現し、その感情はセンサ情報を基に快度・覚醒度・確信度の3次元心理空間から導き出している。「エブリデイロボット」[今井 01]は、注意の表出機構と発話によって実世界の情報とロボットと人間間の参考関係を実現している。「インファノイド」[Kozima 02]は、上半身のヒューマノイドで表情による情動表出、指さしや視線による注意表出、手の動

きによる意図の表出が可能である。

これらの人間とのコミュニケーションを主眼とし密接な関わりをもつロボットは Human-Agent Interaction(HAI) や Human-Robot Interaction の技術領域では、ソーシャルロボット (Social Robots, Sociable Robots, Socially Interactive Robots, etc.) に分類される。Fong らは、ソーシャルインタラクティブロボットのサーベイ [Fong 03] において、その設計手法を「生物学に基づく手法」と「機能的な設計手法」の2種類に分類している。生物学に基づく設計手法は、その名の通り生物に関する行動学や発達心理学やインタラクション構造に着目し、そのモデルとともに構成とテストがおこなわれる。機能的な設計手法は、ある特定環境での利用に限った上で、経験則や最適要素やテストによる改良を繰り返した結果を利用した機能を用いる。

本研究は「介護環境なる特定環境」で「介護の補助的なタスク」「被介護者との親和性の高いインタラクション」機能に着目し、経験則やテストによる改良を繰り返した機能を実装することを想定しており、これらの分類に則ると「機能的な設計手法」に基づいている。前述の Kismet やインファノイドは「生物学に基づく手法」に則っており、より一般的な利用や原理を追求しているといえる。

換言すると介護者支援ロボットは、その利用場面の実情に特化した対応を目指しており、一見「生物学に基づく手法」に分類されるロボットと同じ機能を追求しているように考えられる場合であっても、その構成手法や評価方法は異なる。

以上のように、介護者支援ロボットの精神的補助の側面は、既往の研究と目的や必要な機能は同じである（ただし、物理的支援と精神的支援を同時に実現している研究は存在しておらず、その点での目標の違いはある）。しかしながら、その利用形態から既往の研究の成果や概念が適用できない部分が存在するため、新たな研究が必要である。また、そのアプローチとしては機能的な設計手法に基づく。

以上のことから、介護者支援ロボットの精神的支援の特徴は、以下のようにまとめることができる。

## ■介護者支援ロボットの精神的支援

- 感情に類する状態を保持し，親和性（表出，インタラクション，ケア）の実現を目指す（以下の条件下に）
  - － 日常生活の補助作業が可能なサイズ，スペック，形状
  - － 日常生活の補助作業をおこないながら表出（小型，ジェスチャ表出はそぐわない）
- 機能的な設計手法に基づく
  - － 介護現場に特化して構成
  - － 生物の模倣や理解が第一ではなく，機能の実装・実現を優先

## 第3章

# プロトタイプロボットの構築と外的感性

前章にて設定した機能と条件を満たす介護者支援ロボットのプロトタイプを開発した。特にそのハードウェアの開発においては、2.3.3節で述べたロボットの形状、色などの感性要素（外的感性）を考慮する必要がある。

本章では、介護者支援プロトタイプロボットの構築と、その過程で研究・選定した外的感性について述べる。

### 3.1 開発の指針

介護者支援ロボットは、その仕事を実現可能なスペックを有しながら、被介護者に悪い影響を与えないためにも、できるだけ好ましい形状や色、材質、動きなどの条件を満たす必要がある。

これらの感性的な要素は互いに関連し合っており、本来は独立して取り扱うことはできない可能性が高い。しかしながら、実験計画法などの手法を用いたとしても、形状、色、材質、動作などの要素の組み合わせは膨大なものとなり、解析が困難であると判断した。

そこで本研究では、介護者支援ロボットの開発とその感性要素について以下の順をおって研究を進めることとした。また、いくつかの感性要素の組み合わせが検討できる

場合には、その時点で検討することとした。その手順を以下に示す。

1. ロボットの身体の構造および基本寸法は、ロボットの作業に合わせたものとする
2. ロボットの身体形状および身体の寸法バランスは、1項を満たす範囲内でCGを提示する形でのアンケートの分析結果を元に決定する
3. 第2項目と並行し、プロトタイプロボット実機を製作する
4. ロボットの色は、第2項目を元としたCGを提示する形でのアンケートの分析結果を元に決定する
5. 以上と同時並行し、人間の感性状態の同定機能を構築する
6. 以上と同時並行し、ロボットの内部感性状態を作り出す仕組みを構築する
7. 以上と同時並行し、ロボットに感性的な表出をおこなわせる仕組みを構築し、シミュレーションおよび実機検証する
8. これらを全てを実機に組み込み検証すると共に、介護者支援ロボットの実現を目指す

以降、介護者支援ロボットの開発と感性要素研究である上記の手順の中の1～4部分について記す。介護者支援ロボットのソフトウェア的（内的）な感性および感性的な表出機能については、次章「擬似感性」以降で述べる。

## 3.2 構造および基本スペック

介護者支援ロボットの機能やおこなう仕事、条件等を考慮し、その基本スペックを決定した。

- 移動機構は、安全性と実用性の面から、車輪型を用いる
- 日常利用される机の上に置かれた物体を容易に把持できるように、肩までの高さを700[mm]とする



- 腕部は、6 自由度以上の自由度を有する
- 腕部から手先にかけては、体勢を変えずとも（腰をかかめるなどしなくとも）、床上の物を把持できる長さとする
- 人間と共存するため、人間の各部の大きさから外れないサイズとする
  - － ロボット胴体部の幅および奥行きは、外装をつけた状態で、人間の大人と同程度～車椅子サイズに収まる範囲とする
  - － ロボットの腕部の幅および奥行きは、外装をつけた状態で、縦横 150[mm] の矩形に収まる範囲とする
- 外界および被介護者の認識のため、カメラ及びマイクを有する頭部を持つ
- 腕の本数は、原理的には 3 本以上も可能だが、被介護者への心理的な影響が未知であるため、2 本とする
- 腕各部の機構およびアクチュエータは、最低 500[g] の物体を把持することができ、ジェスチャなどの十分な身体動作が可能であることを満たす
- 頸部には、視覚（状況把握）とジェスチャのために十分な自由度を有する
- 顔表情の表出に相当する機能は実装しない（機構的な困難）

### 3.3 形状の検討

介護者支援ロボットの形状を検討する研究をおこなった。本節の主要部分は、「介護者支援ロボットに適した形状についての考察」[鈴木 03] にて報告済みである。

#### 3.3.1 目的・方針

介護者支援ロボットに適した形状（デザイン）を求めたいが、その検討に際して二つの問題がある。

まず、形状の嗜好は、個々人によって異なるという問題である。この問題の解決策を求めて、工業デザイナーへのインタビューをおこなった。その結果、「アンケートによっ

てデザインを決めることは、あたらしい発想のないつまらないものになる」というネガティブな意見を得たが、本研究においてはデザインの新規性について追求しておらず、介護現場での利用に適していれば良いことから問題ないと判断した。また、「全ての人にとって良い形状を求めることは難しいが、全ての人にとって悪くない形状を求めることは可能である」との知見を得ることができた。

本形状の研究においては、この知見に従い「多数の人にとって悪くない形状」を求めることを目的とした。つまり、介護者支援ロボットにとって唯一最良の形状を追求するのではなく、アンケートを分析することによってロボットに要求される共通の要素を得ることとした。

次に、介護者支援ロボットの形状を検討するにあたり、アンケート手法について検討する必要がある。一般的に形状に関する感性的なアンケートを採取する際には、SD法によって形容詞対を提示し印象を分析するが、具体的な形状の素案がない（どの形状が良いのかを調べたい）状態でアンケートを採取することは難しい。また形状の検討の妥当性を示す予備アンケートをおこなった際に、「形容詞からロボットを連想するのは難しい」「実際にロボットの形を提示してほしい」という意見が挙げられた。

そこで実際のアンケートは、縮尺や形の異なるロボットパーツを組み合わせた図案を複数提示し、介護の現場で利用されるロボットを表す質問に対して最も妥当と思われるものを選択する形式にて採取することとした。

形状の印象には、形そのものの他に色や材質なども影響を与えるが、ここでは形そのもののみを対象とした。また、ここでの形状は前述の基本スペックを満たすものに限ることとした。

### 3.3.2 実験方法・結果

アンケートは、前述のとおりひとつの質問に対しロボットの図案を複数提示し、質問の内容に妥当と思われる2体のロボットを実験参加者が選択する形式をとった。概要と

しては、質問項目 20 項目、提示するロボット図案は 1 質問あたり 12 種類、提示するロボット図案はランダムで選出、全ロボット図案数 248 種類である。

ロボット図案は、頭部、胴体部、腕部、車輪の 4 パートに分けて作成し、組み合わせることとした。構造及び基本スペックにて決められていない事項としては、頭部・胴体の形状や面取りの大小、頭部幅および高さ、胴体部幅などが挙げられる。また、「頭の幅：胴体幅」や「頭の幅：頭の高さ」「頭体積：胴体体積」といった比率も検討する必要がある。

そこで、以下のような制約の中でその組み合わせを提示することとした。胴体部パーツは、形状として 6 種類、幅は 500[mm] と 700[mm] の 2 種類である。頭部パーツは、形状としては 6 種類、幅が胴体幅の等価・ $2/3$ ・ $1/2$  の 3 種類、高さが胴体幅の等価・ $2/3$ ・ $1/2$  の 3 種類である。腕部パーツは、丸型・角型の 2 種類である。車輪は、大小の 2 種類である。なお、組み合わせで実現不可能なものは除外している。これらの基本形状を Fig. 3.1 に示す。

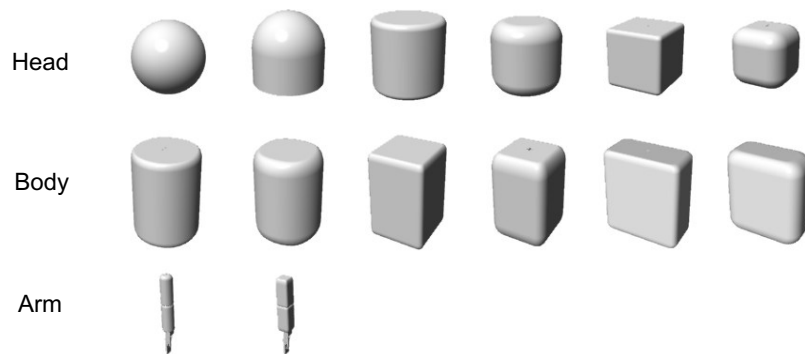


Fig. 3.1: Basic shapes by robot parts.

また、ロボットのサイズが推測できるように人間の簡略図を同時に提示した。実際のアンケートに示した図案を Fig. 3.2 に示す。



1: 安全性を感じるロボットは？

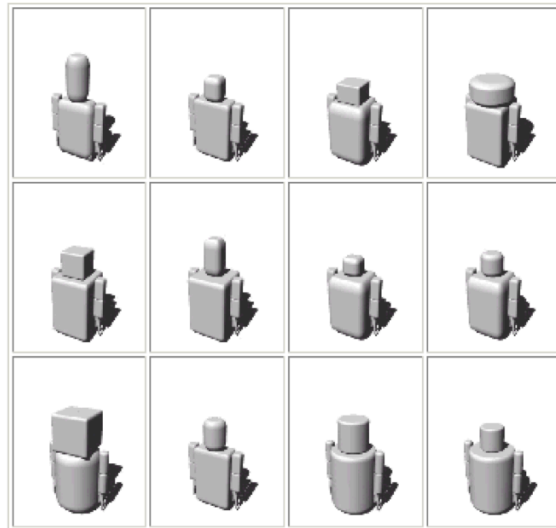


Fig. 3.2: Example of a questionnaire form for determining the robot shape.

質問項目は、Table 3.1 に示す抽象的な質問 16 問と具体的な質問 4 問の計 20 問で構成した。全ロボット図案数に対し 1 問あたりに提示する図案が少ないために、実験参加者の選択肢が制限される。これを解決するために、抽象的質問には類似項目を入れ、選択の幅を広げた。

作成したアンケートは、134 名（介護施設職員 28 名、介護施設デイサービス利用者 74 名、介護施設特養利用者 8 名、介護施設ボランティア 3 名、研究室の学生 2 名、研究室の学生の家族 13 名、工業デザイナー 2 名）を対象に採取した。なお、20 問全てに回答をすることが困難な一部の高齢者には、類似する設問を排除した 10 問のみ回答いただいた。

集計は、各ロボットの選択された数を集計するロボット別集計、各部位の要素ごとに選択された数を集計する部位別集計、部位要素の各組み合わせの中の選択された数を集

Table 3.1: Question items for determining the robot shape. (For the sake of accuracy, the exact words in Japanese used in the questionnaire are listed in this table.)

グループ名	質問番号と質問語	
抽象的な質問	安全性	1: 安全そう, 8: 危険でない, 15: 怖くない
	機能	2: 仕事ができる, 12: 賢そう, 13: 頼もしい
	親和性	3: 和む, 6: あたたかみ, 10: 愛着のある, 14: 安らぎ, 16: やさしさ
	娯楽性	4: 飽きない, 7: 楽しそう, 9: 退屈しない
	忠実性	5: まじめそう, 11: 従順そう
具体的な質問	17: あなたが使うなら, 18: 寝たきりの人が使うなら 19: 家で使うなら, 20: 介護施設で使うなら	

計する部位クロス集計をおこなった。また、部位別集計のパーツを組み合わせた形状を作成した（この分析の詳細は [鈴木 03] に譲る）。

このアンケート結果のロボット別の集計で上位に挙げられた形状を Fig. 3.3 に示す。また、パーツ別で順位の高かった部位を組み合わせた形状を Fig. 3.4 に示す。

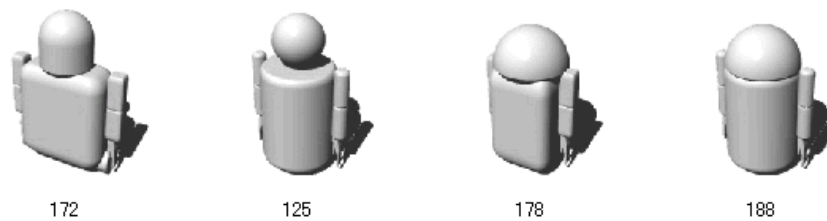


Fig. 3.3: Aggregated result of robot whole body. [Miyaji 07]

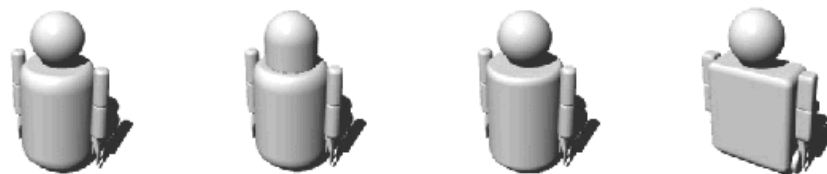


Fig. 3.4: Combination of aggregation result by robot parts. [Miyaji 07]

総じて、頭部に関しては球状を含んだ形、胴体部は幅の小さいものであればどの形状

も均等に選択され、バランスとしては頭の大きさが胴体に対し大きくないもの（胴体部幅の2/3の高さ）が好まれる傾向があることがわかった。ここで、同じ胴体形状であっても頭部形状との組み合わせによって評価が変化する傾向も見られた。ただし、角の丸みの小さい円筒形の胴体形状は、どの頭部形状と組み合わせても評価が低くないことがわかった。

以上のことから、角の丸みの小さい円筒形で幅の小さいものが介護者支援ロボットの胴体部として適していること、それに合わせて球および半球形状の胴体部幅の2/3の高さの頭部を組み合わせるのが良いことがわかった。

### 3.4 プロトタイプロボットの開発

上述の基本スペックおよび形状を満たすように開発した介護者支援ロボットのプロトタイプ HAJIME-CHAN [梁取 04] を. 3.5 に示す。全高 1035[mm] で、双腕、車輪型移動機構を有する。カメラを備えた頭部を持ち、頸部は 2 自由度を有する。腕部は基本的な介護作業とジェスチャをおこなうため、全長 700[mm] で 6 自由度（肩 3, 肘 1, 手首 2）を有する（7 自由度の改良型も存在する）。胴体部は幅 200[mm] 奥行きも 200[mm] であり、腕部をいれた全幅は 460[mm] である。移動部は、ActivMedia Pioneer3DX を用いた。腕部において、アクチュエータであるモータは、初期位置から  $\pm \pi$  [rad] 動作可能で、回転角操作に 20[msec] のサンプリングタイムで PD 制御が適用される。

本プロトタイプロボットは、その外的感性および感性表出の実験をおこなうために開発されたが、それ以前に介護の現場でのロボットとしての動作が保証されなければならない。そのため、その設計の際には人間の心理的安全性を考慮した制御系が研究 [柳 04] され、センシング戦略 [亀田 05]、ロボットの各部位を自律性を持った機能モジュールとして構成し制御 [神保 06] などの研究および実装がおこなわれた。なお、これらの研究は本論文の本筋から外れるため、これにとどめる。

また、本プロトタイプロボットにおいて、最終的には外装の装着には至らなかったこ

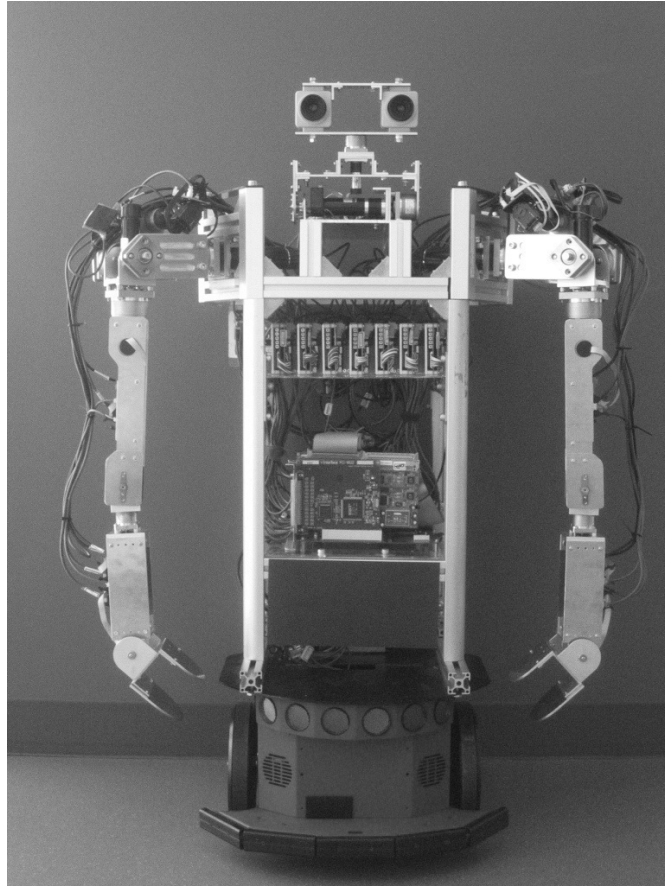


Fig. 3.5: Early prototype of caregiver support robot, called HAJIME-CHAN. [梁取 04]

とを付記する。当初は、次節の色および材質の検討結果が得られた後に外装を取り付ける予定であったが、その後構造上の問題が明らかとなったためである。

### 3.5 色の検討

ここまでの研究によって、介護者支援プロトタイプロボット [梁取 04] の寸法と構造および外形 [鈴木 03] と寸法が確定した。なお頭部形状は、複数考慮することができたが、プロトタイプロボットの構築によって頸部が2自由度と少ないため、頭部形状を半

球状とした。

この外形における介護者支援ロボットと色の印象を明らかにすること、その色はどのようなものがふさわしいかを検討することを目的とした研究をおこなった。本節の主要部分は、「介護者支援ロボットに適した色の検討」 [吉田 05] にて報告済みである。

### 3.5.1 予備実験

外装をつけた介護者支援プロトタイプロボットの 3D モデルを作成し、これに 15 種の色をつけた。この 15 色はカラーイメージスケールから介護施設で目にする代表的な色を選んだ (Fig. 3.6)。それぞれの色名は、JIS 規格 Z8102 から採用した。ここで、どの配色においても、ロボットの車輪部とカメラ部のみ黒色とした。それをアンケートの提示刺激として用いることとした。

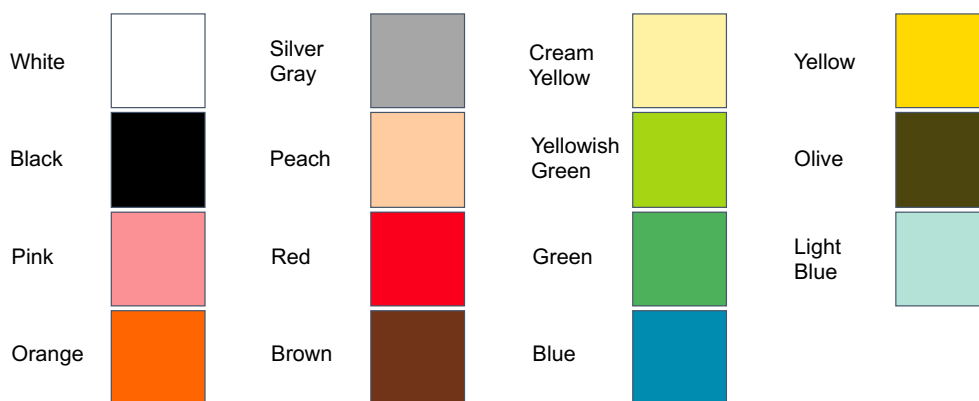


Fig. 3.6: Candidate colors for robot exterior used in questionnaire.

まず、予備調査として SD 法を用いて、これらの配色のロボットの印象を探索した。CG ロボットの背景は、色味に影響を与えないため、灰色中間色のみとした (Fig. 3.7)。CG ロボットが原寸に近い状態となるようにプロジェクタで投影し、アンケート採取した。

因子分析の結果、CG ロボットの印象自体は区分できたが、以下の問題・意見が得られた。



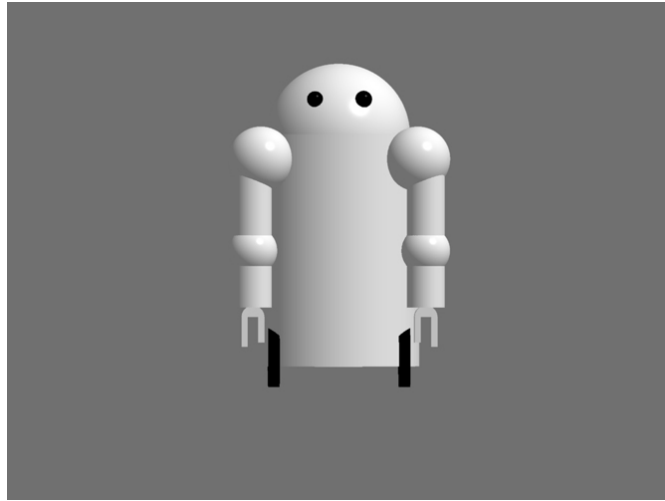


Fig. 3.7: The model of preliminary experiment on color impression of robot.

- 介護者支援ロボットにどの色が好ましいかについて、SD法だけでは評価できない
- 実験に時間がかかりすぎる
  - － 形容詞対9種とロボットの色15種
  - － 提示順による影響を考慮し、上記組み合わせをランダムで採取
- ロボットの大きさは把握できるが、動作環境（背景）によって印象が変わる可能性がある

以上の問題点を考慮し、実験方法を選定した。

### 3.5.2 実験方法・結果

実験の目的は、介護者支援プロトタイプロボットCGの色の印象の探索、および好まれる色（嫌われない色）の選定である。アンケート手法としては、印象の探索のために通常のSD法を用い、順位づけをおこなうためにSD法の形容詞対を用いた相対的判断および数を限定した一対比較法を用いた。用いた尺度は、「静的な」「やわらかい」「美しい」「弱い」「自然な」「あつい」「軽い」「安定した」「地味な」に対応する形容詞対の9種である。また、ロボットの色は、「白」「黒」「ピンク」「橙」「ピーチ」「クリームイ

エロー」「緑」「青」「黄」「オリーブ」の10種類に絞った。提示刺激は、Fig. 3.8のように背景を白黒化した介護施設とし、着色したロボットを重ね合わせた写真を用意し、縦10[cm]，横13[cm]の長方形の用紙に印刷し、提示した。

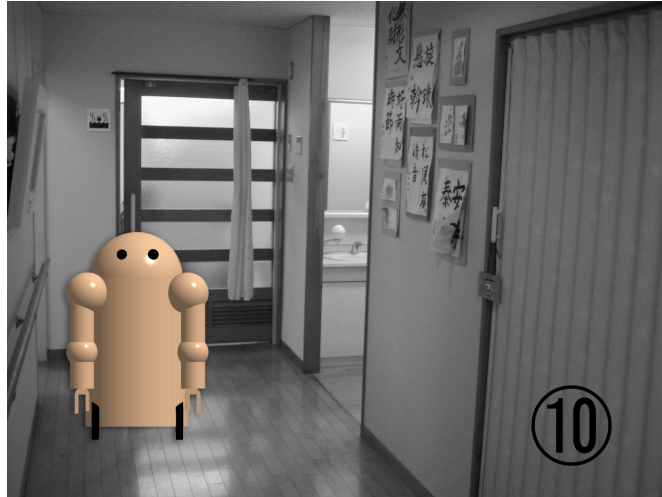


Fig. 3.8: The scene used for experiments on color impression of caregiver support robot. [Miyaji 07]

ここで、SD法の形容詞対を用いた相対的判断の手法について説明する。実験の様子をFig. 3.9に示す。ある尺度（ひと組の形容詞対）が机上の左右に提示されている。実験参加者は、10色のCGロボットの用紙をどちらの尺度（形容詞対）に近いかを判断し、その度合いに応じて配置をおこなう。ここで、同じ程度の印象のものは並列することを許している。これを9種の尺度全ておこなう。その後、介護者支援ロボットとして「好ましい」「好ましくない」という質問に対し、同じ実験方法で回答を得た。

実験参加者は、本研究グループに参加していた大学生10名である。その回答に非常に長い時間がかかること、および実験方法が複雑なため、介護者および被介護者からのデータ採取は断念した。

分析結果の詳細は、報告済み[吉田05]である。総じて、相対的判断の結果と一対比較法にて得られた順位の結果は、同じようなものであった。その結果、橙やピーチ色が介

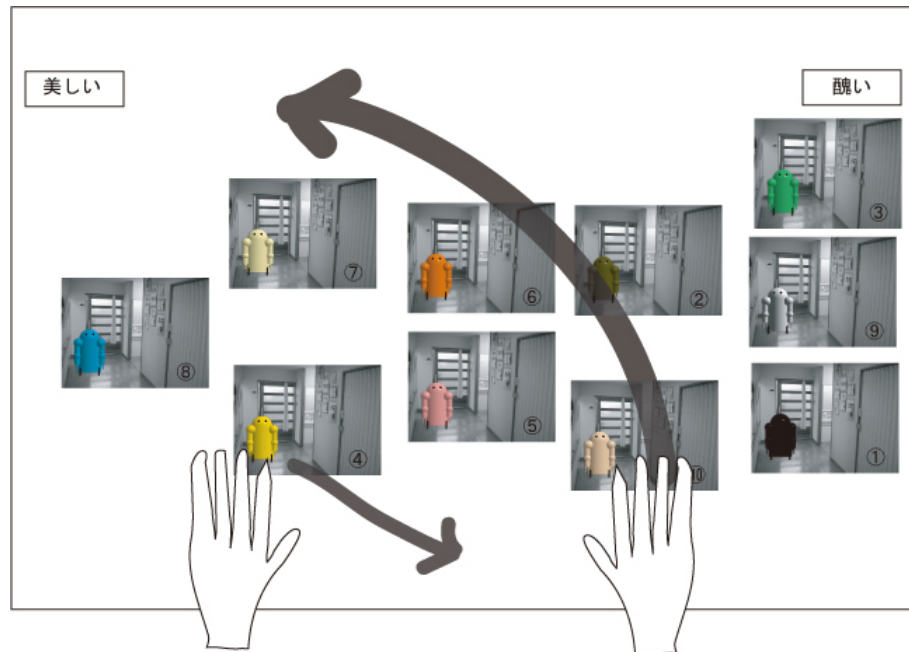


Fig. 3.9: Screen layout for color judgement experiment. The participant line up robot pictures according to the shown adjective pair. [吉田 05]

介護者支援ロボットとしては好まれる傾向がみられた。また、因子得点を「総合的に判断した色の好み」で並べた結果から、「きゃしゃ（弱い、やわらかい、軽い）」で「安定」した印象の色が、介護者支援ロボットとして好まれることがわかった。

しかしながら、実際のロボットは複数色で構成されることが考えられ、その印象の相違が予想されるため細部を含め複数色の配色を考慮すべきである。また、ロボットの材質などによって受ける印象が異なることが予想される。これらの点についてさらなる検討をおこなう必要がある。また、介護者や被介護者が参加可能な実験方法を検討する必要がある。

### 3.6 動きにおける感性要素

ロボットの形状や色の選定と同様に、ロボットの外的感性として「動き」についても検討する必要があるが、それにはいくつかの問題が存在している。

はじめに、介護者支援ロボットの上半身の様に、ある程度人間に近い形状のロボットの場合、その動作の印象は人間における動作の印象に左右されてしまう可能性がある。左右されること自体は問題ではないが、人間と動作が異なることが「悪い印象」と判断される可能性が存在することを念頭に置いておかなければならない。

つぎに、動作の構成要素が多様であり、その膨大な組み合わせと感性的な影響や印象を調査することが難しいことが挙げられる。ロボットには、本来タスクが存在しており、そのタスク遂行のために複数の動作が実行される。そのひとつひとつの動作は、様々な構成要素（速度、加速度、変化率、変化度合い）などによって構成される。ひとつの動作であっても、その構成要素の組み合わせは膨大なものとなり、それぞれの感性的な影響や動作が連続した場合の影響の変化を導き出すことは難しい。

さいごに、その動作の構成要素（本論文では、「動き」と記載）と感性的な影響や印象すらわかっていないことが挙げられる。広くロボット全体に共通するプリミティブな動きと感性の関係がわかれば、それを広く応用できる可能性が存在する。

本研究では以上のことから、まず「動き」と印象の関係について調査手法を確立しようと試みた。ここで、ロボットの動きの印象として、「かわいさ」を選定した。日本感性工学会では2010年より「かわいい人工物研究部会」が設立され、多くの研究がなされているが、ロボットの「動き」の「かわいさ」の研究はおこなわれていなかった。また、日本発であり日本を象徴するキーワードのひとつである「かわいい」は、重要な印象要素であると判断した。

本節では、このロボットの動きにおけるかわいさの研究、具体的には「かわいさの要素検討のための研究」と「かわいさの要素抽出の研究」について述べる。なお、本節の主要部分は「動作における「かわいさ」」[Sugano 12][Sugano 13][菅野 15]にて報告済みである。

### 3.6.1 感性要素の検討

プリミティブな要素を検討するためには、そのロボット自体も刺激の少ない単純な構造のロボットとすべきである。そこで車輪型で車輪部が見えない移動ロボットとして、iRobot 社の自律型掃除機ロボットである Roomba モデル 537 を選定した。その動きの要素としては「前進」「後進」「左右旋回」「左右回転」のみであり、これらの組み合わせで様々な動きを実現する。

かわいさの要素を検討するために、まずはロボットを 10 分間実際に動作させ、実験参加者にはそれを見た上でかわいいと感じた動きを図示させるとともに、その理由を記述させた。そこで得られた候補となる動きに命名したものを Fig. 3.10 に示す。また、こ

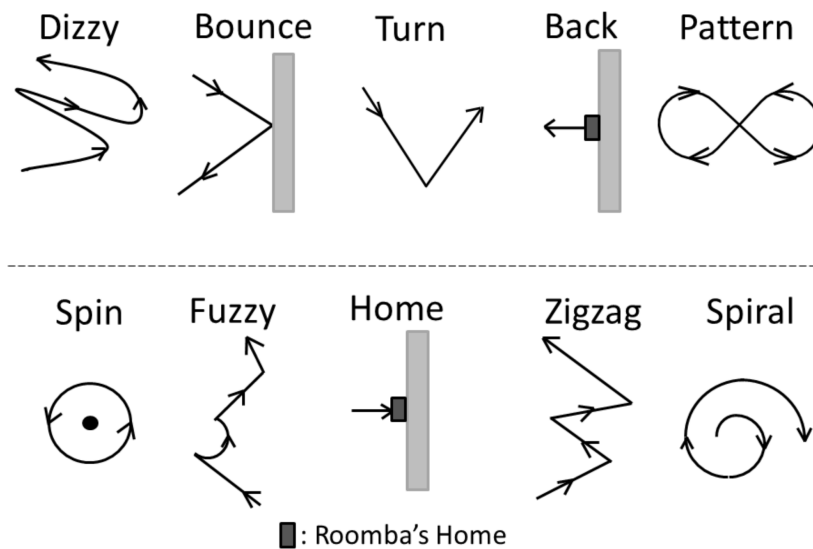


Fig. 3.10: Ten candidate motions of Roomba for testing Kawaii-ness. [菅野 15]

これらの動きをビデオで撮影し、特性を求めた。それぞれの動きの特性は以下のとおりである。

Dizzy: ほぼ一定の速度でさまよう (14[sec])

Bounce: 物体に衝突後に進路方向を変換 (9[sec])

Turn: 回転運動を用い、方向を転換 (11[sec])

Back: ホーム (充電器) を離れる際に後方に移動 (6[sec])

Pattern: 同じ動きを反復 (11[sec])

Spin: 一点で回転 (7[sec])

Fuzzy: 試行錯誤をしている様に移動 (10[sec])

Home: ホームに入る際に、ゆっくりと前進 (11[sec])

Zigzag: 鋭角で切り返ししながら前進 (8[sec])

Spiral: 螺旋に沿って外向きに移動 (30[sec])

実験参加者に対し、このビデオをランダムで提示し、かわいいと感じた動きに対してのみ印象のアンケートに回答させる形式とした。印象のアンケートには、20組の形容詞対 (具体的な中身は既報 [菅野 15] を参照) に対して -2 から 2 までの 5 段階評価でおこなう形式とした。これは、採取の方式としては、SD 法と類似している。しかし因子と形容詞の関係性を求めたいのではなく、かわいい動作のみに対しての要素を検討するために用いている。また、その動きのどの部分にかわいさを感じたのかをできるだけ具体的に自由回答させた。なお、これらの実験の直前に実験参加者には Roomba そのものを既知であったか、見たことの有無、動きを見たことの有無も回答させた。参加者は、男性 9 名女性 9 名の計 18 名である。

かわいいと感じた動きの集計結果上位 3 個は、男性の場合「Dizzy: 9/9, Bounce: 7/9, Pattern: 6/9」であり、女性の場合「Spiral: 6/9, Bounce: 6/9, Fuzzy: 5/9」であった。男女を総合した上位 3 個の動きは Bounce, Dizzy, Spiral である。Roomba そのものを可愛いかということについては、男性の場合「はい: 3/9, いいえ: 2/9, どちらでもない: 4/9」であり、女性の場合「はい: 3/9, いいえ: 4/9, どちらでもない: 2/9」であった。

以上の結果から、男女共に Bounce の動きにかわいさを感じたことがわかる。また、

女性の場合 Roomba そのものは4割以上が「かわいくない」と感じているにも関わらず、Spiral や Bounce の動きに対しては半分以上が「かわいい」と感じていることがわかる。このことから、動き単体にもかわいさが存在していることが示唆された。

かわいいと感じた動きに対する形容詞対の尺度選択については、その回答結果を集計し、実験参加者の半数以上がかわいいと感じた動きについて標準偏差  $\sigma$  をもとめた。その値が0.8以下を示す形容詞対は、「単純な・複雑な、 $\sigma$ : 0.53, 平均: -1.5」「滑らかな・粗い、 $\sigma$ : 0.52, 平均: -1.5」「規則的な・不規則な、 $\sigma$ : 0.70, 平均: -1.4」であった。前述の通り5段階評価は-2から2の値であり、左側の形容詞が-2を示す。平均がマイナスの数値であるため、これらの形容詞対の左側の形容詞「単純な」「滑らかな」「規則的な」が選択されていると考えることができる。

以上の結果から、実験参加者の回答の6割を超えるかわいい動きとして Bounce, Dizzy, Spiral が挙げられる。低い標準偏差を示している形容詞対の存在は、動きのかわいさには共通する要素があることを意味している。自由回答の頻出したものとしては「壁に衝突する動き」「弧を描くような動き」「速さのゆっくりさ」などが得られた。これらのことから、速さや軌跡に注目していることがわかる。

### 3.6.2 感性要素の抽出

実験参加者の評価によりかわいいとされた動きから物理特性の抽出をおこなった。具体的には、時間、位置、速度、加速度、角度、角速度、角加速度の7要素を抽出した。

Roomba の動きを実測した結果（詳細は既報 [菅野 15] を参照）、以下の3点を要素候補として導いた。

- 動きの最初と最後を除き一定速度（約 300[mm/sec]）
- 角度の周期的な変化
- 衝突および停止の際の躍度（加速度の変化量）の変化

また、3.6.1 節にて得られた、「壁に衝突する動き」という自由回答を元に「滑らかさ」に注目した。躍度つまり加速度の瞬間的な変化がかわいさに影響を与えると仮説を立て、アンケートによって仮説の正当性を検証した。

そのために得られた要素候補を組み合わせて、あらたに可能な限り単純な 9 種類の動きを作成した (Fig. 3.11)。

Bounce\_A: 壁に対して斜め方向から衝突し、 $-\pi/2$ [rad] 回転して直進

Bounce\_B: 壁に対し斜め方向から衝突し、1.5 秒間後進、その後  $-\pi/2$ [rad] 回転して直進

Spiral: 螺旋に沿って外向き時計回りに移動

Spin\_A: その場で反時計回りに回転

Spin\_B: その場で反時計回りに徐々に速くなる (遅くなる) 回転

Straight\_A: 左から右へ直進し、途中で急停止をおこない、その後右へ直進

Straight\_B: 左から右へ直進し、滑らかに停止、その後滑らかに動き出し右へ直進

Straight\_C: 左から右で止まらずに直進

Attack: 対象に衝突を繰り返し直進

Spin\_B と Attack を除くすべての動きは速度が 3 種類ある。Roomba の標準速度 300[mm/sec] を中速とし、100[mm/sec] を低速、500[mm/sec] を高速とした。これらの組み合わせにより 24 個の動きを作成した。

ロボットには Roomba の教育研究用プラットフォームである Create を利用し、形状や装飾の印象をできるだけ排除するためにカバーを取り付けた (Fig. 3.12)。これに上記の 24 種類の動作をプログラムし、動作させる。これをビデオに撮影し、アンケートに用いた。

実験参加者には、ビデオ撮影されたそれぞれの動きに対して「かわいい」「かわいくな



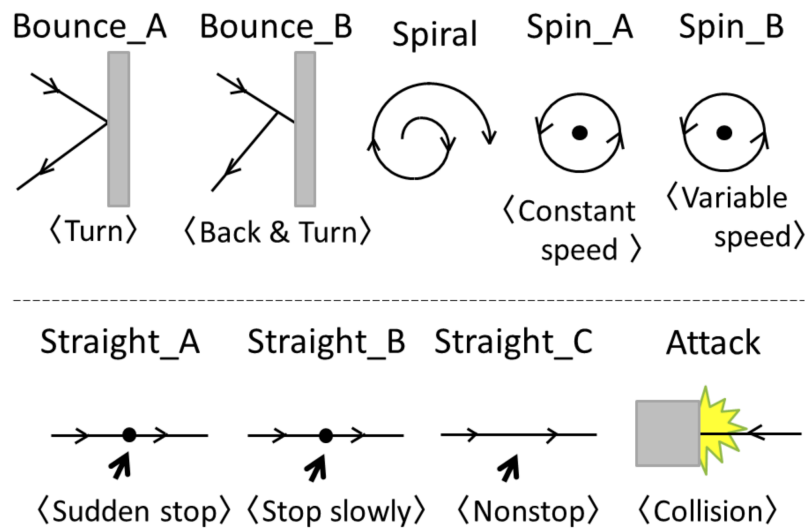


Fig. 3.11: Nine simplified motions for verifying Kawaii-ness. [菅野 15]



Fig. 3.12: Create with a cover for composing test motions. [菅野 15]

い」の2択で回答を求め、「かわいい」と回答した場合には動きのどの部分にかわいさを感じたのかを記述させた。また、日頃からかわいいという言葉を利用する頻度、その対象、Create をかわいいと感じるかについても回答させた。なお、詳細な結果と考察は既報に譲る [菅野 15] が、以下の知見を得ることができた。

実験の結果、直線的な動きよりも曲線的な動きがかわいいと評価される傾向がみられた。また、高速より低速なものが、よりかわいいと判断される傾向があった。当初想定した躍度を有する動きは、評価が二分し、かわいさに直接影響をあたえる因子ではないことが示唆される。これは、他の因子に躍度が加わった際にかわいさを表すと言い換えることができるが、他の因子については特定できなかった。自由記述においては、ほぼ全員がロボットである Create を生き物とみなして動きを見ていたり、その動きに対してストーリーや意図（意思）を感じる記述をしていた。

### 3.6.3 結果

ロボットにおける動きのかわいさには3つの形容詞「単純な」「滑らかな」「規則的な」が影響すること、その動作としては「曲線的」「ゆっくり」が傾向として見られることを示すことができた。

しかし、3つの形容詞が指し示す物理量は特定できていない問題がある。実験当初は、物理量が特定できれば、それをロボットに実装することができるという考え方を持っていた。そのため現象を細かく分割し、その要素にかわいさが見られるのではないかといった還元主義的なアプローチを採用したのだが、そこに問題があった可能性がある。そもそもかわいさとは、動きの要素に見られるものではなく、相手や環境に対する働きかけや相互作用の中に見られる可能性も存在しているからである。

また、介護者支援ロボットの感性表出において、その腕の動きと感情の表現は「人間に似た」ものとなっている。かわいさの研究においても、「生き物」「意思・意図」といったアンケート回答が存在している。このことから、アニメシー知覚の概念を用いて調査する必要性を示唆している。

人間と同じ環境で動作するロボットは、その動作印象においても人間に悪い影響を与えてはならない。その意味でも「かわいさ」以外の要素も含めた多様な要素において、本研究を継続する必要がある。

### 3.7 プラットフォームロボットロボットの改良

介護者支援ロボットのプロトタイプの開発によって、様々な問題が明らかとなった。特に、最低限の動作や印象評価を目的としていたため、構造や機構に問題があった。腕の自由度に余裕がなく、日常のタスク上も感性表出上も最低限の動作しかおこなうことができなかった。頸部に十分な自由度が確保できていないため、腕以外の要素による感性表出が困難であった。

また、機能面からその形状を断定してしまっている要素もあった。具体的には、床上のものを拾得できるようにするため、腕の長さが非常に長くなっているが、この感性的な評価はおこなわれていない。さらに、腕が長いことは重量面からも機構面からも問題が多い。

以上の種々の問題を解決すると共に、必要な要件を満たすロボットが感性的な動きを示す際のプロポーションやデザイン、大きさなどの要素が与える影響を調査するために感性表出プラットフォームロボット（介護者支援ロボットの新型機）が開発された[作本 13]。

### 3.8 まとめと課題

本章では、介護者支援ロボットのプロトタイプロボットを構築した過程を示した。介護者支援ロボットの機能的なスペックを有しながら、被介護者に悪い影響を与えないための形状や色、感性的な動作を満たす必要がある。その中でも特にロボットの外から見える感性要素の形状と色の外的感性の研究に重点をおいて述べた。

介護者と被介護者を中心とした実験参加者を対象とするアンケートによって、介護者支援ロボットの形状として「多くの人にとって悪くない」形状を選定することができた。その形状を元に、実際のプロトタイプロボットの開発をするとともに、それがロボットとしての基本動作を有することができるセンシング機構や制御モジュールを構築するこ

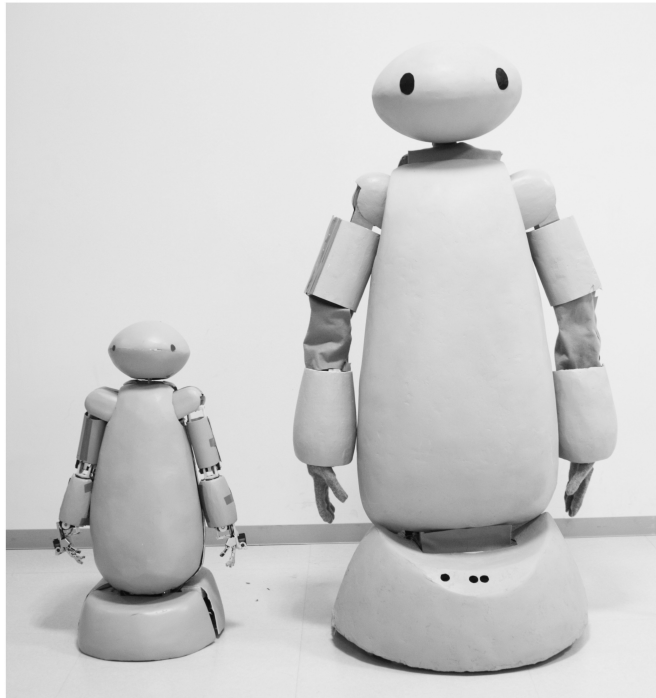


Fig. 3.13: KANSEI Expression Platform Robot[作本 13], called KEPRO.

とができた。プロトタイプに外装をつけたCGを利用し、色のランキングを求め、複数の評価手法を組み合わせることによって、介護者支援ロボットとして好まれる色を求めることができた。動きについては、感性的な印象を調査する手法について検討・実施し、印象に影響する動作については示すことができたが、その物理量を特定するには至らなかった。これらの研究結果によって、実際の介護者支援ロボットを開発する際の知見を得ることができた。

また、これらの開発・研究をおこなう過程において、2点の問題と課題を得ることができた。

第1は、積み重ね型の手法とロボット実機開発の関係の問題である。プロトタイプ開発にあたり、逐次基礎となる事項から積み重ねる方式にて研究を進めた。慎重に検討・研究した上で次に受け渡すよう心がけていたが、次の段階に移動した後に前過程の選定・決定事項が問題となることがある。例えば、ロボットの腕長決定過程と感性評価が

おこなわれていないこと、プロトタイプ製作時に頸部自由度を2自由度としたため頭部形状によっては感性動作が限られることなどが挙げられる。特にロボット実機の開発は、非常に多くの時間と労力を有し、修正にも時間がかかり、後戻りできないケースも存在する。

この開発過程は、ソフトウェア開発手法ではウォーターフォール手法と呼ばれ、後戻りできないことによる問題点が指摘されている。また現在では、その欠点を解決する手法であるアジャイル型開発が盛んである。ハードウェアが関係する研究開発や準備分析に時間がかかる研究において、完全なアジャイル型を採用することはできないが、より細かく機能要素を分け短期間で反復する形でリリースし、問題点が早く明らかになるようにすべきであろう。

第2は、アンケートおよび分析手法の改善が必要な点である。形状の予備実験においては、未知の存在である介護者支援ロボットに対して、SD法の尺度である形容詞対がイメージできないという回答があった。色の実験においては、アンケートの回答に非常に長い時間がかかり実験方法が複雑なため、介護者および被介護者からのデータ採取は断念した。本研究の場合、介護者や被介護者が対象となるが、そもそも多くの実験参加者の協力を得ることが難しく、多くの時間を拘束することもできない。より具体的なイメージが湧きやすい状態で、単純に回答することができ、短時間で収集可能なアンケート手法を検討する必要がある。

以上の2点に対する解決策として、拡張現実感 (Augmented Reality: AR) を利用した実験手法が考えられる。拡張現実感とは、現実の物や空間に対して情報や画像などを付与し、その名の通り現実を拡張するものである。その多くは実際のカメラ映像に対してCGや文字を合成し、プロジェクタやモニターから出力する。

この技術を用いることによって、ロボットのハードウェアがない状態であっても、現場の映像にCGを合成することができ、より現実味のある理解しやすいアンケート収集が可能である。完成した部分までを固定し新規部分を追加したCGを作成し、逐次的に

実験をおこなうことによって一回あたりの実験時間を減らすことが可能となる。これらは、第2の問題点の解決に繋がる。また、その開発や実験の過程はアジャイル型ソフトウェア開発手法と考え方が似ており、第1の問題点の解決にもなる。

筆者は、「拡張現実感を用いた人間共生ロボットの感性評価」 [宮治 09] において、その効果を確認した。ロボットのサイズが変わることによって、同じ動作をおこなった場合に心理的な影響が変わるのかを検証することを目的としておこなった予備調査的な研究である。短期間で、ARの環境を構築と単純なロボットモデルとモーションの作成をおこなった。Fig. 3.14, 3.15 に実験風景を示す。

頭頂高は 1,400[mm] と 900[mm] で異なるが、どちらも同じ形状のロボットである。腕部を前後に振る単純な動作をおこなえる。ロボットを投影する基準となるマーカを移動・回転するとそれに応じてロボットも移動・回転する。マーカを撮影するカメラアングルを変えるとロボットを見る方向を変えることもできる。

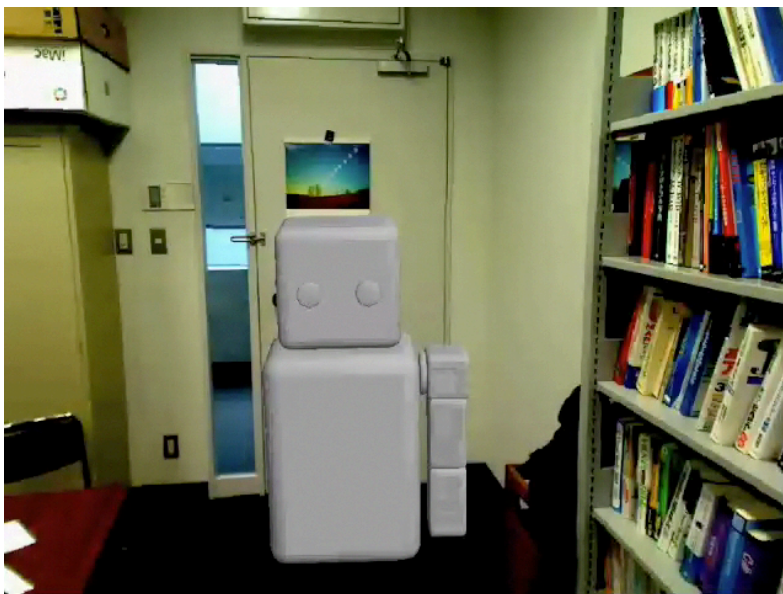


Fig. 3.14: Large robot (height: 1,400[mm]) displayed using AR for investigating size effects. [宮治 09]

このように、実在感をあたえながら、現実に近い状況で、ロボットの評価実験をおこ



Fig. 3.15: Small robot (height: 900[mm]) displayed using AR for investigating size effects. [宮治 09]

なうことが可能となる。また、現在はゲーム開発環境の進歩により、さらに容易に開発が可能になった。人間と実際に接触する手前の部分までは、ARによって構築・実験することが望ましいと考える。

なお、本研究にて用いたARによる評価手法は、第7章において記載する擬似感性システムの評価においても活用した。





## 第4章

# 擬似感性システム

本研究では、介護者支援ロボットを実現するため感性的な情報処理の機能として「擬似感性」を考案し、構築した。

前述のとおり介護者支援ロボットは、物理的な支援行動と精神的な支援行動をおこなう必要があるが、これらを実現する二つの機能を単純に一体化しても、その行動は十分におこなうことができない。このロボットは、日常のケアに関わる作業を実行中にそれ自身の感情的な情報を表出することができなければならないし、そのために二つの機能は齟齬を起こさないような仕組みである単一のシステムに統合されなければならない。擬似感性は、この統合のための鍵である。

本章では、まず擬似感性の概要と全体の情報処理について述べる。次にそれぞれの情報処理要素が受け持つ範囲を示し、それを構成する3要素のひとつである感性同定部について解説する。また、その他の構成要素である感性生成部と感性表出調整部については次章以降で述べる。

なお、研究目的にも記したが、この擬似感性に必要な機能や構成は、介護者支援ロボットに限定されるものではなく、ひろく人間との密なインタラクションを行うロボットやアプリケーションソフトウェアにも適用可能である。擬似感性の実現において、2章において述べたとおり、あくまでも介護現場での適用を前提とした機能的な設計手法を用いている。そのため、感性生成部に用いたのは介護の現場に則した学習に際する教

師データであり、その表出では介護現場での限定的な動作に限っている。再学習や動作の選定や検証は必要ではあるが、本研究の擬似感性の構成や機能および得られた知見は、他の領域での流用が可能であると考える。

## 4.1 概要と情報処理構造

介護者支援ロボットの実現のためには、被介護者の指示や状態に応じたロジカルな行動と、被介護者の感情状態に応じたロボットの感情のような状態に基づいたインタラクションや感性的な表出が必要であり、それらは統合される必要がある。

ロボットの感情のような状態を作り出すためには、「外界からの入力に対して主観的な反応（処理）をする仕組みそのもの」[宮治 01]が必要であり、さらに感性的な表出のための仕組みを含めて、「擬似感性（Virtual Kansei）」と命名した。

この擬似感性とロジカルな情報処理が統合されたシステム構成を、Fig. 4.1 に示す。なお、本構成図は、大まかな情報処理構造を示しており、細かな制御や緊急時の割り込み処理などの構造は省略している。また、各実験におけるシステムにおいて、Fig. 4.1 のすべての処理要素が実装できているわけではない。

ロボットは、直接インタラクションをおこなう相手である被介護者自身の状態および命令と周囲の環境を主要な外部情報とし、それらに対する処理をおこなう。被介護者からの情報は、音声指示や物を指し示す行為を含むジェスチャに加え、顔の表情や声のトーンなどの無意識的な行動が含まれている。環境情報としては、騒音や明るさ、温度などを想定している。これらの外部情報は、論理処理部と感性処理部の二つの主要処理部に送られる。

環境情報や指示、被介護者の状態は、ロボットの論理処理部に送られる。ロボットは、これらの情報とあらかじめ決められているタスクリストに基づいて、次のタスクを選択する。一方、顔の表情や声のトーンなどの被介護者の感性的な情報は、感性処理部に渡される。そこで、まず被介護者の感情状態が同定され、それを主な情報源としてロボッ

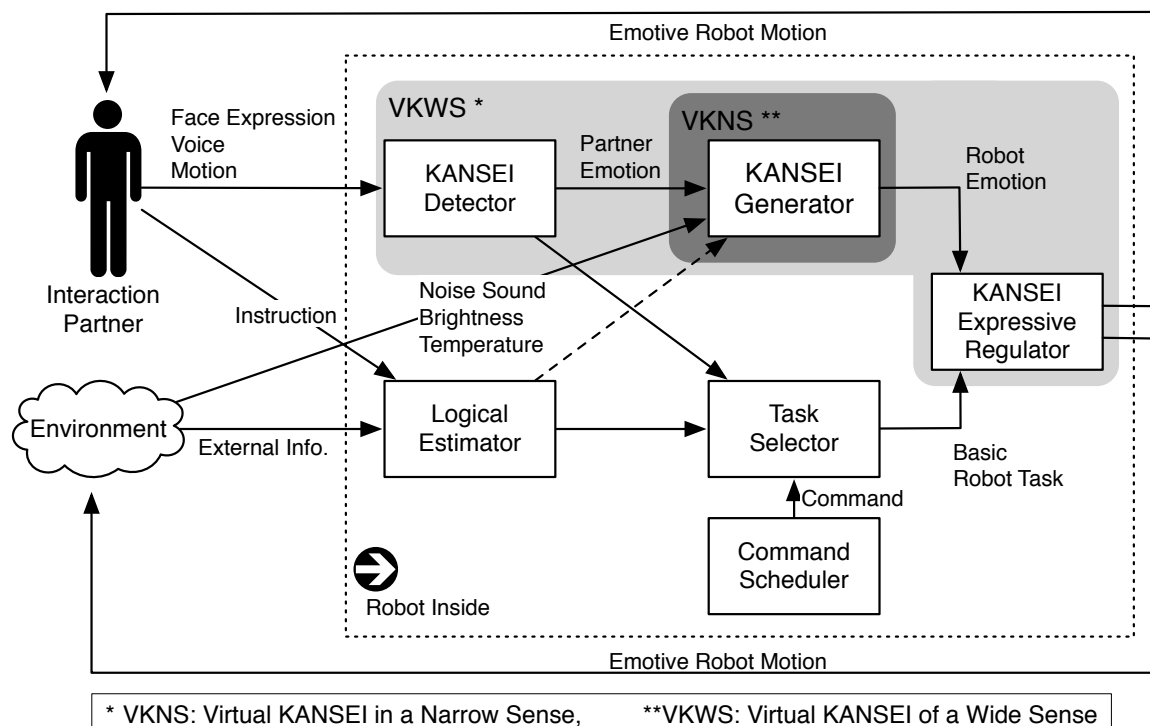


Fig. 4.1: Conceptual information processing structure of the Caregiver Support Robot with Virtual KANSEI. (Simplified from [Miyaji 03]).

トの感情<sup>4</sup>が生成される。また、環境の情報もロボットの感情生成のために利用する仕組みも構築した。最後に論理処理部において選択されたタスクを実行する際には、ロボットの感情が効果的に表現できるようにロボットの動きが調整される。

本情報処理構造において、入力に用いる被介護者の情報の取り扱いとロボットの感情表出の手法には、三つの特徴がある。

まず、被介護者の表情や声のトーンなどから得られる情報を利用していることが一点目の特徴である。入力として用いる被介護者の感情状態は、発話の文脈を理解する手法があると同時に、そのコンテキストからの推論を利用する方法もあることは承知しているが、本研究では取り扱わないこととした。なぜなら、介護実習での観察において、被介

<sup>4</sup> このロボットの感情は、実際の感情ではなく、その詳細な定義は5章にておこなう。

護者は自分の感情を直接口頭で表現することは稀であることが確認できたからである。

次に、ロボットの生成された感情と表出する感情を明確に区別できる構成をとっていることが挙げられる。これは介護士が自分の感情をそのまま表現しないことを受け、ロボットの感情表出においても同様の方式が実現できる構成とした。さらにロボットからの感情表出は、文字や音声で直接的に表現するのではなく、動作の調整という手法を採用した。

最後の特徴は、論理処理部と感性処理部の密接な関係である。当然のことながら、ロボットが実際の作業をおこなうためには、感性的な処理だけでは十分ではない。介護者支援ロボットにおいても、具体的な行動をするための指針は、論理的な判断処理部の出力を元に行動生成部がたてる。その行動計画に対して、ロボットの感情に基づき「味付け」をおこなったり、影響を与えたりする。また、この論理的な認識処理の出力は、感性的な表出処理をおこなうための入力にもなる。

以上が、介護者支援ロボットにおける擬似感性の位置づけと、主要な情報処理の構造である。

## 4.2 狭義と広義の擬似感性

この擬似感性は、「狭義」と「広義」からなる二つの枠組みで考えることができる。Fig. 4.1 には、その狭義と広義が受け持つ範囲が示されている。

狭義の擬似感性 (Virtual Kansei in a narrow sense: VKNS) [宮治 03b] は、感性生成部に等しく、感性状態 (形容詞的表出, 心的反応, 感情の状態) を生成する。認知科学の分野では、認知した結果に基づき感情が生成されるというモデルが提案されている。しかしながら、入力に対して必ずしも「論理的な認識処理」をおこなう必要はないと考える。つまり、外界の様々な情報を感性的に同定・認識し、その情報によって感性状態に相当する出力を得ることができると考えた。

一方、広義の擬似感性 (Virtual Kansei in a wide sense: VKWS) [宮治 01] は、機

能を示す言葉ではない。広義の擬似感性は、感性情報を処理する機能だけでなく、人間に対して感性的な影響を与えることができる要素をすべて含む。具体的には、人間の感情状態を同定する部分や感性生成をおこなう部分、感性の表出を調整する部分などの機能部位に加えて、ロボットの形状やサイズ、色や質感、ロボットの動きなどの物理的な特性も含まれている。このことは、人工知能の分野では「知能は行動の中に表れる」という考え方があるが、本研究は「感性も行動の中に表れる」と考えることに起因している。介護者支援ロボットに適用して考えた場合、外界の状況、内的状態を狭義の擬似感性に与え、その出力を基にロボットの行動を調整した味付けをおこない、それが人や環境に働きかける部分に感性を見ることができると考える。つまり、広義の擬似感性とは、外から観測可能な領域をすべて含む概念である (Fig. 4.2)。

なお、第3章において外的感性という言葉を用いロボットの形状と色を取り扱ったが、これは広義の擬似感性に含まれ、ロボットが存在しているだけで影響を与える感性要素を示している。

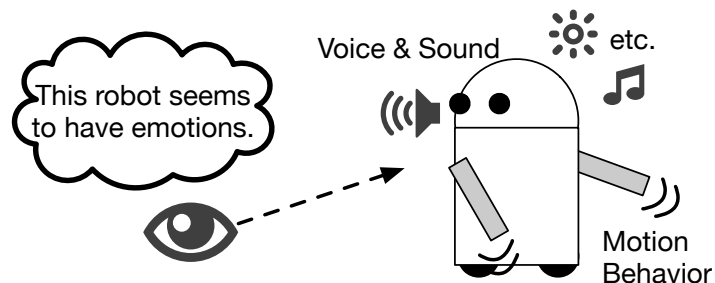


Fig. 4.2: Concept of Virtual KANSEI of a Wide Sense (VKWS).

ここでロボットに感情を持たせることは、ロボットが命令以外の要素にて行動するため、危険なのではないかという議論についても触れる必要がある。人間の意識下であって行動を司るものは、「知」「情」「意」とされている (Fig. 4.3)。

ここで、「知」は論理的な情報処理であり、一般的な人工知能やロボット工学の分野で取り扱われる領域である。介護者支援ロボットにおいては、論理処理部に相当し、人間

からの命令を元に行動する。

「情」は、感情に基づく情報処理であり、論理を伴わない部分である。この情を引き起こす要素には、心身問わず欲求や自己防御が挙げられる。介護者支援ロボットにおいては感性生成部に相当するが、その感情状態は欲求や自己防御などによるのではなく、被介護者や環境情報を元に生成される。

「意」は、意志のことであり、自発的な行動を導く欲求である。介護者支援ロボットにおいては、「意」に該当するものはない。

換言すると、本ロボットおよび擬似感性のシステムは、欲求や自己防御の要素がないため感情や意志は持たず、介護者と同じような振る舞いをするための擬似的な感情を作り、論理的な行動は人間からの命令に従う要素しかない。したがって、本システムを採用する限り、ロボットが感情のようなものを有した場合にも危険ではないといえる。

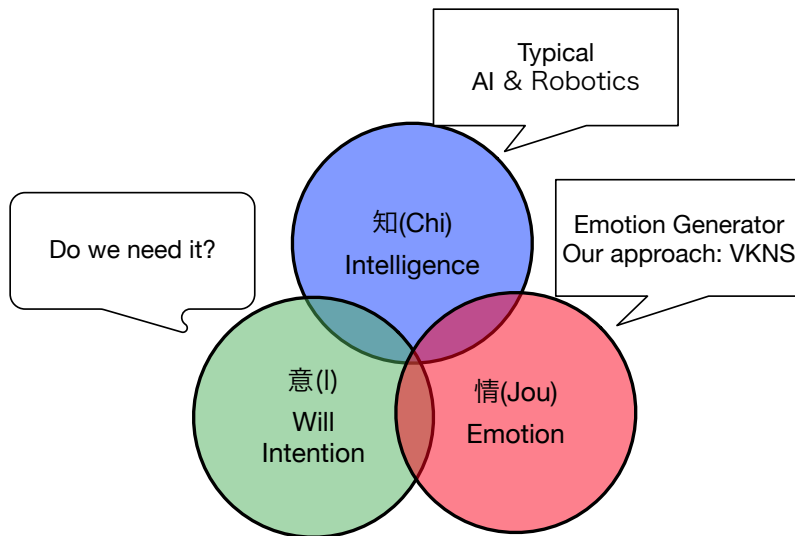


Fig. 4.3: Three factors controlling human behavior and the role of Virtual KAN-SEI.

### 4.3 擬似感性の構成

本節では、前述の情報処理構造の内、特に擬似感性の主要構成要素について解説する。擬似感性は、機能に応じて三つの部分「感性同定部: Kansei Detector」「感性生成部: Kansei Generator」「感性表出調整部: Kansei Expressive Regulator」に分かれている。Fig. 4.1 における感性処理部を簡略化した構成を、Fig. 4.4 に示す。

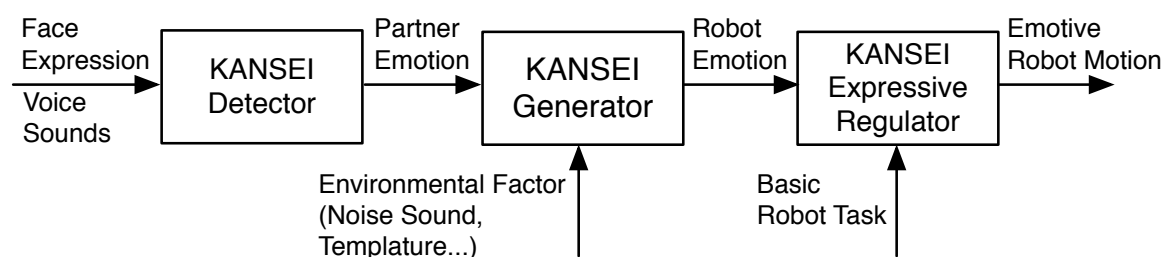


Fig. 4.4: Three major functions of Virtual Kansei [Miyaji 07]: Kansei Detector, Kansei Generator and Kansei Expressive Regulator.

最初の処理を担当する感性同定部は、被介護者の顔画像や音声から「快-不快」状態や感情を把握する機能である。次の構成要素の感性生成部は、ロボットの感情に類するもの（=擬似的な感情）を生成する機能であり、この部位が前述の狭義の擬似感性になる。最後の感性表出調整部は、ロボット自身の感情に基づいてロボットのとるべき動作を調整（本来の出力を変調する）する部位である。

感性同定部については、情報の取り扱いそのものには特徴があるが、その構成については一般的な手法を採用している。感性生成部と感性表出調整部は、他の研究とは異なる概念や構造を有している。したがって、感性同定部については本章にて概説するにとどめ、感性生成部と感性表出調整部については、次章以降で詳説する。

## 4.4 感性同定

感性同定部は、主に二つの出力情報（被介護者の状態情報）について取り扱ってきた。

まず、最初期においては被介護者の「快-不快」の程度を同定する研究をおこなった。これは、我々が「快レベル」として「快-不快の間で快の度合を数値化したもの」として定義したものである [高田 00]。実際には、快-不快の度合いを5段階のレベルに分けている。ここでいう快とは、概念的に喜び・満足である状態を示し、不快とは怒り・イライラ・不満足・苦痛である状態を示す。この快状態は、介護者-被介護者間でのコミュニケーションの尺度として実際に用いられている量であり、有効な量であると考えることができる。これは、本研究の介護施設でのヒアリングによって、介護者が最も必要としている重要な情報であることを知り、それに対応することを目指した [富山 01]。

その後においては、さらに詳細な情報として対象者の感情の状態（喜び・恐れ・悲しみ・怒り・嫌悪・平静）の六種類を同定する研究をおこなった。これらの感情を選定した理由は、心理学で取り扱われることが多いこと、表情として表れる感情であることが挙げられる。4.4.2にて詳細を記述するが、Ekman らが取り扱う7種の表情を示す感情 [エクマン 87] を元に、この六種を選定した。本研究では、表情からの感情同定もおこなっているため、音声からの同定においても統一した。

これらの同定結果を用いることによって、被介護者の状態の履歴を記録することができ、異常状態の検出など介護に役立てることが可能となる。さらに、ロボットが不快感を与えないためにも相手の感情状態に適したロボットの状態や動作を作り出すことが可能となる。

以降、音声からの感性同定と顔画像からの感性同定の研究について述べる。



#### 4.4.1 音声からの感性同定

音声の面からのアプローチとしては、発せられた音声の言葉や文章の意味情報を解析することなく、純粋に音の情報から、発話者の快レベルおよび感情を同定する研究をおこなってきた [高田 00][湊 01][宮治 03a]. 本節の主要部分は、それらの研究をまとめた「Emotion Detecting Method based on Various Attributes of Human Voice」[Miyaji 05]にて報告済みである。

音の情報には、様々なパラメータが存在する。これらの中で快状態や感情を識別するために有効な属性を明らかとすると共に、これらの弱点を補い合うことによって高い認識率を目指した。ここで音声には個人性情報、言語性情報、情緒性情報などが含まれているが、その中の情緒性情報のみを研究対象とした。また、人間の発声器官から発せられる有声音、無声音、気音のすべてを音声として取り扱った（これには、くしゃみやあくびなどが含まれる）。

感性同定部の処理機構は、大きく二つの処理で構成されている (Fig. 4.5)。まず、マイクロフォンで採取した音声データを AD 変換し、音声処理部に渡す。音声処理部は、信号処理をおこなう部位であり、それにより線形予測係数 (図中では LPC と記載) やピッチ、声紋を求める (Fig. 4.6)。感情状態同定部は、ニューラルネットワークで構成し、これらのパラメータを入力とし、快レベルや感情状態を出力する。

音声を周波数スペクトルとしたとき、その巨視的な特性 (概形) と微視的な特性 (周期性) に分解でき、線形予測係数とピッチはそれぞれに対応しているパラメータと考えることができる。線形予測係数は、声道の特性を表すスペクトル包絡を求める手法によって得られた係数である。ピッチとは声帯振動の基本周波数と定義される。このピッチの遷移は、一般に感情の強さを顕著に表す特徴量とされている。また声紋は、周波数スペクトルを 3 次元のグラフ (時間, 周波数, 信号の強さ) で表現したものであり、周波数分布の時間変化が視覚的に表現可能である。

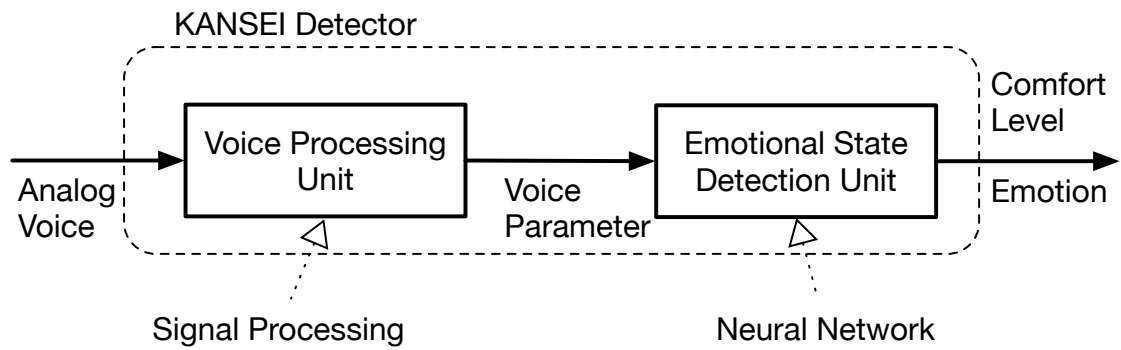


Fig. 4.5: Processing in KANSEI Detector for human voice.

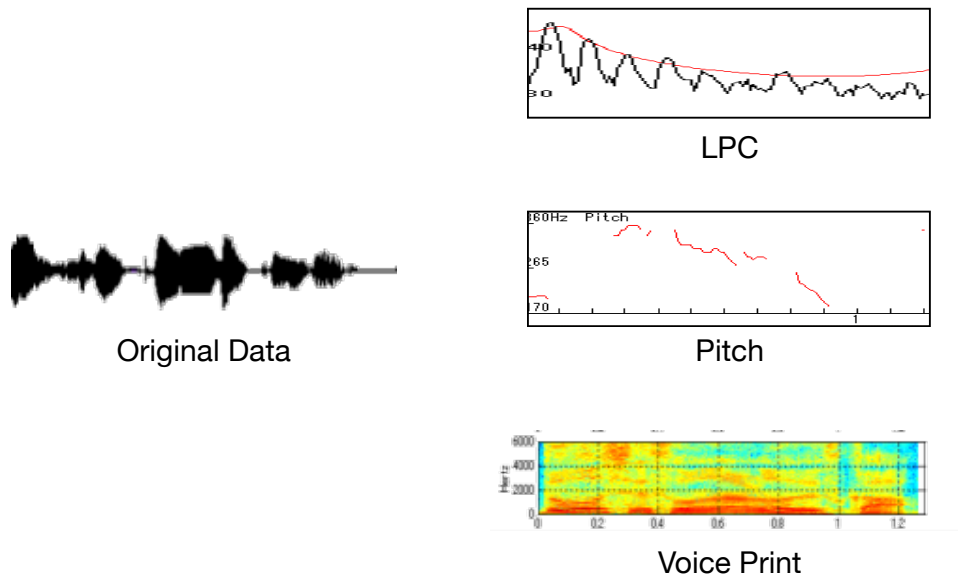


Fig. 4.6: Human voice signal and various attributes (LPC, Pitch and Voice Print).

線形予測係数を求める際、フレーム処理の窓関数にはハミング窓を用い、フレーム長およびフレーム周期は 23[ms] の前処理を施した。また、線形予測係数を多く利用するほど、元の音声信号から得られるスペクトル包絡を正確に再現することができる。予備実

験の結果から、我々の研究では8個の係数を用いれば十分であるという結論を得た。この8個の係数を快レベルを同定するニューラルネットワークの入力に用いた。

ピッチ抽出には、ケプストラム法を用いた。予備実験によって、50[ms]毎にサンプルを採取し、現在を含めて過去5回分 ( $p(t) \sim P(t-4T)$ ) の5個、計250[ms]分) が適当であるという結果を得た。これらの5個の値を、快レベルを求めるニューラルネットワークの入力とした。

声紋は、フレーム処理の窓関数にはハミング窓を用い、フレーム長およびフレーム周期は23[ms]とし、FFTによって求めた。予備実験の結果、感情は周波数の1,500~4,000[Hz]部分に表出されていると確認されたため、その部分を用いることとした。しかしながら、同じ発話者・内容であっても、発話スピードによって値の分布が変わってしまう問題があった。声紋を時系列データに4分割し、平均密度を求めることによって、発話スピードに依存しない特徴を得ることを考案した。感情を同定するニューラルネットワークの入力は、この4個の平均密度値とすることにした (Fig. 4.7)。

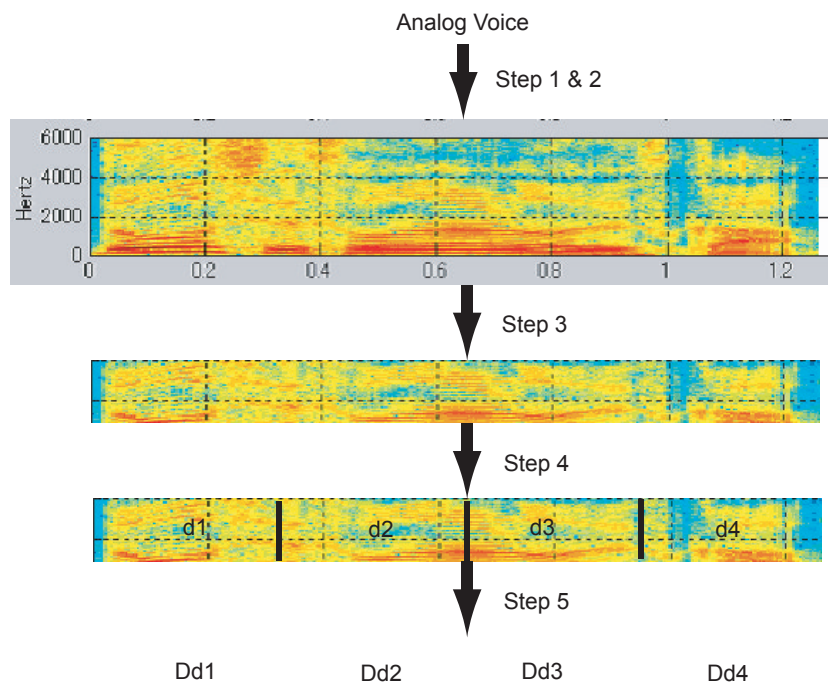


Fig. 4.7: The flow of processing of voice print to compute average density.

これらの条件において様々な実験をおこなった。実験の方法および結果の詳細は、既報 [Miyaji 05] に譲る。総じて以下の結果が得られた。

LPC を用いた実験では、3 層のフィードフォワードニューラルネットワーク（入力層 8, 中間層 20, 出力層 5, バックプロパゲーション法にて最小自乗誤差が 0.01 まで学習）を用いるもの、これを改良し 1 ステップ前の出力を入力に加える形式のリカレントニューラルネットワーク（入力層 13:8+5, 中間層 20, 出力層 5, バックプロパゲーション法にて最小自乗誤差が 0.01 まで学習）を用いるものの比較実験をおこなった。その結果、時系列データの処理に向くとされるリカレントニューラルネットワークの方が、82% (1,157/1,404) なる高い値を示すことができた。ちなみフィードフォワードニューラルネットワークの場合には、46% (633/1,395) であった。なお、この実験の際に学習データ（教師データ）が膨大なため、どこまで間引きが可能かの検証をおこなった。その結果、全データの 1/4 までデータを間引いても、認識率に大幅な影響がないことを示した。

ピッチによる実験では、まず 3 層のフィードフォワードニューラルネットワーク（入力層 5, 中間層 20, 出力層 5, バックプロパゲーション法にて最小自乗誤差が 0.01 まで学習）を用いた。ここで、ピッチには欠落部分が存在している。試行錯誤の結果、ピッチ欠落部が入力された際には、出力層に快レベルではなく検出不可と出力する形式（入力層 5, 中間層 20, 出力層 6, バックプロパゲーション法にて最小自乗誤差が 0.01 まで学習）のニューラルネットワークにて比較実験をおこなった。その結果、ピッチ欠落部を検出不可部と認識し、平常および不快の認識率が向上し、全体として 94% の高い認識率を得られた。ただし、ピッチ情報の特性ではあるが、検出不可部が全データの 75% を占めているという問題が存在している。

この問題に対応するために、LPC とピッチの両方を入力層とする 3 層のフィードフォワードニューラルネットワーク（入力層 13:8+5, 中間層 16, 出力層 5, バックプロパゲーション法にて最小自乗誤差が 0.01 まで学習）を用い、同様に実験した。LPC とピッチ

という情報を組み合わせたことによって、ピッチ情報の欠落部においても感情判定することができた。また、LPC 単体の時よりも 2 ポイント高い値である 85% を得ることができた。

声紋による実験では、3 層のフィードフォワードニューラルネットワーク（入力層 4, 中間層 15, 出力層 7, バックプロパゲーション法にて最小自乗誤差が 0.01 まで学習）を用いた。実験データが十分ではないが、正答率は約 6 割であり、声紋の特徴量（密度の時系列）が感情検出に有効である可能性を示すことができた。

なお、これらの音声からの感情同定の手法は、いずれもリアルタイム動作していない問題点がある。

#### 4.4.2 顔画像からの感性同定

人間の表情の面からのアプローチとしては、音声と同様に快レベルおよび感情状態を同定する研究をおこなってきた。正面顔、一部隠蔽のある正面顔、顔の横（Yaw 軸）方向回転への対応、顔の二方向（Yaw/Pitch 軸）への回転への対応と徐々に認識対象の難易度を上げる形で、また照明の状態に影響を受けず、認識対象の汎用性をあげるように条件の難易度を上げる形で、ステップアップしてきた [松井 98][矢島 01][鈴木 02][近藤 05][矢島 03][勝野 05]。ここでは、感情同定のみ記載する。また、本章の主要部分は「顔画像の周波数特性を利用した表情認識」[矢島 03]にて報告済みである。

顔画像からの感情同定システムは、画像処理部、AUID 検出部、感情選択部から構成されている (Fig. 4.8)。

画像処理部では、顔画像から顔器官（左目、右目、口）画像を自動的に切り出す。その各顔器官画像に対し、2 次元フーリエ変換を施し、周波数特性を表す特徴画像を生成する (Fig. 4.9)。周波数特徴画像を用いたのは、照明状態の影響による認識率の低下を防ぐためである。

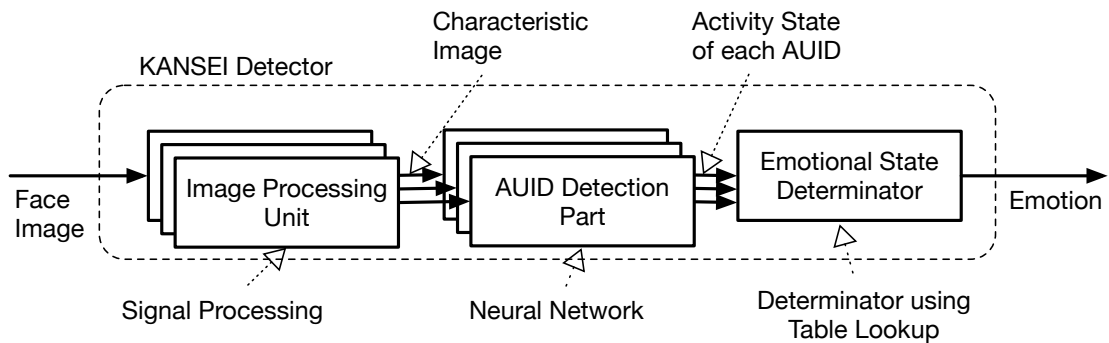


Fig. 4.8: Processing in KANSEI Detector for facial expression.

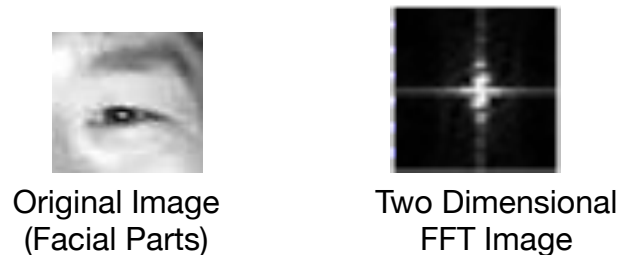


Fig. 4.9: An original image and its two dimensional frequency image.

それぞれの各顔器官の周波数特徴画像に対応した AUID 検出部によって、反応があった AUID が出力される。この AUID 検出部は、ニューラルネットワークにて構成した。その出力された AUID の組み合わせで、感情状態を同定する。

ここで、ニューラルネットワークによる AUID の検出部の入力と出力には特徴がある。その基本となる考え方には、P. Ekman らにより提案された表情記述法である Facial Action Coding System (以降 FACS) [エクマン 87] を採用している。表情分析の研究では、人種に抛らず同じく表情認知可能な普遍的な表情は 6 種類「驚き (Surprise), 恐れ (Fear), 嫌悪 (Disgust), 怒り (Anger), 喜び (Happiness), 悲しみ (Sadness)」であり、これを基本表情カテゴリーと定めている。FACS は、表情に影響を与える顔面筋

肉を解剖学的小および視覚的に認識可能な 44 の動作単位である Action Unit (以降 AU) に分け、AU の組み合わせによって表情を記述する方法である。本研究では、この AU の番号を AUID と記す。Table 4.1 に各 AUID と各器官の動きの対応 (Main Action Units, 計 33 個) を示す。

Table 4.1: Table of correspondence between AUID and actions. [エクマン 87]

AUID	Action	AUID	Action
1	Inner Brow Raiser	20	Lip Stretcher
2	Outer Brow Raiser	22	Lip Funneler
4	Brow Lower	23	Lip Tightener
5	Upper Lid Raiser	24	Lip Pressor
6	Cheek Raiser	25	Lips Part
7	Lid Tightener	26	Jaw Drop
8	Lips Toward	27	Mouth Stretch
9	Nose Wrinkler	28	Lip Suck
10	Upper Lip Raiser	38	Nostril Dilator
11	Nasolabial Furrow Deepener	39	Nostril Compressor
12	Lip Corner Puller	41	Lid Droop
13	Cheek Puffer	42	Slit
14	Dimpler	43	Eyes Closed
15	Lip Corner Depressor	44	Squint
16	Lower Lip Depressor	45	Blink
17	Chin Raiser	46	Wink
18	Lip Puckerer		

本研究では基本六感情のうち「驚き」は、表出時間が短く・表出後即別感情の表出に移行するため、同定対象から外した。また、「平常 (Normal)」は、FACS では定義されていないが、本研究では AUID の組み合わせが表出されなかったものとした。5 表情 + 平常と AUID の組み合わせを Table 4.2 に示す。

以上を踏まえ、AUID 検出部について詳述する (Fig. 4.10)。入力は各顔器官の画像を周波数特徴画像に変換したもの (16 × 16pixel) である。3 層の階層型ニューラルネッ

Table 4.2: Facial Action Coding System, FACS. Relation between combinations of AUID and facial expressions. [エクマン 87]

Combination of AUID	Facial Expression
1 & 2 & 4 & 5 & 20 & 26	Fear
4 & 9 & 10	Disgust
4 & 5 & 7 & 10 & 23	Anger
6 & 12	Happiness
1 & 4 & 15	Sadness
none	Normal

トワークを用いるが、入力層と中間層の各ユニットは2次元状に配置されているように接続される。つまり一つのユニットから次の層の全ユニットに対して入力されるのではなく、限られたユニットのみに接続することによって、二次元画像の上下左右という特性を考慮した学習が可能となる。これが各顔領域ごとに用意される。入力層のユニット数は  $16 \times 16$ 、中間層は  $16 \times 16$ 、出力層はその顔領域が表す (Table 4.1) AUID の個数である。各出力ノード (AUID 検出) の値は、「1」に近いほど検出、「0」に近いほど検出できていないことを示す。

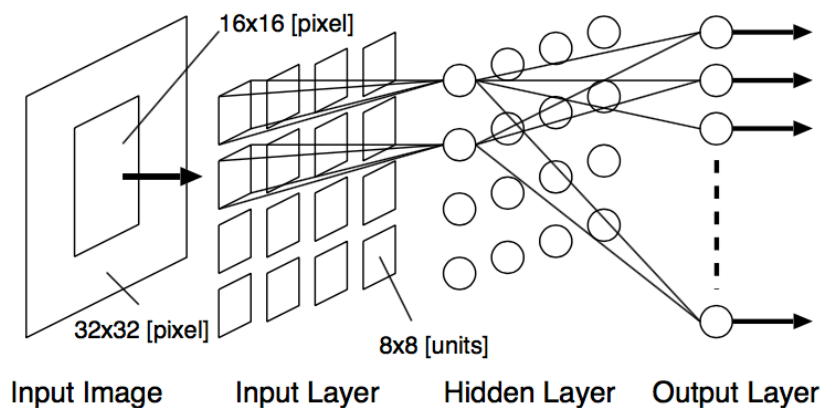


Fig. 4.10: Structure of the neural network in KANSEI Detector for facial expression identification. [矢島 03]



感情選択部では、上記の顔器官ごとの AUID 検出部を 0 または 1 の値となる閾値処理をし、1 を示した出力の組み合わせを Table 4.2 に照らし合わせ、感情を同定する。

これらの実験の方法および結果の詳細は、既報 [矢島 03] に譲る。総じて以下の結果が得られた。

上記手法による認識結果は、約 77% にとどまった。目視によるデータ照合をおこなったところ、実験参加者の表情表出は Table 4.2 とは異なったため、その判定基準となる組み合わせをカスタマイズした。その結果、認識率は約 99% まで向上させることができた。このことから実験参加者を増やし、より汎用的な AUID の組み合わせを求める必要があることがわかった。

また、通常の画像とそれに右方向からの擬似的な線形の影（グラデーション）を加えた画像、輝度を 50 明るくした画像での比較実験をおこなった。通常の画像と輝度を変更した画像では共に同じ約 99% の認識率を得ることができ、線形影では認識率の低下は 17% に止まった。これにより、照明の変化にも対応可能な手法であることが確認できた。

## 4.5 まとめと課題

本章では、介護者支援ロボットに感性的な要素を付与する際に必要な機能である「擬似感性」を定義した。また、日常のタスク実行時に感性を表出する情報処理機構について解説した。擬似感性は、外部観測可能な広義の擬似感性と感性的な内部状態を生成する狭義の擬似感性の枠組みで構成されていることを示した。狭義の擬似感性は、相手の人間の感性状態を観測し同定する部位と、感性的なものを生成する部位、感性を表出する部位によって構成されることを示した。また、この中の相手の感性を同定する部位を本章では取り扱い、音声からの同定手法と顔画像からの同定手法について述べた。

擬似感性の定義と構成には、ひとつの課題がある。あくまでも人間の命令を忠実にかつ論理的に判断し行動する自律型ロボットの存在が、その定義の前提条件となっている

ことである。この実現を待たなければ、完全な検証ができない。

感性同定問題点としては、近年急速に進展したディープラーニングが利用できていないことが挙げられる。本研究では、音声と顔画像の同定に用いた形式が、3層のニューラルネットワークにてバックプロパゲーションを用いる手法である。音声であれば現在は多層（ディープラーニング）のリカレントニューラルネットワーク、特に Long-Short Term Memory (LSTM) を用いるのが一般的である。これらを用いることによって、時系列データの認識率の向上が予想される。また、画像であれば同様に多層（ディープラーニング）の畳み込みニューラルネットワークを用いるのが一般的であり、高い認識率が期待できる。

また、ディープラーニングの利点としては、本研究において考慮検討したデータの前処理部分を省いた形での学習が可能であることが挙げられる。ディープラーニングは、何が特徴であるかということ自体を学習するからである。

実際にこれらの手法を適用するとともに、それに加えて本研究で得られた知見（前処理や AUID を認識し活用）を組み合わせた検討も可能である。

## 第5章

# 感性生成

ロボット自身の擬似的な感情を作り出す感性生成部は、大きく三つの手法：リカレントニューラルネットワーク（RNN）を利用した手法 [高田 01][宮治 02]，ペトリネットと遺伝的アルゴリズム（GA）を組み合わせた手法 [依田 03][小野 04][Miyaji 03]，隠れマルコフモデル（HMM）を用いた手法 [湖上 05][湖上 06][Kogami 07] によって構築をした。またペトリネットと遺伝的アルゴリズムを組み合わせた手法においては，その内部状況の分析ができることを利用して個性付けをおこなう試み [依田 03][小野 03][Miyaji 03] や環境情報が取り扱えるようシステムの拡張をおこなった [井上 06][井上 07]。

なお，本論文では感性生成なる名称を使用しているが，現在生成しているのは感情のみである。

本章では，まず感性生成部の特徴と密接に関係するこれらの手法に共通する要件について述べる。次にそれぞれの構成手法と実験の結果について解説し，考察する。

### 5.1 感性生成の要件

本研究では，介護者支援ロボットとして適切な感情生成をおこなう必要がある。これは，単にロボットに感情的な状態が生成され遷移するだけでは不十分であり，できれば被介護者に接する介護者と同様の感情状態としなければならないことを意味している。

ここで，介護実習をとおして得られた押さえなければならない条件がある。その一つ

目は我々が経験として知っている事実であり、人間の感情はその相手となる人間の感情状態から大きな影響を受けることである。これは、介護者が被介護者を介護する状況下において、特に顕著に見られたことである。もう一つは、介護者は被介護者に応じて、表出すべき感情を適応させていることである。なお、この二点目については感性表出調整部に譲る機能である。

また、感性生成部の実現のためには、その他にも以下の4つの考慮すべき点が存在する。まず、人間の感情状態生成と遷移の仕組みが既知ではないが、これを模倣できるものとしなければならない。二つ目に、人間の感情には動特性があり、それを考慮しなければならない。我々は皆、怒っている状態から瞬時に喜びの状態に変化することは困難であるように、感情の状態が瞬時には変化しないことを知っている。三つ目は、観測可能な情報しか利用することができないことが挙げられる。感情生成には、様々な情報が影響するが、それらの影響度合いを求めることはできないことも含めて考慮しなければならない。最後に、評価可能な状態・情報としなければならない。その妥当さを適切に示す手法は明らかになっておらず、それを定める必要がある。

以上を考慮して得られた感性生成部の要件を示す。

- a) 人間（介護者）と同様の感情出力とその遷移が得られること。人間の感情出力とその遷移の仕組みが明らかではないため、学習機能を用い、システムを構築する。
- b) 人間と同様に感情のダイナミクスが表現可能であること、つまりロボット自身の感情の出力が、次のロボット自身の感情に影響を与える構成が必要である (Fig. 5.1)。
- c) システムへの入力、環境の情報など様々なものが考えられるが、それらの情報同士の重みと感情の関係が明らかではない。因果関係の観測可能な情報として、相手の人間の感情と過去の自分（ロボット）の感情を入力とし、現在の感情を出力するモデルを基本とする。基本システムに影響を与える形で環境情報が加えら

れる構成とする。

- d) ロボットの出力感情は，評価できるようにすること。感性生成部からの出力は，複合感情とはせず，単一感情を出力させる。これは感性生成部からの出力と人間の感情出力を比較するためである。

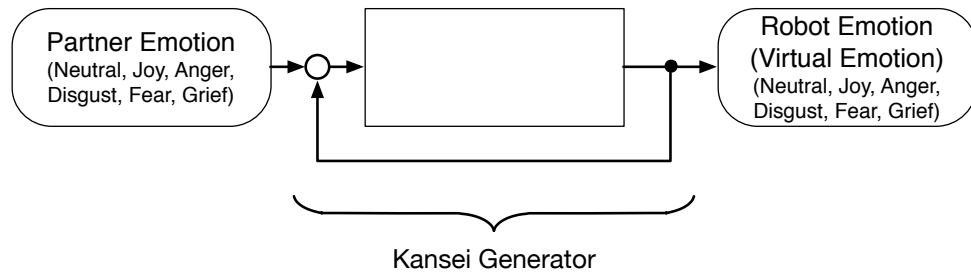


Fig. 5.1: Feedback structure of Kansei Generator. [Miyaji 03]

このロボットの出力感情は，人間が持つ真の感情とは異なるため，疑似感情とよぶ。

## 5.2 基本モデルと学習・評価データ

Fig. 5.1 に示した通り，感性生成部の基本的な入力是被介護者の感情であり，その出力はロボットの感情（疑似感情）である。また同様に前述した通り，その入力にはロボットの感情をフィードバックする構成としている。

この入力にも出力にもなる感情として，特に感情を示さない 平静 (Neutral) の状態と五つの感情：喜び (Joy)・恐れ (Fear)・悲しみ (Grief)・怒り (Anger)・嫌悪 (Disgust) を取り扱っている。以降，これを六感情と示す。前章でも述べたように，これらの六感情は Ekman によって提案 [エクマン 87] されたものであり，人間の顔表情から観測可能な状態である。本研究のシステムは，人間と同様の感情出力をおこなうことを目標とし，入力および出力には観測可能かつ検証可能なデータ扱う必要があるため，これを採用している。また，実験によっては感情の強弱を扱う必要があり，平静以外の五感情を強弱

で区分した合計 11 感情としているものもある。

Ekman の定義による「驚き」の感情を本研究では取り扱わない理由について、4.4.2 の「顔表情からの感性同定」にて簡単に述べたが、改めて記載する。本研究では予備実験をとおして驚きの感情に対して二つの知見を得たため、これを扱わないこととした。まず、驚きの感情はその他の感情状態と結びつくことが多く、単独の感情として扱うことが非常に難しいことがわかった。また、その表出の時定数が他の感情のものと大きく異なる（非常に短い）ことが観測され、他の感情と同列に扱えないことがわかった。そのため、この驚きの感情に対しては、関係研究者が別の手法にてアプローチを試みた [善教 13] が、本論文での言及は省略する。

感性生成部の学習のためには、介護者の感情推移の時系列データである感情履歴が必要となる。また、その感情履歴は、被介護者の感情履歴との関わりの中で変化したものであることが望まれる。しかしながら、実際の介護の現場で被介護者と介護者の感情遷移の履歴を採取することはできないため、それらのデータは模擬の被介護者及び介護者から採取することとした。

その方法として、まず三対の被介護者役と介護者役が感情的な内容を含む所定の会話を連続しておこなう様子をビデオ撮影した。次に、数日時間をあけて介護者役の者が、ビデオを見ながら自分の感情と相手（被介護者役）の感情を 5 秒ごとに評価する。これにより、被介護者および介護者の感情の時系列データセットを得る。また、その再現性を確認するために再び数日あけた後に、上記作業を繰り返す。この評価が 80% 以上一致するデータセットを二組に分け、それぞれを学習と評価（約 20 分間分）のために利用した。

このデータセットの中の被介護者役の感情遷移と介護者役の感情遷移を入力とし、介護者役の感情遷移と同様の出力となるように学習をおこなう。それぞれの手法によって、システムやその学習の条件が異なるため、それらについては後述する。

## 5.3 ニューラルネットワークによる感性生成部

介護者の感情状態を学習し模倣して出力する感性生成部を構成する手法として、一番最初に採用した手法はニューラルネットワークによる構成である。そこで、まず介護者の感情を教師信号として与えることによってニューラルネットワークの学習の可能性を検証した。

この際、フィードフォワード型のニューラルネットワーク（以降 NN）とシステムからの出力を入力の一部として用いるリカレント型のニューラルネットワーク（以降 RNN）を比較することとした。リカレント NN を比較対象とした理由は、5.1 節で述べた人間の感情のダイナミクスを表現すること、つまり過去の自分の感情が現在の感情に影響を与えるというモデルの妥当性を検証するためである。

### 5.3.1 ニューラルネットワークによる感性生成部の構成

システムは、3層構造の NN と、それに出力をフィードバックさせた3層の RNN の二種類を構築した。ここで、RNN の構造を Fig. 5.2 に示す。NN の構造は、図中の下半分（Output ユニットから下方向に伸び TimeDelay を通ってシステムの入力につながる部分）を削除した形式である。

入力および出力ユニットは、それぞれが感性生成部で取り扱う感情と紐付けられている。システムへの入力は、それぞれの感情に該当する入力ユニットに対して入力される。それぞれの出力ユニットの中で最大値を観測し、その観測されたユニットが示す感情を感性生成部の出力感情とした。また、全ての出力ユニットの出力値が 0.5 以下の場合には、該当感情なしと取り扱った。

NN による感性生成部は、入力および出力ユニット数は、平静、喜び（強、弱）、恐れ（強、弱）、悲しみ（強、弱）、怒り（強、弱）、嫌悪（強、弱）の 11 個である。予備実験の結果、隠れ層のユニット数を 26 個とした。

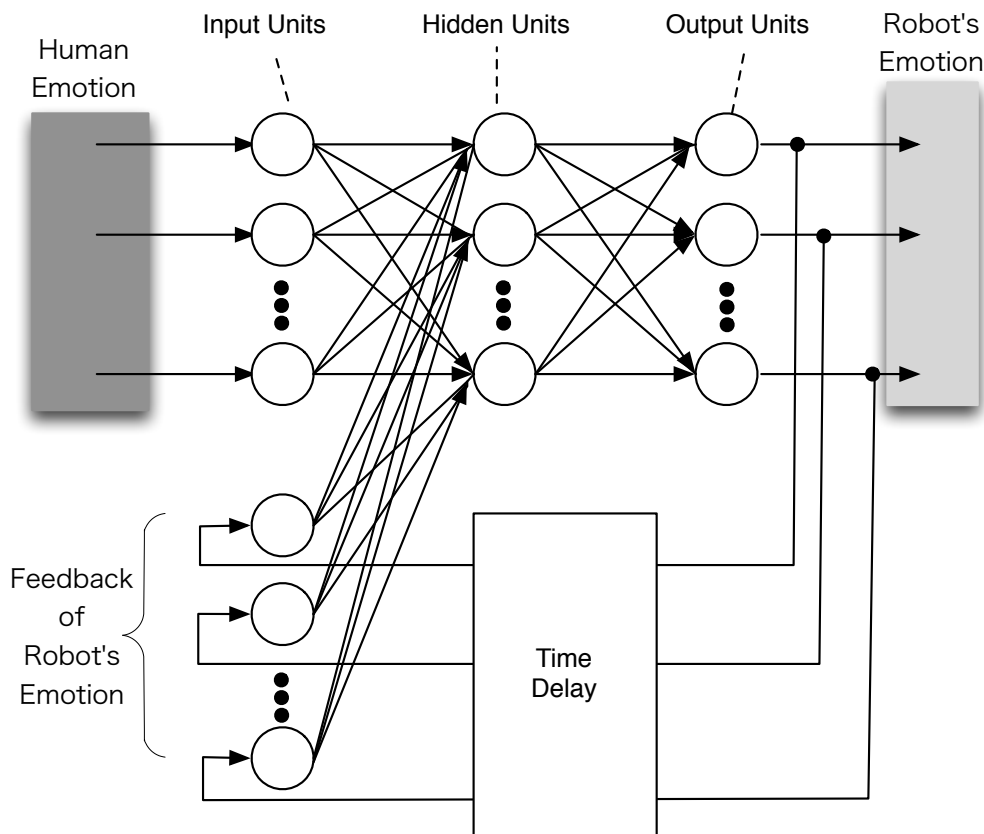


Fig. 5.2: The RNN model of KANSEI Generator. (Revised from [高田 01]).

RNNによる感性生成部において、出力ユニットからの出力値は時間遅れの状態で、システムの入力の一部として利用される。またNNの動作は同期しており、それぞれの層ごとに動作していく。また、時刻 $k$ における出力がフィードバックされて、時刻 $k+1$ における人の感情とともに入力される。RNNにおける入力ユニット数は、フィードバックからの入力がないため、22個である。また、予備実験により隠れ層のユニット数を44個とした。その他のパラメータはNNと同様である。NNおよびRNNのシステムの学習は、学習データ全体の平均自乗誤差が0.01以下になるまでおこなった。



### 5.3.2 実験結果

上記の NN および RNN のシステムを用い、学習に用いなかった入力データを用いて比較実験をおこなった。実験結果の詳細については、既報 [高田 01] に譲る。

NN と RNN の正答率はそれぞれ 20% と 72% (Table 5.1) であった。この結果より、感性生成部を構成する場合には、フィードバック部を有するモデルが有効であることが示された。

Table 5.1: Comparison of number of correct answers between NN and RNN systems. [高田 01]

	NN	RNN
Anger	2/26	19/26
Disgust	1/28	17/28
Fear	0/57	46/57
Grief	0/41	36/41
Joy	9/36	19/36
Neutral	37/49	34/49
Average	20%(49/237)	72%(171/237)

また、RNN モデルを利用した際の正答率 7 割について、一般的な機械学習系の認識率と比較して低いという疑問が存在する。これに関し、今回学習させた被介護者の感情状態および介護者の感情を詳細に見てみると、同様の入力に対して異なる出力が観察されることがわかったため、非常に悪い数字ではないといえる。

また、この正答率なる考え方を感性生成部の評価として用いることの妥当性に疑問が生じた。そのため、感性生成部の評価手法を考案し、適用することとした。これらについて次節にて説明する。

## 5.4 評価手法

本研究における感性生成部の学習を評価するには、その扱っているデータの性質上、既存の学習システムの評価手法と同様の正答率にて算出することに疑問が生じた。そのため、二次元感情モデルを提案し、そのモデルにおける感情遷移の距離を比較することによって、学習の結果を評価することを可能とした。

### 5.4.1 一般的な評価手法での問題点

前述のとおり、感性生成部は介護者に相当する人間の感情と同様の感情が出力可能なように学習される。ここで、学習の評価のためには、感性生成部からの出力感情が「人間の感情と同様であるか」を測る必要がある。最も単純かつ確実な比較は、「同じ入力データ」があった際に、人間が出力した感情およびその遷移と「まったく同じ感情」が「まったく同じタイミング」で出力されるかどうかについて比較することである。

しかし、この比較での正答率は十分とはいえない。以下に例を挙げながら解説する。

感性生成部が模倣する人間を A 氏とし、ある実験データにおける A 氏の感情遷移が以下の様であったとする。

A 氏: Neutral  $\Rightarrow$  Anger  $\Rightarrow$  Anger  $\Rightarrow$  Neutral  $\Rightarrow$  Neutral

このとき、感性エンジンからの出力として 3 種類仮定する。

Case1: Neutral  $\Rightarrow$  Joy  $\Rightarrow$  Anger  $\Rightarrow$  Neutral  $\Rightarrow$  Neutral

Case2: Neutral  $\Rightarrow$  Disgust  $\Rightarrow$  Anger  $\Rightarrow$  Neutral  $\Rightarrow$  Neutral

Case3: Neutral  $\Rightarrow$  Neutral  $\Rightarrow$  Anger  $\Rightarrow$  Anger  $\Rightarrow$  Neutral

単純に正答率を見れば、Case1: 4/5, Case2: 4/5, Case3: 2/5 である。ここで Case1 と Case2 を比較して見たとき、どちらも二つ目の出力値だけが A 氏と異っているが、ど

こちらの感情を出力したほうがシステムとしては妥当といえるだろうか。このことから、出力された感情が正しいときに（正しくないときに）、その正しさ具合（誤り具合）を示す指標が必要であることがわかる。

Case3 の場合は A 氏の出力と三箇所も異なっているとみることもできるが、出力の傾向を見てみると 1 ステップ後方へ出力時間がずれているだけである。これを正しくない出力とは判断することは難しいし、さらに Case1 や Case2 と比較することなどできない。このことから、感性生成部からの出力が単位時間あたりずれていた場合、それを適切に評価する指標も必要である。

#### 5.4.2 評価手法：二次元感情モデルの利用

以上を解決するために、感性生成部の評価では、二次元感情モデル (Fig. 5.3) を提案し利用した [Miyaji 03]。

このモデルにおいて、特に感情を発していない Neutral は円の原点に配置し、その他の感情は単位円上に配置した。この感情の位置関係は、Schlosberg の感情モデル [Schlosberg 54] を参考とした。研究の中には、感情状態の強弱を表現するケースがあり、それに対応する場合には弱い状態を半径 0.8 の円上に配置している。また、Grief の位置に関しては、諸説に基づき二カ所を想定し、予備実験をとおして決定することとした。

二次元感情モデルを利用することによって、感情同士の近さを表現することが可能となる。先に述べた通り、感性生成部は介護者役の感情の時系列を教師データとして模倣する様に学習する。そして、感性生成部は、教師データではない、別のセットの人間の感情出力との比較によって評価される。

感性生成部から感情が出力された際に、その感情と人間の出力感情の二次元感情モデル上での距離を感情間距離と呼び、ユークリッド距離によって計算する。この感情間距離の加算値は、感性生成部の出力の一致・不一致の度合いを測定する指標となる。

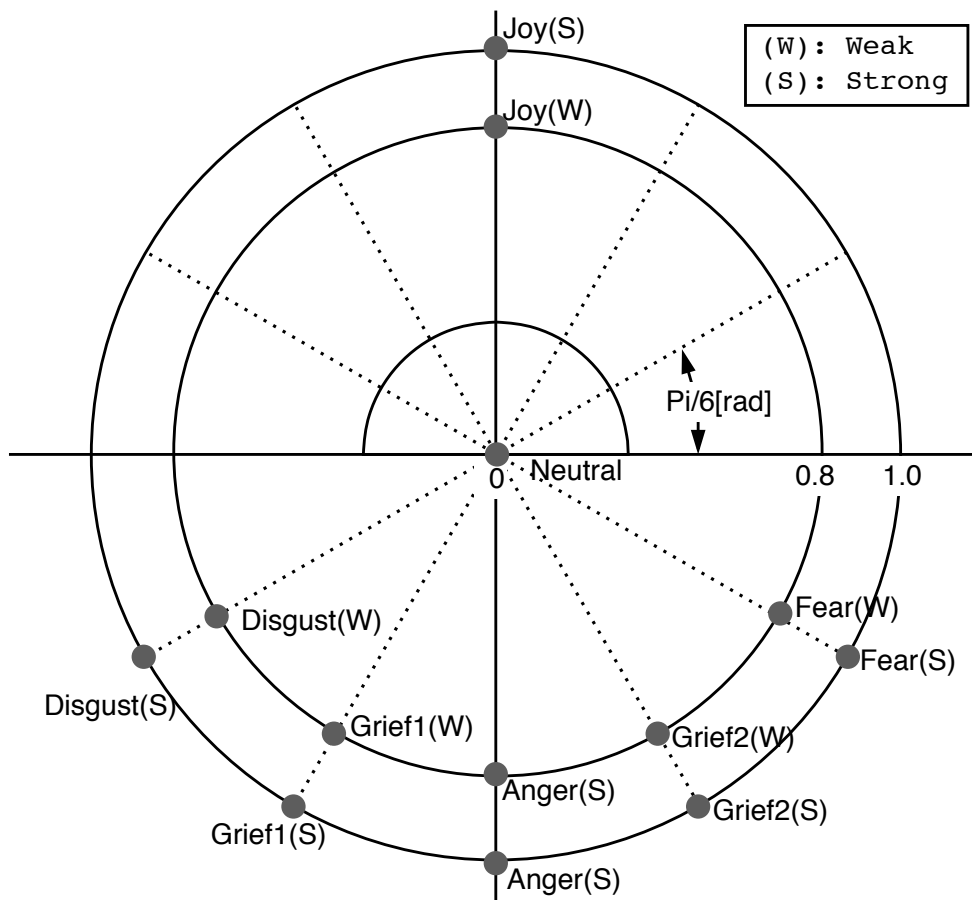


Fig. 5.3: The proposed two-dimensional emotion model. [Miyaji 03]

ここで最も単純な評価は，教師データである介護者の感情が出力される度に感情間距離を算出し，その合計値を用いる方法である．これを評価する式を Eq. 5.1 に示す．

$$Evaluation1 = \sum_{n=1}^K E_d \tag{5.1}$$

$E_d$  は感情間距離を， $n$  は現在の時刻を， $K$  は全データ数を示す．

しかし前述のとおり，軽度の時間遅れで感情が出力される場合については，教師データと似ていることを高評価したい．したがって，このタイムラグを考慮した形での評価式を考案した．この評価式を Eq. 5.2 に示す．

評価関数 (*Evaluation2*) は、感情間距離要素 ( $E_d$ ) と遷移誤差要素:時間のずれ ( $E_t$ ) を組み合わせた値の合計量として表現する。ここで  $\alpha$  は定数 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) であり、感情間距離と遷移誤差の着目度合いを調整する。 $n$  は現在の時刻を、 $K$  は全データ数を示す。この評価関数によって求められた評価値は、最大を 0 とするマイナスの値をとる。

$$Evaluation2 = - \sum_{n=1}^K \{ \alpha E_d + (1 - \alpha) E_t \} \quad (5.2)$$

ここで、感情間距離要素 ( $E_d$ ) は、Eq. 5.3 である。*Difference* は、時刻  $n$  における感情間距離 (人間の感情と感性生成部の出力感情の距離) を表す。

$$E_d = Difference^2 \quad (5.3)$$

遷移誤差要素 ( $E_t$ ) は、感情出力が遷移する際の感情の移り変わりの距離の誤差要素であり、時間的な遅れを考慮しており、Eq. 5.4 で表現する。

$$E_t = (Z_x - 1)^2 + (Z_y - 1)^2 \quad (5.4)$$

$Z_x$  および  $Z_y$  は、それぞれ二次元感情モデル  $x$  軸と  $y$  軸において、時刻  $n$  および  $n - 1$  における感情遷移の誤差である。また、Eq. 5.4 内の  $Z$  を一般化して記述すると Eq. 5.5 となる。

$$Z = \frac{Robot(n) - Robot(n - 1) + C}{Human(n) - Human(n - 1) + C} \quad (5.5)$$

ここで、*Robot()* は感性生成部からの出力を、*Human()* は教師データの出力を示す。また、 $C$  は定数であり、Eq. 5.5 の分母がゼロにならない値が設定される。

## 5.5 学習可能なペトリネット手法

ニューラルネットワークにて構成した擬似感性の内部構造が不明であることについて、利用する際の問題を感じた。出力性能が良ければブラックボックスとして扱うことも可能という考え方も存在するが、介護現場での利用を想定すると内部構造が解析でき調整可能なシステムの方がより良いだろう。また、介護の現場では被介護者とロボット

の親和性を考えて、意図的に感情の出現傾向を変えることを考えたため、その他の手法を試みることにした。

まず、内部構造や状態が明らかな手法としてペトリネットを採用し、介護者の感情遷移を学習可能な手法を提案し、その有効性を検証することとした [富永 02][Miyaji 03]。

ペトリネットとは、システム構造の可視化表現手段である。その構成要素により、システム内の状態遷移の動的なシミュレーションが可能である。ペトリネットの最も単純な構成を Fig. 5.4 に示す。ペトリネットは、プレース、トランジジョン、トークン、アークの 4 要素で構成される。プレースは入出力の条件、トランジジョンは事象、アークはそれらを結ぶ有向枝である。アークには重みが設定される。トークンはネット内で割り当てられる要素を示しており、プレースに置かれたそれらの位置と動きによってその状態の変化を表す。あるトランジジョンは、それに入るアークに接続されるすべてのプレース内に、それぞれのアークの重み分のトークンが存在すると発火可能である。発火すると、アークに接続されるすべてのプレース内から、アークの重み分のトークンが削除される。また、トランジジョンから出るアークの重み分のトークンが、その先のプレースに加えられる。

### 5.5.1 ペトリネットによる感性生成部の構成

感性生成部の構成には、RNN 手法の構造を模倣し Fig. 5.5 に示す構成とした。このペトリネットを用いた感性生成部の学習には、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm, 以降 GA) を用いた。

まず、人間の感情は、その該当する感情入力プレースにトークンの形で入力される。そこから感情入力プレースは感情入力トランジジョンと 1 対 1 で接続されており、その重みが 1 のため、該当する感情入力トランジジョンが発火する。感情入力トランジジョンは中間プレースとの間を全結合する形で結ばれており、この部分のアークの重みを GA にて学習する。中間プレースと中間トランジジョンの間は、1 対 1 の形で結合され、

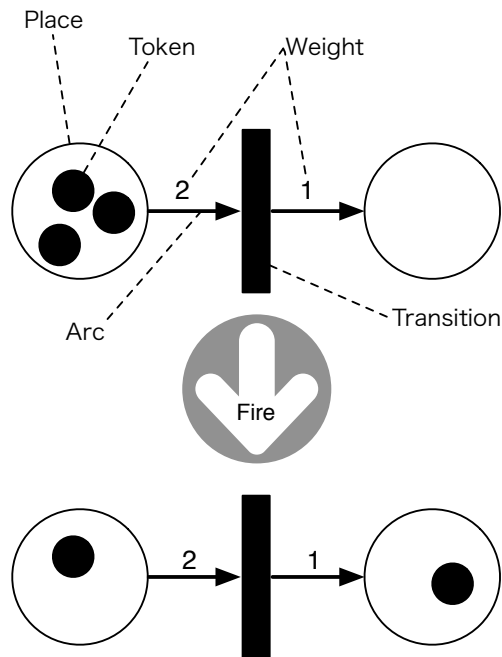


Fig. 5.4: Components and structure of Petri-Net and firing mechanism.

その間のアークの重みは、それぞれ異なる素数にて固定されている。中間トランジションと感情出力プレースの間は、全結合しており、この部分のアークの重みも GA にて学習する。すべての感情出力プレースは、それぞれが感情要素を示している。このプレースを観察し、最も多いトークン数を保持するプレースの感情を表出感情と決定する。感情出力プレースは、過去の感情の影響を意味するフィードバック用の感情入力トランジションに接続している。感性生成部の感情が決定されると、その感情の値がフィードバックされるとともに、すべての感情出力プレースのトークンを削除する。フィードバック用の感情入力トランジションと中間トランジションの間は全結合し、重みは GA にて学習する。

各層の発火は、層ごとに同期をとるものとした。また、感性生成部に入力があってから出力がなされるまでを 1 サイクルとするとき、各層の発火は 1 回のみおこなわれるものとした。

感情入力プレースは、平静、喜び (強, 弱)、恐れ (強, 弱)、悲しみ (強, 弱)、怒り

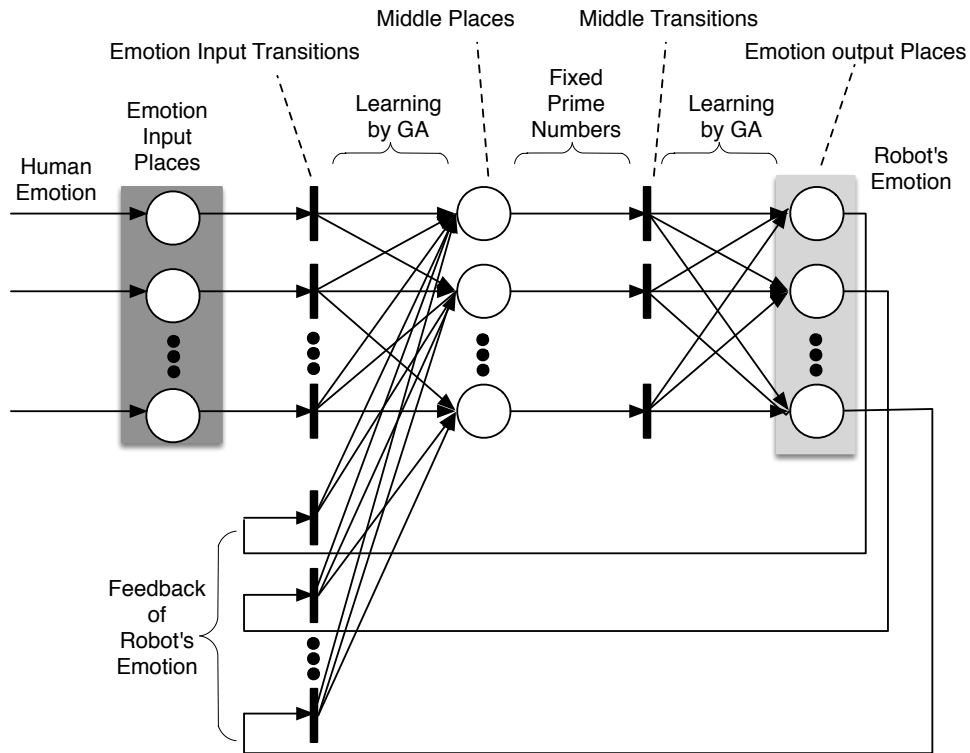


Fig. 5.5: The Petri-Net model of KANSEI Generator. (Revised from [Miyaji 03]).

(強, 弱), 嫌悪 (強, 弱) の 11 個である。感情出力Placesは, 入力Placesと同様の 11 個である。感情入力トランジションは, 22 個 ( $11 \times 2$ ) である。

中間Placesと中間トランジションの数は, 予備実験によって決定し, 22 個とした。また, その間のアークの重みは, ネットワークの構造が一意に決まるようにするために, 前述の通り素数を用いて固定した。それらは, 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 29, 31, 37, 41, 43, 47, 53, 59, 61, 67, 71, 73, 79 である。

### 5.5.2 GA による感性生成部の学習方法

学習には, 二つの指標を用いた。一つは, 学習用データを用い, その入出力の対と本システムの入出力が一致することを正答とし, それを評価する。もう一つは, 連続正答



した場合には感情のダイナミクスを表現できたとして、それを評価する。これらをまとめた適応度関数 Eq. 5.6 を用いて GA の学習をおこなった。

$$Fitness = \frac{CorrectAnswer}{P \times S} \quad (5.6)$$

$$CorrectAnswer = \sum_{i=1}^S \sum_{j=0}^{C_i} (N - j) \quad (5.7)$$

Eq. 5.6 において、*Fitness*: 適応度、*CorrectAnswer*: 正答数、*S*: 学習用データを構成する総セット数、*P*: セット内ペア数である。ペアとは学習用データおよび感性生成部の入出力対を表す。セットは時間的に連続な *P* 個のペアの一群を指す。この *P* が、セット内ペア数である。本実験では、1 セットを 30 秒間とし、5 秒に一回出力があるため、ペア数は 6 個である。学習用データは複数のセットからなる。つまり Eq. 5.6 の分母は、試行したすべてのペア数を示している。

5.7 式では、*N*: そのセット内の正答ペア数、*C<sub>n</sub>*: *n* 番目のセットにおける初期ペアからの連続正答数である。内側の合計は、そのセットにおける正解ペア数と連続要素を扱っている。

トランジションの重みを一列としたものを遺伝子座として表現し、エリート戦略とルーレット戦略を併用して遺伝子選択をおこなった。交差方法は 2 点交差を、突然変異は任意の遺伝子座 1 点をランダムで書き換えた。個体数を 500、世代数は 10,000 とした。

### 5.5.3 実験方法と結果

10,000 世代に達した個体群は収束していたため、最も適応度が高い 3 固体を使って評価実験をおこなった。5.4.2 節にて示した Eq. 5.1 と意味的には同じである Eq. 5.8 を利用した。

$$Evaluate3 = \frac{\sum_{n=1}^S E_n}{S} \quad (5.8)$$

ここで、 $S$ :は総セット数、 $E_n$  は  $n$  番目のセットにおける感情間距離の総和である。実験の結果の詳細については既報 [Miyaji 03] に譲る。

3 分割した検証用データに対して、3 個体の出力を感情間距離で評価した結果を Table 5.2 に示す。この実験における評価値の最大値は 12 であるが、どの個体においても 0.8 から 2.6 の範囲に収まっており、良好な結果が得られたといえる。このことから、GA による学習可能なペトリネットによって感性生成部を構築できることが明らかとなった。また、内部構造を観測可能な感性生成部を得ることができた。

Table 5.2: Sums of emotional distances with three partitioned data sets for three top individuals obtained by GA.

	Data1	Data2	Data3
Individual1	2.05	0.79	1.49
Individual2	2.16	1.22	1.21
Individual3	2.56	0.81	1.91

## 5.6 ペトリネットを用いた感性生成部の解析と調整

ペトリネットによって構成した感性生成部は、その内部構造を解析し、パラメータを調整することによって出力感情をある程度コントロールできるはずである。これらの実現可能性を確認するために、研究をおこなった [依田 03][Miyaji 03]。

なお、本節では「個性付け」なる用語を用いるが、これは「特定の感情を出しやすく調整する」ことを表す。また、5.5 節にて構築したペトリネットのシステムを用いた。

### 5.6.1 感性生成部の解析

ペトリネットで構成した擬似感性システムを解析する際、5.5.1 節で述べた中間トランジションに注目する。学習のたびにネットワークの構造が大きく変化することなく一意となることを目的として、このトランジションと中間プレース間を 1 対 1 接続すると

もに、すべて異なるアークの重みとした。したがって、この発火パターンから解析が可能であると予測された。

出力感情ごとに中間トランジションの発火の傾向を調べた。その結果、出力感情ごとに発火率が非常に低い特徴が観察できた。その発火の低いトランジションを Table 5.3 に示す。表内の各  $w_n$  (2,3,5...) は、入力接続するアークの重みが  $n$  (2,3,5...) であるトランジションを示している。

Table 5.3: Middle transitions with low firing rates for each emotion. [Miyaji 03]

Emotion	Middle Transition
Normal	w29
Anger (w)	w13, w17, w43, w61 & w67
Anger (s)	w7, w11, w23, w61 & w71
Disgust (w)	w19 & w71
Disgust (s)	w41, w53, w61, w67 & w73
Fear (w)	w29, w31 & w53
Fear (s)	w73 & w79
Grief (w)	w17, w43 & w53
Grief (s)	w31, w47, w53 & w73
Joy (w)	w47 & w61
Joy (s)	w37 & w47

(w): Weak Emotion, (s): Strong Emotion

トランジションの発火のしづらさと出力感情には明確な関係があることがわかった。このことは、感性生成部に対して「ある特定の感情を出しやすくする（出しにくくする）」＝「個性付け」の可能性が存在することを示唆している。

## 5.6.2 感性生成部の調整手法

上記の解析の結果から、ある特定の中間トランジションを発火しないように制御すれば、ある特定の感情が出力されやすくなるはずである。ここでは、この予測を検証する。

その手法として、トランジションの中には、いくつかの感情に影響するものも存在しているため、Table 5.4 に示すトランジションを発火させないように調整することとした。また、発火させない状況は、その中間トランジションの手前側のプレースのトークンを取り除くことによって実現した。

Table 5.4: Firing inhibited middle transitions versus emotion for emotion enhancement experiments. [Miyaji 03]

Emotion	Middle Transition
Anger	w7 & w11
Disgust	w19, w67 & w73
Fear	w73 & w79
Grief	w17 & w53
Joy	w37 & w47

### 5.6.3 感性生成部の調整結果

上記の調整の結果を Table 5.5 に示す。表中の N, A, D, F, G, J は、それぞれ平静、怒り、嫌悪、恐れ、悲しみ、喜びを表す。s, w は、それぞれ強弱を示す。BM は操作前を、m はその感情が生じるよう調整したことを表す。

元のデータは、BM 列のように各感情を出力していた。ここでそれぞれの感情が出力されやすくなるよう調整したのが、3 列目から 7 列目である。この表から明らかなように、目的どおりの感情を出力しやすくなっていることがわかる。このことから個性付けに対し、本手法による調整方法の妥当性を示すことができた。

同様の調整を施した際の、出力感情遷移を Table 5.6 に示す。概ね期待通りの出力が得られているが、嫌悪の修正列に見られるように予期しない他の感情の表出も見られる。中間プレースのトークンの削除だけでは完全な制御が難しいこと、中間トランジションで複数の感情と関係している部分の取り扱いに、検討の余地があることを示している。

Table 5.5: Effect of manipulations for each emotion enhancement. [Miyaji 03]

	BM	A(m)	D(m)	F(m)	G(m)	J(m)
N	483	206	341	274	207	194
A(w)	1	2	1	0	0	0
A(s)	29	343	19	8	13	23
D(w)	6	7	169	0	22	0
D(s)	4	0	13	12	6	6
F(w)	12	43	28	66	10	0
F(s)	12	7	33	224	7	0
G(w)	82	19	32	23	442	89
G(s)	10	8	28	36	22	10
J(w)	107	116	84	109	19	222
J(s)	7	3	6	11	6	224

BM: Before Manipulation, (m): Manipulated

N: Normal, A: Anger, D: Disgust, F: Fear, G: Grief, J: Joy  
(w): Weak Emotion, (s): Strong Emotion

Table 5.6: Emotion transitions before and after manipulation. [Miyaji 03]

Time	BM	A(m)	D(m)	F(m)	G(m)	J(m)
5	N	N	N	N	G(w)	N
10	N	N	F(s)	F(s)	N	J(s)
15	N	D(w)	N	F(s)	N	J(s)
20	N	A(w)	N	F(w)	G(s)	J(w)
25	N	A(s)	F(w)	G(s)	N	N
30	N	A(s)	D(w)	F(s)	N	J(w)

BM: Before Manipulation, (m): Manipulated

N: Normal, A: Anger, D: Disgust, F: Fear, G: Grief, J: Joy  
(w): Weak Emotion, (s): Strong Emotion

## 5.7 ペトリネットを用いた感性生成部の拡張：環境からの影響

前述のとおり，介護者支援ロボットにおける感情生成は，人間（被介護者）の感情状態をベースにおこなう。しかしながら，人間と共存するロボットがより親和性を高める

ためには、様々な環境情報を共有し、その情報に基づく感性表出が必要であると考えた。本研究では、この環境情報を扱うために、感性生成部の基本出力に影響を与える環境情報処理部を付加することとした [井上 05][井上 06][井上 07]。

### 5.7.1 環境情報処理部

環境情報処理部は、様々な環境（現時点では温度・音・明るさ）情報を入力され、環境情報の快適さを示す指標である快度を出力する。この快度を、快度入力部をとおして感性生成部に影響させる要素として用いることとする。これらの全体的な構成を Fig. 5.6 に示す。

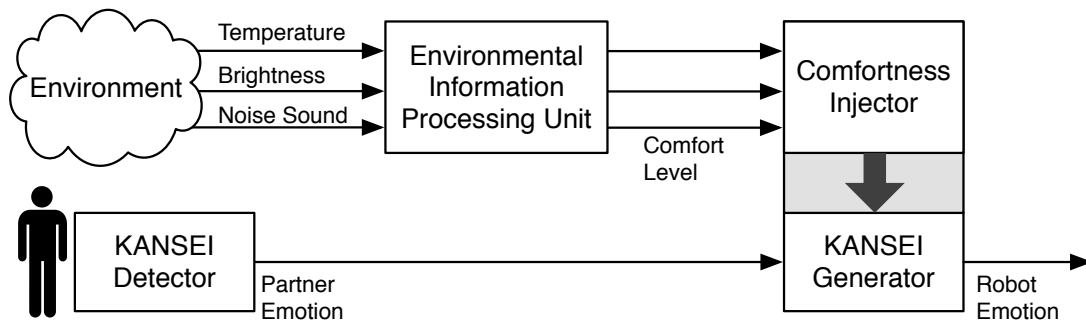


Fig. 5.6: Schematics of incorporation of environmental information into KANSEI Generator. (Revised from [井上 07]).

ここで、快度には以下の6種類の状態を設定した：「快（強）」「快（弱）」「不快（弱）」「不快（強）」「平静（動的）」「平静（静的）」。これらを環境情報処理部から段階に応じて出力する。ここで、平静（動的）は快とも不快とも感じる状態を、平静（静的）とは快とも不快とも感じない領域をさす。

環境情報をできうる限り統一的に扱うため、環境情報処理部の内部では3つのパラメータ（P1, P2, P3）を用いている。

P1 は、現在の環境状態と快適な環境状態との差を表す。快適な状態と現在の状態の差

を用いて、不快（弱）・不快（強）または出力なしを判定する。

ここで、快適な温度は、 $22[^\circ\text{C}]$  と設定した。温度の  $P1$  の値が、 $0 \leq |P1| \leq 3$  の場合には出力をしない。 $3 < |P1| < 5$  の場合には不快（弱）を、 $5 \leq |P1|$  の場合には不快（強）を出力する。これらは、他者による先行研究 [栃原 97][田辺 94] と ASHRAE（米国暖房空気調和冷凍工学会）が定めた快適線図 [ASHRAE 85] から求めた。

快適な明るさは、 $525[\text{lx}]$  と設定した。明るさの  $P1$  の値が、 $0 \leq |P1| \leq 225$  の場合には出力をしない。 $225 < |P1| < 375$  の場合には不快（弱）を、 $375 \leq |P1|$  の場合には不快（強）を出力する。これらは、JIS により規定された照度基準 [JIS 79] より算出した。

快適な音（騒音）は、 $30[\text{dB}]$  とした。音の  $P1$  の値が、 $0 \leq P1 \leq 10$  の場合には出力をしない。 $10 < P1 < 15$  の場合には不快（弱）を、 $15 \leq P1$  の場合には不快（強）を出力する。これらは、環境省の基準 [環境 05a][環境 05b] を元に求めた。

ここで、 $P1$  の要素において快適な環境付近の場合には、快を表すのではなく出力をしない。これは、「快」を感じるのは変化などの刺激を受けたときであり、刺激がない場合の快適さは「快」ではなく、「不快ではない状態」であるとの報告を参考にしている [山崎 98]。

$P2$  は、環境状態の変化による影響を表す。 $P2$  からは、表参照の形で快度（ここでは快（強）・快（弱）・不快（弱）・不快（強）または平静（動的）・平静（静的））を求める。表をわかりやすく可視化したものを Fig. 5.7 に示す。

この図は、温度に関する  $P2$  を求めるためのものである。縦方向が過去の温度、横方向が現在の温度を示している。例えば、過去に  $22[^\circ\text{C}]$  だったものが、現在  $32[^\circ\text{C}]$  に変化した際、その座標に相当する場所の快度を読み取り、出力する。橙色、黄色、水色、青色が、それぞれ快（強）・快（弱）・不快（弱）・不快（強）を表す。また、緑色と白色が、それぞれ平静（動的）・平静（静的）を示す。この快度については、思考実験およびアンケートにより決定した。

ここで、快とも不快とも感じない状態である平静（静的）とは、変化が小さくどちら

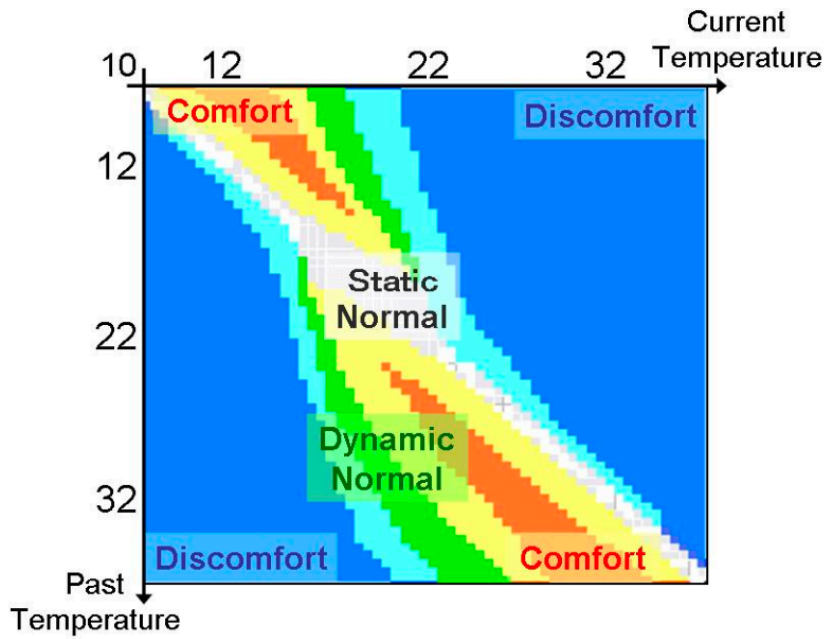


Fig. 5.7: Comfort distribution of  $P2$  for temperature. [井上 07]

も感じられない状態をさす。快とも不快とも感じる状態である平静（動的）は、温度変化が大きすぎるために表出される部分をさす。

温度の場合と同様に、明るさと音の場合についても表を作成した。これらを Fig. 5.8 に示す。

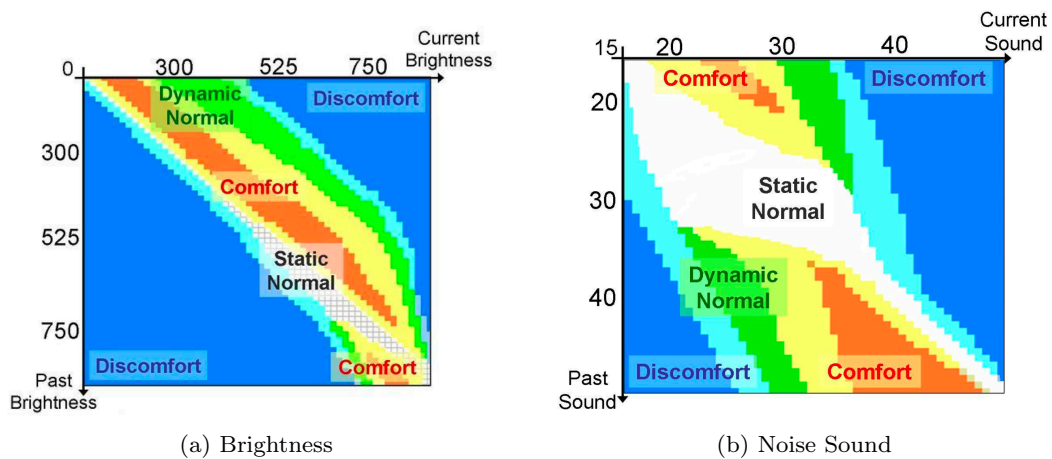


Fig. 5.8: Comfort distribution of  $P2$  for brightness and noise sound. [井上 07]



$P3$  は環境状態に対する慣れを考慮した要素である。ここで、慣れには快に対するものと不快に対するものの2種類が想定できる。

快適な状態にあっても、それが数分続くと慣れてしまい、快適とは感じなくなる。これは、 $P1$  の補足でも示した通り、考慮する必要はない。逆に不快な場合には、数分続くうちに慣れてきて不快感は薄れてくるが、不快な状態がさらに続くと不快度が高まる。これを表現するために Eq.5.9 なる式をたてた。

$$P3(t) = \frac{t^{\phi/2-1} e^{-\phi/2t}}{e^{-\phi/2}} \quad (5.9)$$

ここで、 $\phi$  は式で表される曲線 (Fig. 5.9) の傾きを調整するパラメータであり、予備実験により 8 とした。また、 $t$  は同じ環境情報が継続している時間を表している。

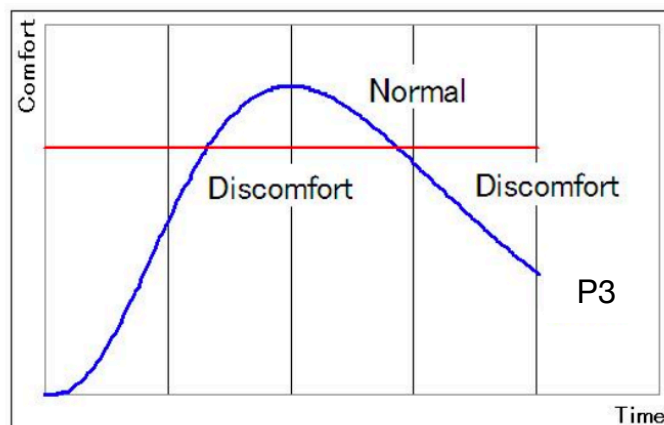


Fig. 5.9: Sensibility variation against environmental factor. (Revised from [井上 07]).

環境情報処理部において  $P1 \cdot P2 \cdot P3$  の処理から常に全て出力があるのではない。環境情報に変化があった場合には、 $P2$  の処理をおこなって快度を出力する。また環境情報の変化がない時には、基本は  $P1$  の処理の値が利用されるが、 $P3$  の処理による不快に対する慣れによって平静状態 (Fig. 5.9 中の Normal) になった際には、 $P1$  の不快の出力を弱める。これらの関係を Fig. 5.10 に示す。

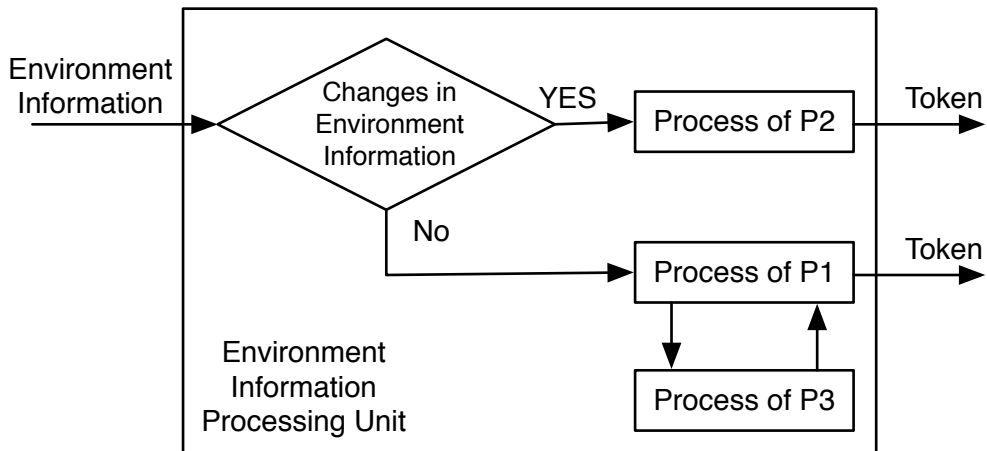


Fig. 5.10: Flow of environment information processing unit for Petri-Net model of VK. (Revised from [井上 07]).

### 5.7.2 快度入力部

環境情報処理部にて求められた快度は、快度入力部に送られ、感性生成部の感情出力に影響を与える。ここで感性生成部には、ペトリネットと GA を組み合わせたモデルを利用した。ニューラルネットワークと異なり、ペトリネットで構成された感性生成部は、どの感情を出力させるのかがプレース内のトークンの数によって確認でき、容易にカスタマイズできるからである。

したがって、快度入力部は、感性生成部と同様にペトリネットで構成した。快度入力部の出力は、感性生成部の感情出力プレースに直結している (Fig. 5.11)。ベースとなる感性生成部は、後述 (5.8.5 節) の比較実験のために構築したものであり、入出力には六感情 (基本的な 5 感情と平静) を用いている。

環境情報処理部で各快度が出力されると、快度入力部のプレースにトークンが渡される。快度入力部のプレースにトークンがある場合、トランジションが発火し、それに応じた感情出力プレースにトークンが渡される。

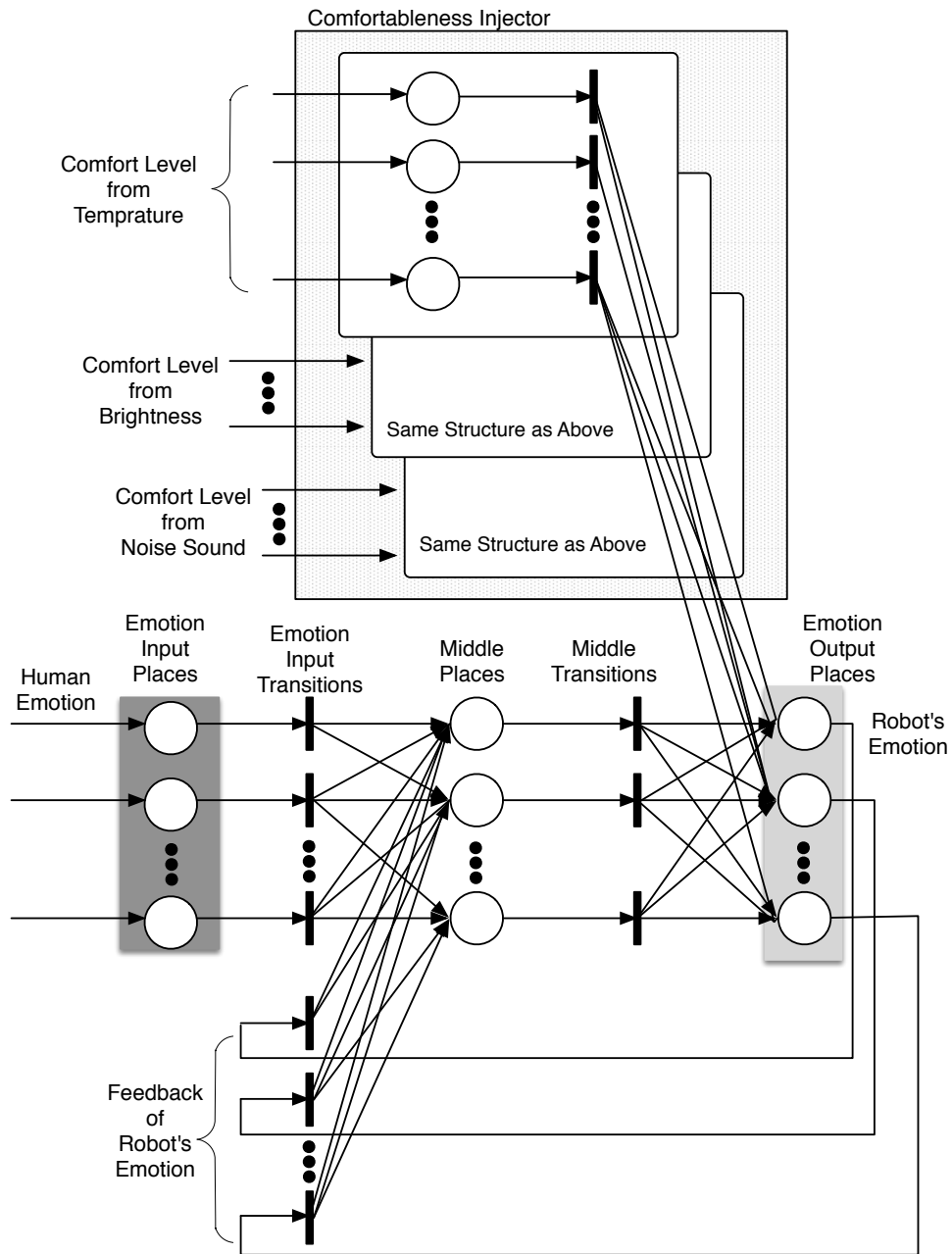


Fig. 5.11: Kansei Generator with comfortableness injector. (Revised from [井上 07]).

ここで実験に際して、快度のうち平静（静的）は、実際には環境情報の影響を受けていないため、その出力は影響させない形式とした。また、平静（動的）は影響を解析す

るのが難しいため、同様にその出力に影響させない形式とした。したがって、実際に環境情報として扱うのは、温度・明るさ・音の要素に対して快・不快の強弱の合計 12 個の要素である。

環境情報処理部の効果を容易に確認できるよう、影響を与える感情を「喜び」「嫌悪」「平静」に絞り、上記 12 個が示すトランジションと相互接続をして実験をおこなった。このトランジションと感性生成部の感情出力プレースの間のアークの重みは、そのプレース内のトークン数を分析することによって求めた。この際、本来アークの重みはプラスの値を示すが、影響を増やす場合にはプラスの値を、影響を減らす場合にはマイナスの値をあたえることとした。

### 5.7.3 実験方法と結果

これらの環境情報処理部の妥当性と感性生成部への影響について実験をおこなった。実験結果の詳細は、既報 [井上 07] に譲る。

環境の情報を取得し、現在の状態・変化による影響・慣れの要素を取り扱い、それを快度なる指標で示すこととの妥当性が確認できた。また、環境の情報に応じて特定の感情を表出させやすくすることが可能であることが示された。

その一方で、環境情報を与えることの難しさも判明した。これを説明する表を Table 5.7 に示す。

本表は一定の騒音をシステムに与え続けた場合のオリジナルの感情出力と、各環境処理部と感性生成部からの出力を示している。表内の Time Stamp は、計測のタイミングを示している。Original は、環境情報を与えない感情出力を示しており、このセットにおいては平静状態で変化がないものを選んだ。Temperature や Brightness は温度と明るさの環境情報処理部を示しており、「-」は出力がないことを示している。Loudness は音の環境情報処理部を示している。カッコ内の数字 20 は 20[dB] の音を示しており、不快弱を示す Dw が出力されている。タイムスタンプで 44 以降は、不快さに慣れ

Table 5.7: Behavior of KANSEI Generator with a single input of environmental sound at constant loudness.

Time Stamp	Original	Temperature	Brightness	Loudness	KANSEI Generator
1	Neutral	-	-	Dw(20)	Disgust
2	Neutral	-	-	Dw(20)	Neutral
3	Neutral	-	-	Dw(20)	Neutral
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
43	Neutral	-	-	Dw(20)	Neutral
44	Neutral	-	-	-(20)	Neutral
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
58	Neutral	-	-	-(20)	Grief
59	Neutral	-	-	-(20)	Neutral
60	Neutral	-	-	-(20)	Grief
61	Neutral	-	-	-(20)	Neutral

の因子が加わったため、同じ騒音状態であるにも関わらず、環境情報部からの出力はない「-」を示している。KANSEI Generator は感性生成部の出力を示す。

ここで、タイムスタンプ 1 を見ると、Original は平静であるが、感性生成部の出力は音の環境情報の影響を受け嫌悪を示していることがわかる。その後タイムスタンプ 2 から 43 にかけて、音の環境情報部からは不快弱がで続けているにも関わらず、感性生成部は平静を示し続けている。これは、感性生成部の感情出力プレースにおいて最も多くトークンが存在している感情が示されるためであり、環境情報の影響がトークン数の割合から見て弱いことを示している。もう少し環境情報の値に敏感に反応する様にするためには、快度入力部のトランジションと感性生成部の感情出力プレースの間のアークの重みを調整すれば良い。

ここで、タイムスタンプ 44 から 60 を見ると、環境情報からの入力に影響しない状態になっており、Original の感情は平静を示している。一方で、感性生成部からは、環境情報部からの影響を受けていない悲しみの感情が出力されている。これは、環境情報部

からの影響があったタイムスタンプ 1 から 43 までの間に、感情出力プレースの平静（および喜び、嫌悪）に対して与えた影響が蓄積され、そのほかの感情が表出したと考えられる。この場合においては、先ほどとは逆に快度入力部のトランジションと感性生成部の感情出力プレースの間のアークの重みを少ない方向で調整する必要がある。

このように環境情報による感情の出力を与える手法について提案し、効果を検証することができた。実際の運用をする際には、その環境情報をどの程度与えた場合に、どの程度出力に影響を与えるべきかという点については、実験を繰り返すことによって適切なパラメータを検討・設定が必要である。

## 5.8 隠れマルコフモデルによる手法

ここまで用いた RNN やペトリネットを用いた手法では、その生成された感情の割合や遷移の度合いは問題ない場合であっても、「同じ感情を出力し続ける」ことや「急激な感情変化が生じる」などの介護者の感情遷移には見られない部分が存在していた。そこで、より正確に介護者の感性出力を模倣することを目的として、隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model, 以降 HMM) を用いて感性生成部を構築し、その有効性を検証することとした。人間の感情遷移は不確定な時系列データであり、HMM はそのようなデータをモデル化し、カテゴリ分けするのに有効とされている [稲邑 02] からである。

なお、RNN および学習可能なペトリネットの感性生成部と異なり、HMM の手法においては、取り扱い感情から強弱の要素を取り除き区別をしていない。したがって、基本六感情を取り扱う。

この HMM を手法とするとき、構成について考える必要がある。RNN の実験結果から、人間の感情を模倣するにはフィードバックループが必要とわかっている。しかし、HMM の性能を評価するためのオープンループシステムを作成した (以降、Type1 とよぶ)。次にその効果を確認するため、フィードバック機構が加えられた構成を作成した (以降、Type2)。Type1 および 2 の構成は、内部に 6 個の HMM を有し、それぞれが

各感情状態と関係している。これらと異なる形態が Type3 であり、1 つの HMM 内に 6 個の感情の状態を置く。それぞれの詳細について以下に記す。

### 5.8.1 Type1 モデル

Type1 は、Fig. 5.12 に示すとおり、各感情を示す 6 個の HMM の組み合わせて構成する。各 HMM は、被介護者の感情遷移のパターンである観測系列  $\mathbf{O}$  が、それぞれの HMM が表す感情に属する確率を計算する。推定器は、各 HMM から出力された確率を比較し、最も高い確率を示した感情を感性生成部の出力とする。これは、Eq. 5.10 と表すことができる。

$$e(\mathbf{O}_{CP}) = \underset{i}{\operatorname{argmax}} [w_{CP}(i) \cdot P_{CP}(\mathbf{O}_{CP}, i)] \quad (5.10)$$

ここで  $e$  は出力感情、 $\mathbf{O}$  は観測された被介護者の感情を表す。また、 $w$  は重み、 $i$  は感情のインデックス、 $P$  は  $\mathbf{O}$  に基づく出現確率、 $CP$  は被介護者を表す。重みの値は、予備実験から 1 に設定した。この式は、最も高い可能性を有する HMM の感情が選択されることを記述する最尤推定である。この推定器の出力感情が、介護者の感情と一致するように学習をおこなう。

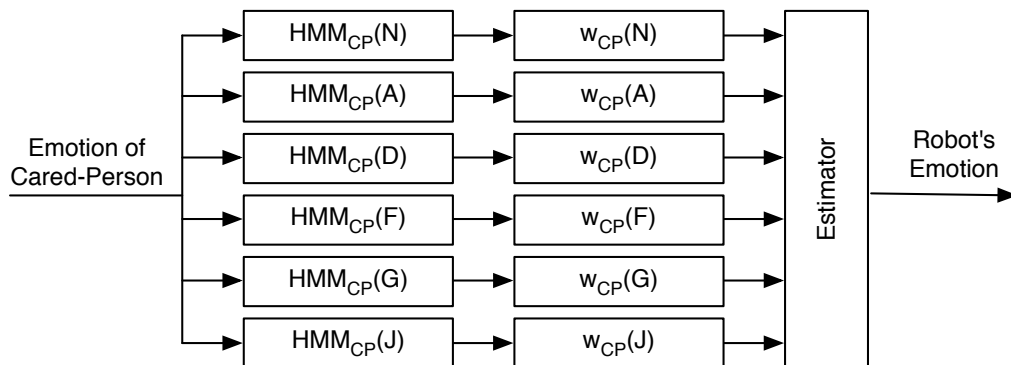


Fig. 5.12: Structure of KANSEI Generator using Type1 HMM Model. (Revised from [Kogami 09]).  $w_{cp}()$  are the weights for corresponding emotion.

現在時刻  $k$  における介護者の感情  $e_{CT}$  と、時刻  $k - (T_{CP} - 1)$  から  $k$  における観測系列  $\mathbf{O}_{CP}$  の組み合わせをひとつのデータセットとする。例えば、時刻  $k$  において介護者が喜びの感情であるとき、介護者が喜びを表した時刻から過去数回分の被介護者の感情遷移を観測データから抜き出し、それらを喜びの HMM の学習に用いる。また、 $T_{CP}$  は予備実験の結果から最良の値を選定した。

なお、その際の条件を以下に示す。学習には Baum-Welch アルゴリズムを用いた。Ergodic モデルと Left-Right モデルの双方を用いて比較をした。観測系列の時系列長は 2 から 12 まで変化させ、5 が最良であった。HMM の状態数は、Ergodic モデルの場合 2 から 12 個に変化させた、Left-Right モデルの場合には、時間と HMM の状態を対応づけた（時系列長と状態数が等しい）。初期パラメータは、時系列長および各状態数で 300 組分を乱数で発生させた。

## 5.8.2 Type2 モデル

Type2 は、Fig. 5.13 に示すとおり、Type1 にフィードバックが付与された構造である。また、一つの感情につき二つの HMM の確率を組み合わせ、推定器によって最も高い値を示す感情が出力感情として決定される。これは、Eq. 5.11 と表すことができる。

$$e(\mathbf{O}_{FB}, \mathbf{O}_{CP}) = \underset{i}{\operatorname{argmax}} [w_{FB}(i) \cdot P_{FB}(\mathbf{O}_{FB}, i) + w_{CP}(i) \cdot P_{CP}(\mathbf{O}_{CP}, i)] \quad (5.11)$$

ここで  $FB$  はフィードバックを表し、その他は Type1 と同様の意味である。ここで、重み  $w_{FB}(i)$  および  $w_{CP}(i)$  は、 $HMM_{FB}$  と  $HMM_{CP}$  の優先度合い（影響度合い）を決定するパラメータである。この重みの比率は、予備実験の結果より 1:10 に設定した。

HMM は、準備された一連のデータから学習するため、システムからの出力をそのまま用いる学習には適していない。フィードバック部分の HMM の学習には、別の手法を用いる必要がある。理想的には介護者の感情と感性生成部の出力は一致することから、介護者の感情の遷移を利用することとした。具体的には、 $k - (T_{FB})$  から  $k - 1$  への介護者の感情の変化は、介護者の現在（時刻  $k$ ）の感情状態にしたがって HMM に分配さ



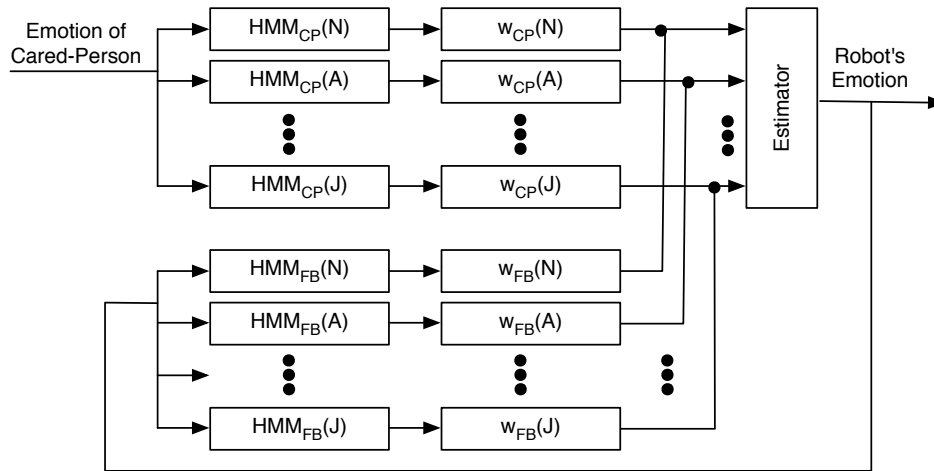


Fig. 5.13: Structure of KANSEI Generator using Type2 HMM Model. (Revised from [Kogami 09]).

れる。また、 $T_{FB}$  は予備実験の結果から最良の値を選択した。学習には Baum-Welch アルゴリズムを用いた。

このように分けて学習をおこなうことの利点として、それぞれの部位に適した時系列長や状態数を探索することが可能となることが挙げられる。また、分けなかった場合の予備実験をおこなったが、収束までの時間がかかるが学習は可能であるが、正答率が低い結果となった。このことから、分離した形式での学習が適切といえる。

### 5.8.3 Type3 モデル

Type3 は、Fig. 5.14 に示すとおり、HMM 内のロボットの感情状態を「隠れた状態」とみなす。感情を表す 6 つの隠れた状態が存在し、メッシュ状態で接続をする Ergodic モデルを使用した。この感性生成部からの出力は、Eq. 5.12 と表す。

$$e(i, o_{CP}) = \underset{i}{\operatorname{argmax}} [A_{ij} \cdot B_j(o_{CP})] \quad (5.12)$$

ここで  $A_{ij}$  は、状態  $i$  から状態  $j$  への状態遷移の確率である。 $B_j(o_{CP})$  は、状態  $j$  において被介護者の感情が  $o_{CP}$  である確率を示す。これらの遷移確率と観測確率の最も

高い積が選択される。

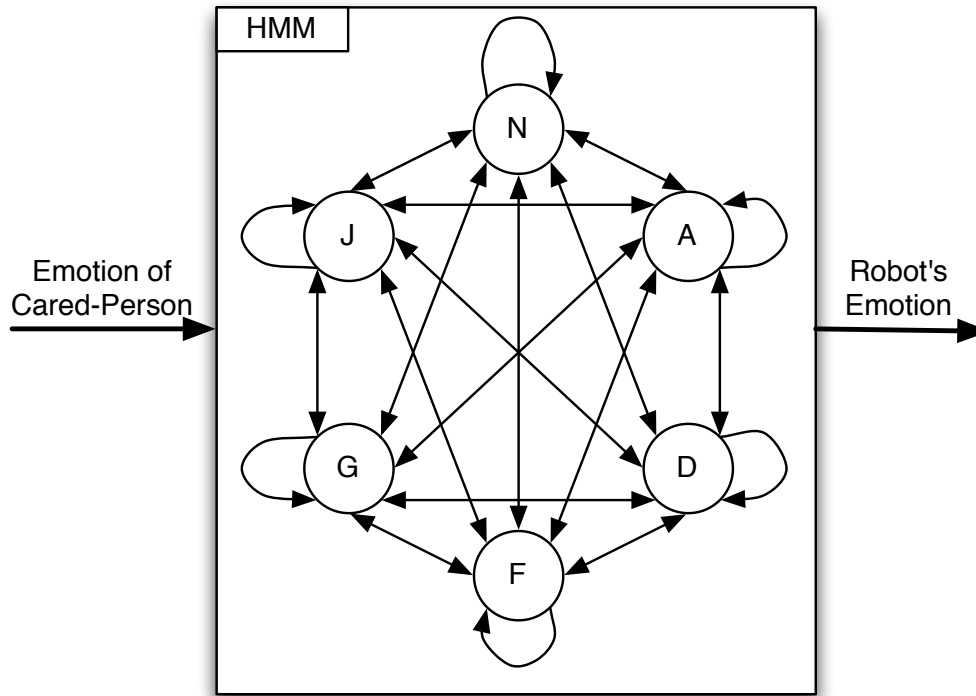


Fig. 5.14: Structure of KANSEI Generator using Type3 HMM Model. (Revised from [Kogami 09]).

遷移確率  $A_{ij}$  は、感情  $i$  から介護者の感情  $j$  への感情遷移の頻度から導出される。初期分布には、感情  $i$  の頻度を設定した。また、介護者の感情状態が  $j$  である場合の被介護者の感情状態  $o$  の頻度から、観測確率  $B_j(o)$  を算出する。

#### 5.8.4 比較実験

以上の3タイプを比較する実験をおこなった。その結果の詳細は、既報 [Kogami 09] に譲る。

それぞれ予備実験をとおしてパラメータ調整をおこない、学習に用いていないデータセットを利用した比較実験をおこなった。その結果、正答数は Type1 は 98 (66%), Type2 は 73 (49%), Type3 は 57 (37%) なる結果を得た。

正答数だけを見れば、Type1 の数値が高い。Fig. 5.16 に、ある時点での介護者の感情推移と Type1 モデルの出力の比較を載せる。感情の大まかな流れにも細かな変化にも対応できている。しかし、入力感情として同じ感情が入った際に、毎回同じ感情を出力する傾向がある。この傾向は、人間的な不確定性を有する出力との差異が感じられてしまうことが予想され、介護現場での実運用では問題となる可能性がある。

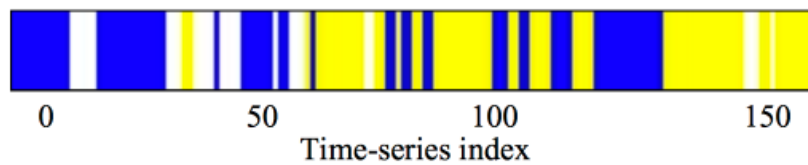


Fig. 5.15: Output emotions from caregiver [Kogami 09]. Red, orange, purple, blue, yellow and white represent anger, disgust, fear, grief, joy and neutral, respectively.[Kogami 09]

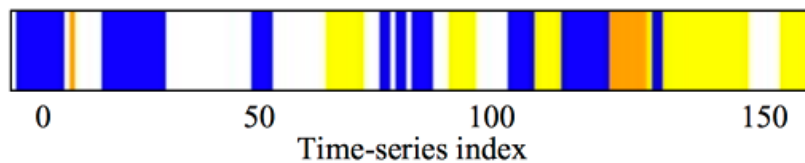


Fig. 5.16: Output emotions of Type1 Model. [Kogami 09]

次に Type2 が高い数値を示している。Fig. 5.17 に Fig. 5.16 と同時点での Type2 モデルの出力を示す。平静を出力した際に、そのまま平静を出し続ける傾向があるが、入出力分布を確認すると感情の大まかな流れには対応できていることが確認できる。

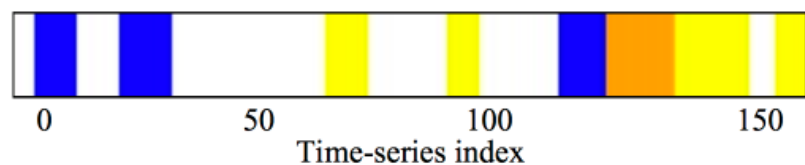


Fig. 5.17: Output emotions of Type2 Model. [Kogami 09]

Type3 はもっとも低い結果を示した。Fig. 5.18 に、Fig. 5.16 と同時点での Type3 モデルの出力を示す。期待するような出力となっていないことは、図からも確認できた。

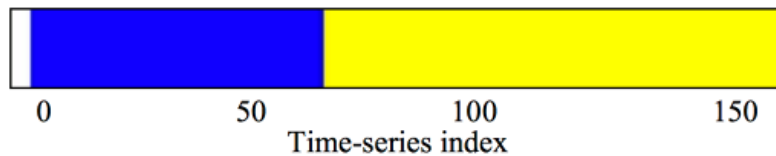


Fig. 5.18: Output emotions of Type3 Model. [Kogami 09]

なお、これらの図だけでは判断が難しいが、Type1 と比較して Type2 や 3 は同じ入力であっても、毎回同じ出力になることはない点は、人間の出力傾向と同様に感じる可能性がある。

### 5.8.5 ペトリネット手法との比較

学習可能なペトリネット手法と HMM モデルの比較は、上述の結果およびフィードバック機構を考慮して Type2 との間でおこなった。5.5 節で示したペトリネット手法では、取り扱い感情を 11 種類（5 感情の強弱 + 平静）としていたが HMM では 6 種類であるため、入出力数のモデルの変更と再学習をおこなった。

評価には、上記の正答数の他に二次元感情モデルにおける評価 Eq. 5.2 を用いる。なお、感情の取り扱いとして強弱の区別がないため、二次元感情モデルにおけるすべての感情は単位円上に配置されているものとした。ペトリネットの正答数は 59 であり、Type3 と同程度の低い結果となった。二次元感情モデルでの評価では、ペトリネットが  $-58.39$ 、HMM Type2 が  $-51.61$  を示し、これもペトリネットの方が悪い値となった。

また、Fig. 5.19 に、Fig. 5.16 と同時点での Type3 モデルの出力を示す。さらに、ペトリネットの出力は、前述の通り「同じ感情を出力し続ける」「急激な感情変化が生じる」傾向が見られた。なお、数値上は Type3 と同様に悪い結果ではあるが、出力感情の推移は Type3 ほど悪くはないことが確認できる。

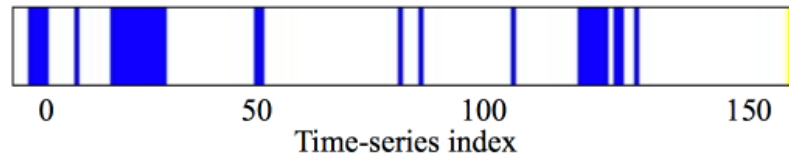


Fig. 5.19: Output emotions of Petri-Net + GA model. [Kogami 09]

以上のように，正答率および出力傾向のどちらから判断しても，感性生成部の性能としては隠れマルコフモデルを用いるのが良いという結果が得られた。

ただし HMM のモデルにおいては，ペトリネットモデルのように内部構造を解析することは難しい。その代わり，Type1 や Type2 においては，評価器によって特定の感情を出しやすいように調整することは可能である。なお，ペトリネットは本実験において事前実験と比較し非常に悪い結果を示している。入出力感情数を減らしたことに対して，ペトリネットの中間層の構造のチューニングが不十分であった可能性が存在している。

## 5.9 まとめと課題

本章では，感性生成部の実際の構成手法およびその評価や拡張について述べた。

まず，介護現場での利用，介護者支援ロボットに実装の 2 点に重点を置き，思考実験をとおして感性生成部として必要な要件を明らかにした。具体的には，学習可能なモデルを採択する必要性や感情のダイナミクスを表現できる形式の必要性を示した。

次に感性生成部で取り扱う感情の種類を定め，学習や実験で用いるデータについて示した。実際の感性生成部は，ニューラルネットワーク，学習可能なペトリネット，隠れマルコフモデルを手法として採用し構築した。

ニューラルネットワークの手法においてはフィードフォワード型とフィードバック型の比較をおこなった。フィードバック型であるリカレントニューラルネットワークを用いた方が正答率が高いことが示され，要件にて述べた感情のダイナミクス表現が必要であるとの結論を得た。

ここで、この正答率なる考え方は、感性生成部の評価手法として不十分であることを指摘し、本研究においては二次元感情モデルを用いた感情間距離とその時間のずれを評価する評価関数を提案した。

学習可能なペトリネットを用いた感性生成部構築手法は、ニューラルネットワークの内部解析が難しくブラックボックスとして扱わざるを得ない点を解決するために採用された。ペトリネットは内部解析が可能であるが学習機能を有さないため、ペトリネットで構築するモデルの結合要素を遺伝的アルゴリズムによって学習する手法を提案し、実装した。この学習可能なペトリネットは、評価値の面から見て、十分に利用できることが示された。

また、感性生成部の内部構造を読み取ることが可能となったため、その内部構成を調整することによって、ある特定の感情を出しやすくする個性化が可能であることを示した。

さらに感性生成部に環境情報による影響を与える手法を提案した。温度、明るさ、音(騒音)を快度パラメータに変換し、それを感情出力の要素として付与する。この快度パラメータは、人間と同様の反応を示すために、快適な環境情報の差、環境情報の変化による影響、慣れによる要素を組み合わせることで算出される。

これらのように学習可能なペトリネットは、その構成要素の解析や機能を付加できる点において有効であることを示すことができた。

一方で学習可能なペトリネットのモデルには、人間の感情遷移と異なる出力傾向があるという欠点があった。よって、人間の感情遷移のような不確定な時系列データを扱いやすい隠れマルコフモデルを利用した感性生成部を作成した。三種類のモデルにて比較実験をおこない、高い正答率と人間に近い感情遷移を示すモデルが判明した。また、一番低い正答率のモデルであっても、学習可能なペトリネットよりも高い正答率や評価値を示すことができた。このことから、性能面から考える際、感性生成部として隠れマルコフモデルが適しているといえる。さらに、学習可能なペトリネットと同様に、隠れマ

ルコフモデルによるシステムで個性付けや環境情報を取りあつかうためにアイデアの提示をおこなった。

以上のように、感情生成モデルの提案・構築・実験をとおして、介護者と同様の感情を生成することが可能であることを示すことができた。また、感性生成部ならではの評価方法を提案し、評価実験をとおして適切なモデルの選定をおこなうことができた。

なお、本論文においてはニューラルネットワーク・学習可能なペトリネット・隠れマルコフモデルを用いて感性生成部を構築し比較実験をおこなったが、学習可能な手法はこれらに限らない。本章で示した感性生成部を考える際には、モデルの考え方、学習用データの採取手法、評価手法、比較の際の検討手法などの要素に配慮する必要があることが示せたことが、一番の成果と考える。

課題としては、ニューラルネットワーク手法の改良があげられる。ディープラーニングでのリカレントニューラルネットワークや LSTM などの手法は、本研究の感性生成部においても適用可能であり、高い性能が期待できる。ただし、これらの手法はブラックボックスとなってしまう問題があり、「個性付け」は難しい。また、ディープラーニングを利用する際には、その学習に多くのデータを必要とする。現在利用中のデータでは、その量が不十分である可能性が高い。効果的なデータを大量に収集する方法もあわせて検討する必要がある。





## 第6章

# 感性表出

本章で記載する感性表出とは、狭義の擬似感性つまり感性生成部からの出力であるロボットの感情を受け、ロボットの感性的な（感情を表す）動作をおこなうことである。これを実現する部位は、より正確に言えばロボットの基本的なタスク動作に感性的な振る舞いを味付けするため、動作調整部とよぶ。ここでは、介護者支援ロボットにおける感性表出の手法として動作調整表出部の構成手法について述べる。

他の研究機関においては感情を生成する部位と表出部位を切り分けられないシステム構成のロボットも存在しているが、本研究は生成部と表出部は区別するスタンスを採っている。これは人間において、生成された感情がそのまま表出されるとは限らない、そのままでは意図的に表出しない場合が多い（例えば、人間は怒っていたとして、その怒りを表出するかどうかは、時と場合による）、という事実に従い、本研究のロボットにおいても同じ構成を採用したいためである。また、生成部と表出部を明確に切り分けておくことによって、生成部を他モデルに切り替えたり、新たな表出部・手法と組み合わせることが可能となる。

また、他の研究機関においても、人間の感情がその身体動作に与える影響やロボットの感情的な動作表出の研究 [中田 01] がおこなわれている。しかし、人間やロボットの大きさ（スケール）や機構、自由度や動作速度などの条件が異なるため、それらの研究成果を適用することは困難であるし、適用しても同じ印象を与えるとは言えない。本研

究においてロボットで表出したい感情は、他の研究機関のものとは同一ではない。さらに本研究は日常作業動作の中で感情を表出することを一つの目標としているが、そのような研究は見られない。

そこで、ロボットにおいて、内部感性（ロボットの擬似的な感情）を表出する手法つまり広義の擬似感性を実現するための研究を [内藤 05][梁取 06] おこなった。この研究では、介護者支援ロボットのプロトタイプロボット HAJIME-CHAN 実機を用い、その動きの中で人間に印象を与える動作要素を抽出し、その結果を用いてこのロボットに適した感情表出動作を自動生成した。ロボットの動作において、感性的な味付けをおこなうことが可能であることを本研究をとおして確認できた。

## 6.1 動作における感性表出の要件

介護者支援ロボットにおいて生成されたロボットの感情状態を表出する機構を開発するにあたり、四つの要件を設定した。

まず前述のとおり、ロボットの基本行動を妨げずに、その行動中にその感情状態が表出可能でなければならない。このことは、感情表出のためだけのジェスチャによる表出はおこなえないことを意味する。本研究では、基本的な動作の実行中において、感情を表出するための動作調整部の一つの形態として動作調整表出部: Motion Modulation System (以降 MMS と表記) を提案した。

なお、4.3 節「擬似感性の構成」では、感性表出する部位を感性表出調整部: Kansei Expressive Regulator」(Fig. 4.4) と表記しているが、これは動作以外の音や光などの感性的な表現要素を含む機構名だからである。本節では、動作のみを対象としているため、MMS なる機構および名称を用いている。

次に、同様に前述の事項として、人が心の内に持っている感情状態と表出する感情が異なるように、実際のロボットの感情状態と表出すべき感情状態は変えなければならない場合が存在する制約がある。この場合の切り分けは、記憶や経験、概念に基づく論理

処理等が必要であり、実現は非常に困難である。しかしながら、少なくとも現在の感情状態と異なる感情状態を表出可能な仕組みについては、考慮する必要がある。したがって、本研究では、本制約に対する本質的な実装はおこなわないが、将来的に対応可能な機構を MMS に組み込むこととした。

三つ目の考慮事項として、ロボットの動作時間と感情状態の時間的な関係が挙げられる。本研究における感性生成部は 5 秒に 1 回感情状態を作り出す。その一方で、基本的な動作に必要な時間は、その安全性のために 5 秒以上かかることが想定できる。感情状態の変化のタイミングと基本動作の終了のタイミングが一致しないことは、その表出に対する違和感を感じさせる要因となりうる。

また、同時に四つ目の事項として、感性生成部にて出力される平静を含めた六感情であるが、純粹にこれを基本動作に適用すると 6 パターンの違いしか表現できない問題がある。これらの二つの考慮事項をふまえ、表出には過去の感情状態を活用することのできる構成として感情ベクトルを扱うことのできる構成を MMS に盛り込んだ。これにより、以前の感情状態を考慮しつつ、多様な動作の生成が可能となる。

以降、MMS の基本構造、動作調整の手法、プロトタイプロボットに実装しておこなった評価実験について詳述する。

## 6.2 動作調整表出部 (MMS)

感性生成部で作られたロボットの感情を動作として外部に表出する仕組みとして、ロボットの通常の動作に対して味付けをし変調するシステム動作調整表出部 (Motion Modulation System: MMS) を提案し、構築した。

MMS の基本構造を Fig. 6.1 に示す。MMS への入力にはロボットの感情と選択された実行中のタスクにおけるひとつの基本動作である。出力は、その基本動作に対して感性的な味付けがなされた動作である。MMS 内部は、感情ベクトル導出部 (Emotion Vector Generator) と動作変調部 (Motion Modulator) の二つの部位に分かれる。

感情ベクトル導出部は、入力されたロボットの感情を受け取り、ベクトルとして複合化されたロボットの感情を出力する。これは、前節の3番目と4番目の考慮事項である過去の感情を考慮しながら、表現パターンを増加させるための仕組みである。

動作変調部は、さらに動作パラメータ算出部 (Motion Parameter Calculator)、動作軌道生成部 (Trajectory Generator)、関節角度算出部 (Angle Calculator) の3部位から構成される。

動作パラメータ算出部は、ロボットの複合感情度合いに対応する動作特徴を示す動作パラメータ (Motion Parameters, 以降 MP) を計算する。

動作軌道生成部は、MMS に入力されたロボットの基本動作と動作パラメータ算出部から出力された MP を入力され、基本動作の軌道に対して MP に基づき軌道の変調加工をおこなう。そこから出力された動作軌道情報を用いて、関節角度算出部にてロボットの各関節角度が計算され、動作が表出される。

以降、感情ベクトル導出部、動作パラメータ算出部、動作パラメータ、動作軌道生成部および関節角度算出部について詳述する。

### 6.3 感情ベクトル導出部

感性ベクトル導出部の入力値、すなわち感性生成部から渡される感情は、前述の六感情 (喜び・恐れ・悲しみ・怒り・嫌悪・平常) である。それらの時系列データを元に喜び・恐れ・悲しみ・怒り・嫌悪の五感情 (平常が省かれている) に対応した五次元の感情ベクトルを生成し、出力する。五次元で表現することにより、単一感情ではなく複合感情を表現している。各感情ベクトルの最小値は0、最大値は10であり、それぞれの感情要素の強さの度合いを示している。なお、平常は、これらの全ての感情ベクトルの値が0である場合に相当する。

感情ベクトルの値は、入力に応じて増加する。時刻  $t$  において、感性生成部から新たにある感情が入力されると、その感情に対応した感情ベクトルが5増加する。

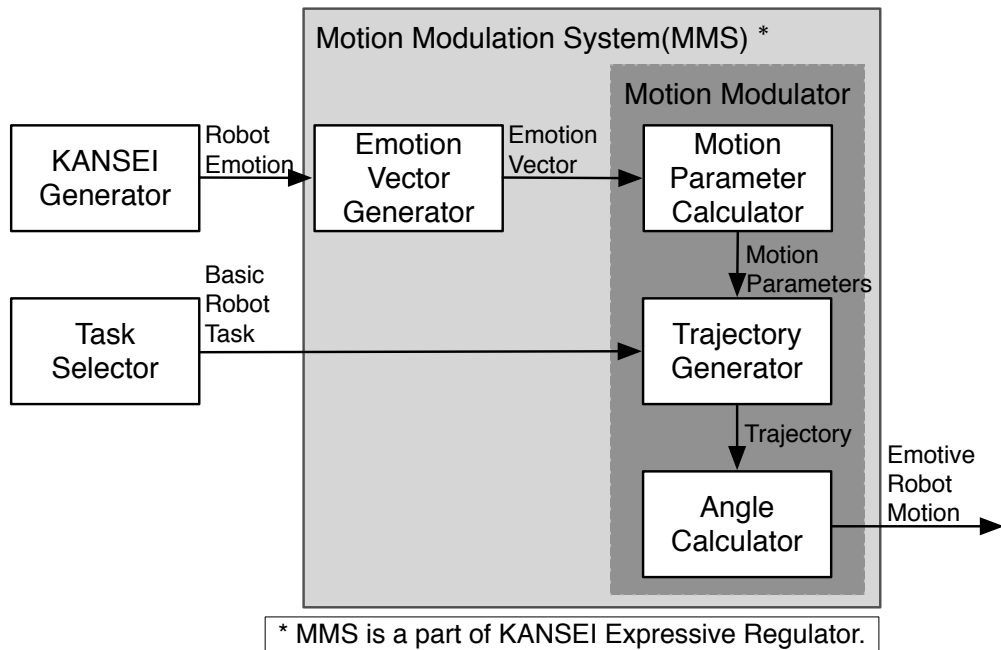


Fig. 6.1: Structure of Motion Modulation System. (Revised from [Miyaji 07]).

また、感情ベクトルの値を単調増加させないため、感情ベクトル生成部には減衰の機能を含めた。感情ベクトルを出力した後かつ時刻  $t+1$  に新たな感情が入る前に、全ての感情ベクトルの量を減少させる。ある感情のベクトルの値を  $n$  とする時、 $n$  が偶数の場合には  $n' = n/2$ 、奇数の場合には  $n' = (n+1)/2$  (ただし  $n = 1$  の場合は  $n' = 0$ ) の操作をおこなう。

同じ感情が4回連続して入力されるとその感情に対応した感情ベクトルの値が最大値10を示し、その感情の入力が4回ない場合には最小値0を示す。これにより、後述するMPが動作に及ぼす影響を一定の範囲内に収めつつ、動作の多様性を確保することができる。

## 6.4 動作パラメータ算出部

動作変調部内の動作パラメータ算出部には，感情ベクトルが入力される．動作パラメータ算出部内には，ロボットの動作に対して味付けをおこなう（変化を与える）ためのパラメータである MP の最大値と，5 感情に対応する動作特徴を関連づけた重みが保持されている．本論文内で述べる「印象に影響を与える動作要素」とは，この MP と重みの関係をさしており，事前に予備実験にて求めた．動作パラメータ算出部の出力は，感情ベクトルの度合いに応じて調整された MP の値である．

### 6.4.1 動作パラメータ：MP

本論文におけるロボットの日常作業の動作は，腕の始点および終点が特定可能である．それらに感情を付加した動きを実現するために，ロボットの手先の動作軌道は横軸を時間に縦軸を方向 ( $x, y, z$ ) とする 3 種類の各平面上における 3 次スプライン曲線を合成して生成をする (Fig. 6.2)．

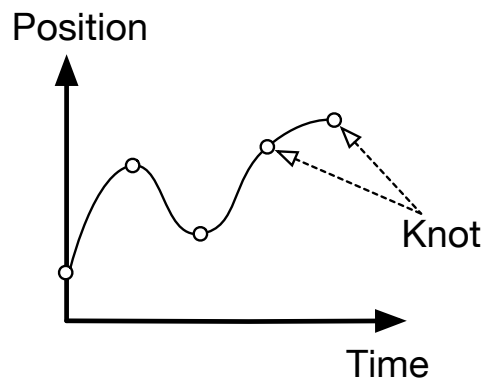


Fig. 6.2: Spline curve representing basic motion trajectory of a robot hand.

このスプライン曲線は，始点と終点を含めて 5 つの節点で表現する．本来直線で表現されるロボット手先の動作軌道上の 5 つの節点を変化させることによって，動作軌道は

様々な3次スプライン曲線を示すことになる。これらの節点をある一定の規則でMPによって変化させる。ここでMPは、 $W_t, E_x, E_y, E_z, R_t, V_x, V_y, V_z$ の8個で構成される。

$W_t$ は、スプライン軌道の始点から終点までに要する時間 $T_l$ を操作するパラメータである。 $T_s$ を基本動作の標準時間とする時、次式のように表現する。

$$T_l = T_s + W_t \quad (6.1)$$

$W_t$ の値が大きくなるほど動作に要する時間が長くなり、負の値をとると動作時間は短くなる。

$E_x$ は、スプライン軌道の始点( $x_0$ )と終点( $x_4$ )以外の節点の $x$ 軸方向の位置である $x_i(i=1,2,3)$ を操作するパラメータである。 $S_x$ は始点の $x$ 座標を、 $D_x$ は始点から終点までの $x$ 軸上の距離を表す時、 $x_i$ は次のように表現する。

$$x_1 = S_x + D_x(1/4 + E_x/2) \quad (6.2)$$

$$x_2 = S_x + D_x(2/4 + E_x) \quad (6.3)$$

$$x_3 = S_x + D_x(3/4 + E_x/2) \quad (6.4)$$

$E_x$ は動作の $x$ 軸方向の空間的な広がりを表す。

$E_y$ および $E_z$ は、 $E_x$ の $x$ 軸をそれぞれ $y$ および $z$ に置き換えたものであり、 $y_i$ および $z_i$ の数式も同様と考える。それぞれ、動作の $y$ 軸および $z$ 軸方向の空間的な広がりを表す。

$R_t$ は、スプライン軌道の各節点間の時間軸上の間隔 $h_i(i=1,2,3,4)$ を操作する。

$$h_1 = h_2 = 1/4 + R_t \quad (6.5)$$

$$h_3 = h_4 = 1/4 - R_t \quad (6.6)$$

ここで、 $R_t$ は $(-T_s/8 \leq R_t \leq T_s/8)$ とした。 $R_t$ が負の値の場合には、スプラインの節点が前半に寄せられ、動作前半の動作が加速し、動作後半では減速する。また、 $R_t$ が正の値の場合には、この逆となる。

$V_x, V_y, V_z$ は、それぞれ $x, y, z$ 軸方向の振動の有無を表す。振動する場合には、それぞれに対応する $E_x, E_y, E_z$ の値を同時に操作する必要がある。この操作により振幅が調

整される。なお、 $V_{x,y,z}$  と  $E_{x,y,z}$  は、相反する成分が入っており、その調整が困難である。そのため  $E_{x,y,z}$  が 0 を示す軸のみで振動を表現することとし、簡易化のために 3 段階で表現することとした。以降  $V_{x,y,z}$  を  $V$  と記述する。

以上の MP とスプライン曲線の概要を Fig. 6.3 に示す。

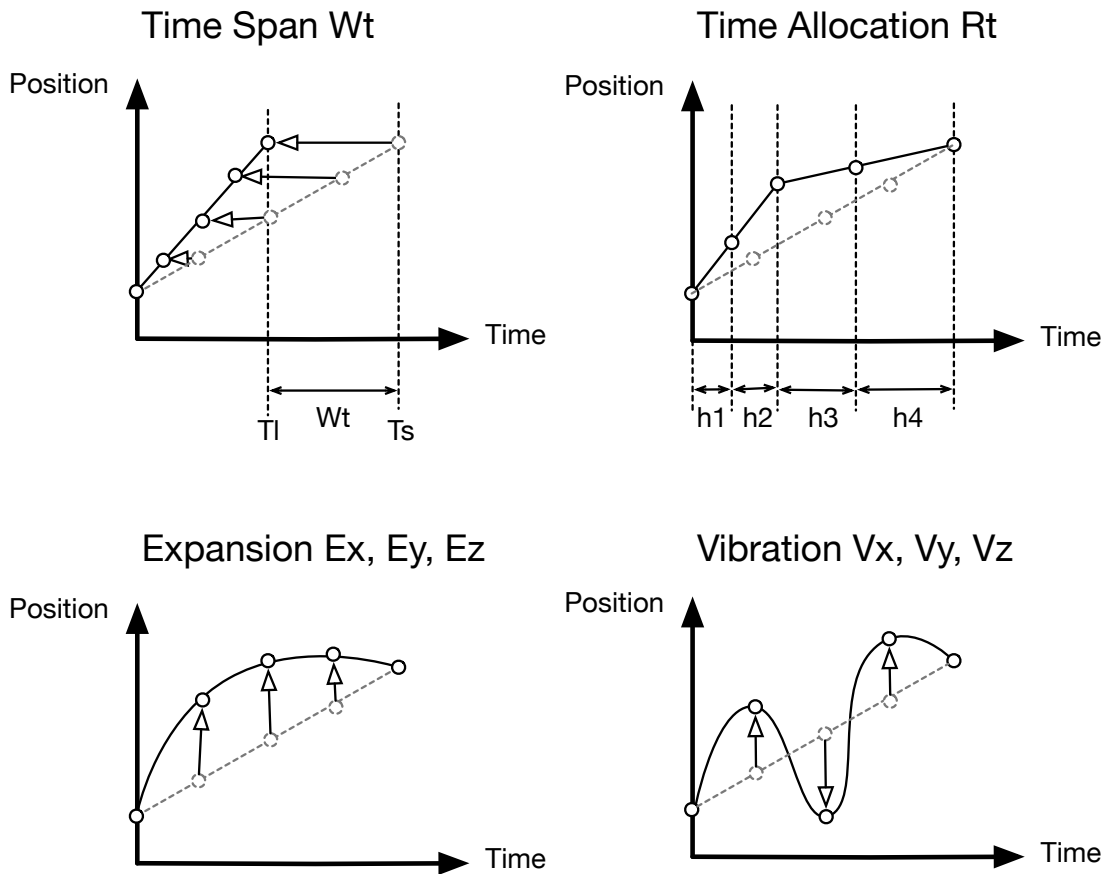


Fig. 6.3: Adjustment schemes of the spline curve using Motion Parameters.

#### 6.4.2 MP 算出方法

MP の集合を  $MP$  とよぶ。MP は、速度や到達可能範囲などのハードウェア的な制約の中で変化させる必要がある。そのため、各基本動作の MP の操作量の最大値の集合



を  $MP_{max}$  とする。この  $MP_{max}$  は、各基本動作ごとにあらかじめ求めておく必要がある。

$MP$  のパラメータの値は、それが及ぼす感情的な印象への影響度と感情ベクトルの大きさをを用いて算出する。 $MP$  のパラメータが及ぼす感情的な印象への影響度は、重み定数の集合を  $W_I$  とし、予備実験にて算出した（それぞれの値は  $-1$  から  $1$  の範囲に収める）。この  $W_I$  の要素は、 $MP$  要素が各感情を表す度合いと換言することができる。一方、感情ベクトルの要素の値は  $0$  以上  $10$  以下であるが、これを  $0$  から  $1$  の範囲に収まるようにノーマライズしたベクトル  $W_E$  を実際には用いる。

以上を用いると  $MP$  は次式で表現できる。これにより各感情の履歴に基づく強さに応じた感情要素を含む動作パラメータが算出されることになる。

$$MP = W_E \cdot W_I \cdot MP_{max} \quad (6.7)$$

感情ベクトル中の、ある一つの感情要素の値だけが大きい場合には、その感情を表現するパラメータセッティングが支配的になり、その感情を表す動作が実行される。なお、平常の状態である感情ベクトルの値が  $0$  の場合には、 $MP$  の値は  $0$  になる。つまり、動作の変化を及ぼすパラメータの効果がなくなり、感情的な効果が付与されない、一般的な動作を表出する。

## 6.5 動作軌道生成部および関節角度算出部

基本動作に対して、それに応じて得られた  $MP$  の値を合成し、動作軌道を求める。軌道の生成には、3 次のスプライン補間をおこなう。基本動作によって、始点および終点が決まっている。MP によって、終点の位置および到達時刻、始点終点以外の節点の位置および到達時刻が決定される。これらの始点と終点を含めて 5 つの節点間を 3 次スプライン曲線の式にて補間する。これにて感情を付与したロボットの手先の動作軌道ができていく。

生成された動作軌道の一例を Fig. 6.4 に示す。この図は、5 回の怒りと 6 回の恐れ

感情出力から作られた感情ベクトルを元に算出されたパラメータを使い生成されたロボットの手先の動作軌道 ( $x$  軸方向) である。

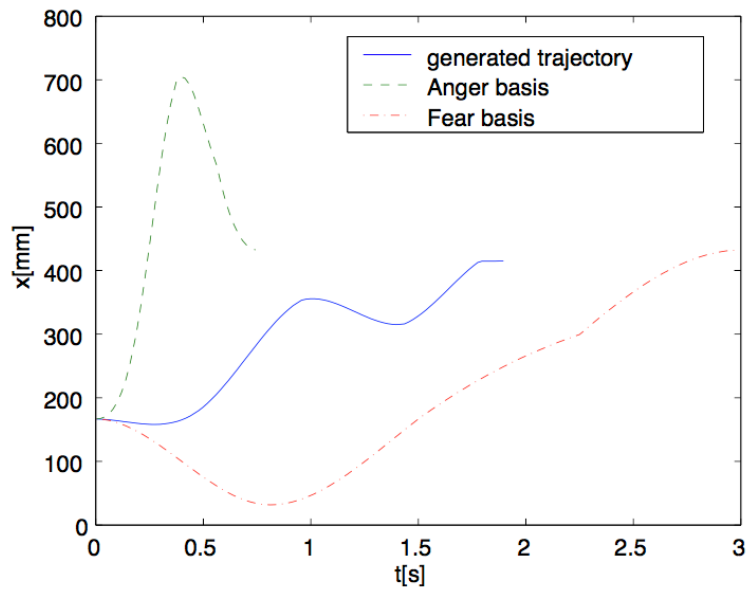


Fig. 6.4: The trajectory generated by a combination of anger and fear basis trajectories at 5 to 6 combination ratio. [内藤 05]

関節角度算出部は、その動作軌道から各関節の角軌道を算出する。介護者支援プラットフォームロボット HAJIMECHAN への実装にあたり、腕部および把持部は多関節であるため、幾何学的な解析手法を用いて逆変換をおこなった。

## 6.6 実験方法・結果

MP の各パラメータを求めるため、またロボットの基本的動作に対して MMS および MP が感性的に有効な効果を与えることが可能かを確かめる実験をおこなった。

選定した基本動作は「物を差し出す」であり、手先が下方にある状態から肩の高さまで手首の向きが常に一定である動作である。また、この際の基本動作の標準終了時刻  $T_s = 4[\text{sec}]$  とした。この基本動作に対して、各 MP の数段階の値を組み合わせ、特徴の

ある動作サンプル 16 種類を作成した (Table 6.1).

Table 6.1: Motion parameter setting for impression evaluation experiment.

	Wt	Rt	Ex	Ey	Ez	V
Base Motion	0	0	0	0	0	0
Motion 01	-2	2	1	1	2	0
Motion 02	-1	-2	2	0	-1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Motion 15	2	-2	0	2	-1	0
Motion 16	0	1	1	0	-1	1

動作サンプルを動画として撮影し、等身大かつ床に置かれているように見えるよう配慮した上で、アンケート採取をおこなった。対象は、20 名である。回答方法は、基本動作と比較して怒り、嫌悪、恐れ、悲しみ、喜び、どれでもないの 6 個から選択し、その印象の強さを 3 段階で評価するものとした。

アンケート結果は、回答者数を感情毎に人数集計し、印象の強さを 1 点から 3 点に点数化し (以降、印象得点) 感情毎に集計した。集計結果をグラフ化 (Fig. 6.5) したところ、高い印象得点を示す動作サンプルが確認できた。これは、MP の値の組み合わせで感情の印象を与えることが可能であることを示していると考えられる。

また、動作サンプルから受ける印象と各 MP との関係を数値化するために正準相関分析をおこなった。正準相関分析の第一変量群を動作サンプルの MP 群とし、第二変量群を各感情の印象得点とした。正準化された各変量の値を Table 6.2 に示す。ここで正準相関係数の計算結果は、怒り: 0.67, 嫌悪: 0.82, 恐れ: 0.79, 悲しみ: 0.85, 喜び: 0.77 となり、高い相関を示していることから、正準化された各変量つまり MP の係数は信頼できるものだといえる。

以上のように各感情と MP の影響度合いを求めることができた。また、平常の基本動作に対して、MP の影響を付与することによって、実際に感性的な印象を与えることが

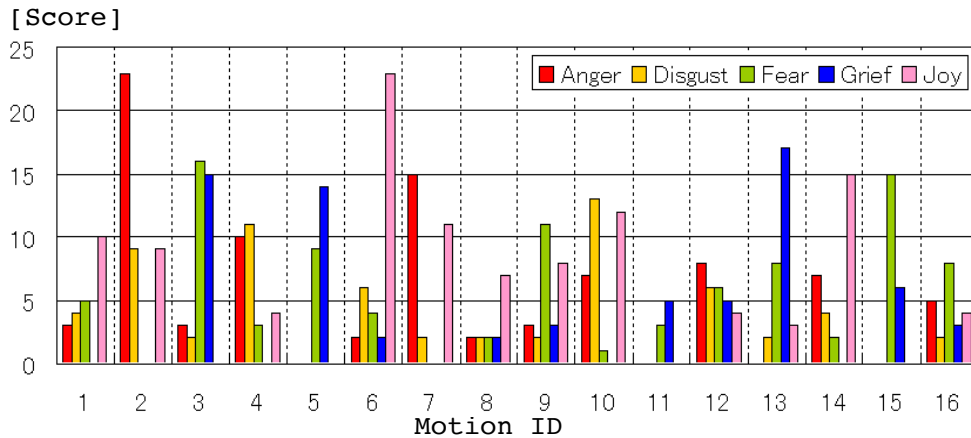


Fig. 6.5: Emotional impression score breakdowns of sample motions.

Table 6.2: Emotional effect and motion parameters (MP). [梁取 06]

	Anger	Disgust	Fear	Grief	Joy
$W_t$	-0.318	-0.163	0.297	0.092	-0.419
$R_t$	-0.387	-0.259	0.329	0.209	-0.475
$E_x$	0.400	0.013	-0.377	-0.320	-0.485
$E_y$	-0.188	0.188	0.209	-0.169	-0.064
$E_z$	0.245	0.399	-0.454	-0.739	0.535
$V$	0.848	1.290	-0.396	-0.379	0.373

できることが、確認できた。

なお、詳細な考察は、既報に譲る [梁取 06] が、以下の傾向が見られた。動作の見た目の印象として、怒りは動作が速く振動が多いため荒々しい印象、恐れや悲しみは全体的に遅く下方への広がりが大きいため弱々しい印象、喜びは早くて軽快な印象と言い換えることができる。この印象は、人の動作と置き換えても不自然さがないことから、本研究のロボットの感情的な動作特徴は人間のものと類似していることがわかった。

## 6.7 まとめと課題

本章では、介護者支援ロボットにおける感性的な動作表出手法について述べた。

具体的には、日常の論理的なタスク実行時の動作に感性的な要素を付与するための仕組みとして動作調整表出部（MMS）を提案し、実際に構築・表出実験をした。ジェスチャや表出専用の仕組みを使うのではなく、実際の動作をおこなっている最中の腕部を用いてロボットの内部感情の表出が可能であることを示すことができた。

しかしながら、ロボットに何も仕事がない（＝動作がない）状態においてはどのように内部感情を表出すれば良いのかという疑問が生じた。同様に腕を用いず、移動作業をしている場合など、本研究の表出方法を用いることはできない。「仕事がないときは常にジェスチャをおこなう」「感情を示す音や声を出し続ける」「ランプで知らせる」などは、騒々しく介護現場などにはふさわしくないだろう。静止時で人間と相対している際つまりコミュニケーションロボットやペットロボットの場合には、「顔表情を用いる」のが最も適切であろうが、移動時には観測ができない。感情表出の効果や人間に与える影響を含めて検討する必要がある。



## 第7章

# 擬似感性システムの有効性評価

本論文では、ここまで介護者支援ロボットの実現を目指して構築された一連のシステムの構成要素について記述してきた。それぞれの要素である外的感性、感性同定、感性生成および感性表出を個別の評価をおこない知見を得た。また、感性生成を除く要素である外的感性・感性同定・感性表出においては、その入力と出力の関係が明らかであり、個別の評価をおこなっても問題ではない。

しかしながら、感性生成部の評価は個別におこなったものだけでは不十分である可能性がある。感性生成部の各論にておこなった評価方法は、教師データである人間の感情出力をどれだけ模倣できるかという点についておこなわれ、その能力を測る上で妥当なものである。その一方で生成された感情を人間が目にした時、どの程度の妥当性（有効性・違和感・親和性）があるのかは上記の評価方法で測ることができない。つまり、システム全体を統合した上での感性生成部からの出力を第三者が評価する必要があるのではないかと考えた。

本章では、この流れを受け擬似感性システムを簡易的に統合し、感性生成部の評価をおこなった研究について述べる。なお、これらの主要部分は「人間共生ロボットにおける擬似感性システムの構築と評価」 [Kogami 09] にて報告済みである。

また、本来の目的である介護者支援ロボットという側面から見た場合の評価システムについて記述する。

## 7.1 擬似感性システムの統合

第三者による感性生成部の評価とは、簡易に述べると「ロボットとその相手となる人間が、各々の感情を表出するやりとりの様子を第三者が評価」することを意味する。

そのような評価を受けるために、感性同定と感性表出を含めて統合し、ひとつの簡易的な擬似感性システムを構築した。ここで簡易的とは、Fig. 4.1 に示した全ての構造を実現したのではなく、感情を取り扱う部位のみによって構成したことを示す。また、評価実験のために、介護者支援ロボットの範疇から外れる要素および擬似感性の構成要素に対して、三点の検討をおこなった。

一点目は、感性表出の部分は、感性表出調整部にて感情ベクトルを用いず、動作変調をおこなわないことにある。本研究の目的は感性生成部からの出力の感情の評価であり、感情ベクトルでは評価が困難だからである。動作を変調する際に用いるパラメータは、非常に複雑であり、動作の多様さを生成するのには向いているが、生成された単感情を評価するのには向いていない。単感情を評価しやすい感情表出部を選定した。

二点目は、介護者支援プラットフォームロボットを用いないことにある。介護者支援プラットフォームロボットでは、感情表出が可能であることを 6 章にて示したが、問題点で述べたとおり動作終了後には感情出力の要素がない。人間とロボットの連続的な感情のやりとりを第三者が評価するためには、この表出の仕組みは不向きである。したがって、一点目と同様に評価しやすい感情表出部が必要である。

三点目は、感情の同定や表出には、表情を用いることである。Mehrabian が対話において伝達される情報量のうち約 6 割が表情からである [Mehrabian 68] と示したように、人間同士の対話で表情が非常に重要な役割を担っている。

上記三点を満たすために、感性同定部には相手の人間の表情を認識する機構を、感性表出部は感性生成部の感情をそのまま表出する小型の表情表出可能ロボット CG を用いることとした。



以降，統合した擬似感性システムのデータフロー（Fig. 7.1 参照）とそれを構成する感性同定部と感性生成部，感性表出部の構成内容とについて述べる．

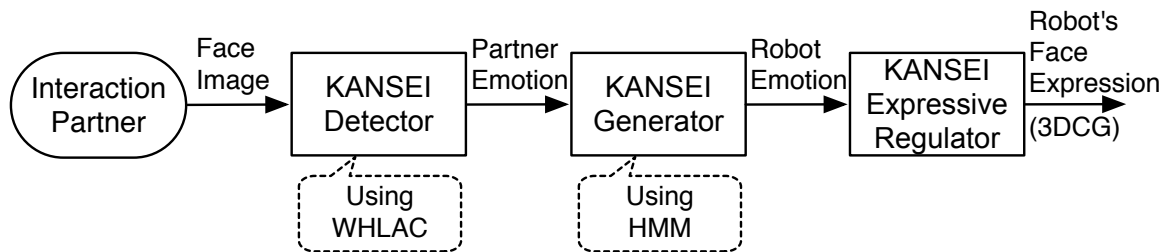


Fig. 7.1: Process flow of simple integrated simple Virtual Kansei system. [Kogami 09]

簡易擬似感性システムの入力は，相手となる人間の表情の画像である．この顔画像からの感情同定には，篠原ら [篠原 04] 提案の重み付き自己相関特徴（Weighted Higher-order Local Auto-Correlation: WHLAC）の手法を用いた．その出力は，Ekman の基本六感情 [Ekman 07] を参考に，怒り，嫌悪，恐怖，悲しみ，喜び，そのどれにも属さない平静の合計六感情とした．同定部は，5[sec] に一度コミュニケーションをする相手の感情状態を出力する．なお，今回用いた感情同定の正答率は 75% であった．

同定された感情は，隠れマルコフモデルを用いて構築した感性生成部（狭義の擬似感性）に渡され，ロボットの感情を生成する．この部分は，既報告 [Kogami 07] のシステムを用いた．入出力には，感性同定部と同様の 6 種の感情を取り扱う．

生成されたロボットの感情は拡張現実感の技術を用い，3D CG モデルの動画として表出される．3D CG モデルは ARToolKit を用いて，USB カメラから取り込んだ動画のマーカ―上に Fig. 7.2 のように表示される．3D CG のロボットは，眉・口・瞼を動かし，各感情を表現する．ロボットの表情は Ekman の Action Unit [エクマン 87] を参考にして作成したものを，アンケート結果から確定した．なお，ロボットとしての実現性を追求するのではなく，ロボットとしての感情表出のわかりやすさを優先した．こ

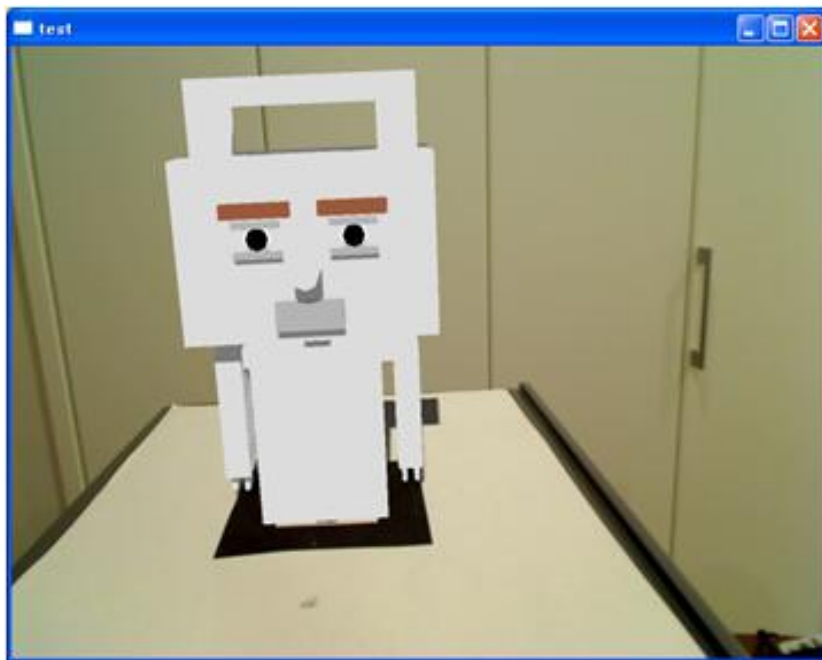


Fig. 7.2: 3D facial expression robot using AR.

の感情表出の例を Fig. 7.3 に示す.

表情は固定のものを瞬間的に表出するのではなく、ロボットの感情が遷移した場合、無表情を中継して変化する動きをもたせた。ここで、各感情で基本表情を設定し、基本表情からその感情の表情へ遷移し、最後に基本表情に戻る形式とした。また、一つの感情に対して複数の表情があるが、それはアンケートの支持率から出現頻度を決定した。複数の表情を用意したのは、単一の表情表出が連続した場合の飽きや不自然さを解消するためである。

## 7.2 擬似感性システムの評価

簡易的に統合された擬似感性システムを用いて、感性生成部の評価をおこなった。

すでに述べた通り、感性生成部自体は、人間同士の感情のやりとりを学習模倣する。それ自体の妥当性は、正答率で判断可能であり、その結果は得られている。したがって

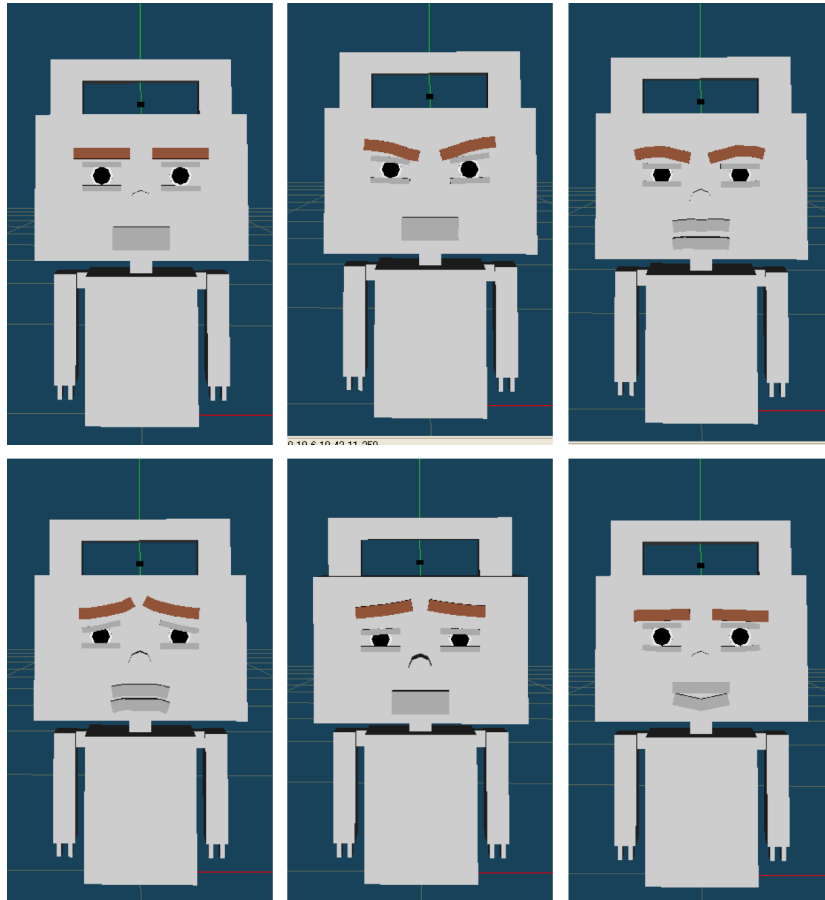


Fig. 7.3: Examples of the robot facial expressions. From the top-left to the bottom-right, Neutral, Anger, Disgust, Fear, Grief, and Joy. [Kogami 09]

本節にて検証したいのは、その生成された感情を表出できるシステムを用いて、実際に人間とインタラクションをおこなった際の有効性である。その有効性については、そのインタラクションを外部観測者である第三者が評価することから、「自然さ」という指標を用いることとした。ここで、第三者による評価や評価尺度の選定については、7.3節にて説明する。

実験参加者は、人間とロボットが表情のみでインタラクションしているビデオ (Fig. 7.4) を見て、ロボットの反応が「自然」「不自然」「どちらでもない」のどれ

に一番近いかを判断する。1つのビデオは2分40秒であり、これを2種類用意した。実験参加者は、20代の大学生15名である。感性生成部からは5秒ごとにロボットの感情が出力されているが、実験参加者が5秒ごとに評価をおこなうことは困難であるため、10秒ごとに判断をおこなうものとした。また、出力全体をとおして「自然さ」の順位付けの評価をおこなった。この実験手法を採用した理由については、7.3節にて詳述する。

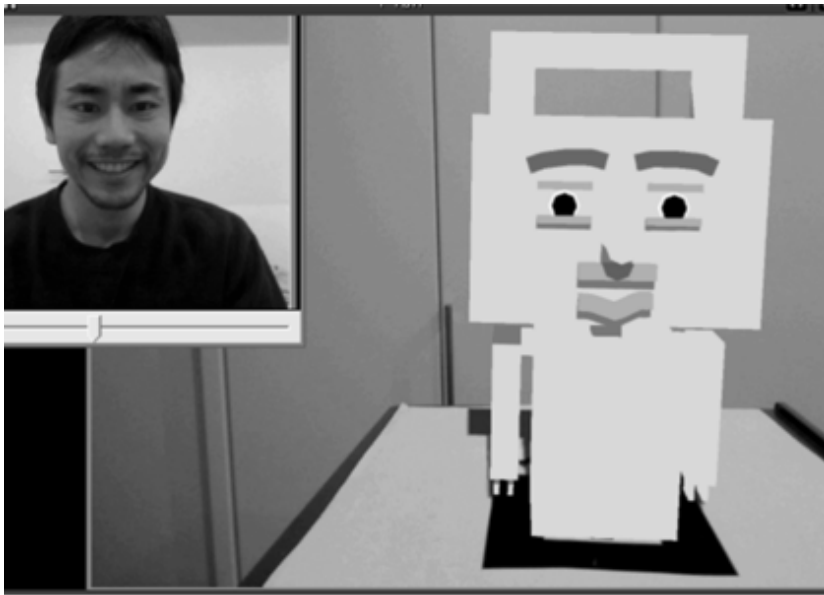


Fig. 7.4: A movie clip showing emotional interaction between a robot and a human. [Kogami 09]

ここで、「自然さ」に絶対的な基準を設けるのではなく、「その個人が感じる自然さ」という基準を用いることとした。自然さの定義や感じ方は、個人により異なるため、統一的な評価をおこなうことは難しい。ロボットの感情要素の実利用の場面において、「不自然さ」ではなく「自然さ」を感じることは、重要であると考え、その指針は除外すべきではないと考えた。したがって、程度や理由は異なっても、自然さを（あるいは不自然さを）感じた事実を重視した。

ただし、そのまま自然か不自然かを問うだけでは評価としては十分ではなく、比較対象が必要と考え、比較対象となる3種類を用意した。それらは、感性生成部によって作

られた感情をロボットが表出する今回の評価対象（以下、擬似感性手法）、表情同定の結果をそのままロボットの感情とする方式（つまり相手の感情をコピー、以下ミラーリング手法）、ランダムに感情を表出する（以下、ランダム手法）である。同じ条件を3手法で比較するため、この際のビデオに映る人間はストーリーに沿って表情を変化させた。なお、実験方法と結果の詳細は、既報 [Kogami 09] に譲る。

システムへの入力と出力の遷移を Fig. 7.5 に示す。図中の (a) はビデオ中の人間の表情つまりシステムへの入力であり、(b) は擬似感性手法、(c) はミラーリング手法、(d) はランダム手法からの出力である。それぞれの図中の破線区切りは10秒単位で引かれており、一番左側が開始時点を示している。白・赤・オレンジ・紫・青・黄色の色分けは、それぞれ平静・怒り・嫌悪・恐怖・悲しみ・喜びを示している。

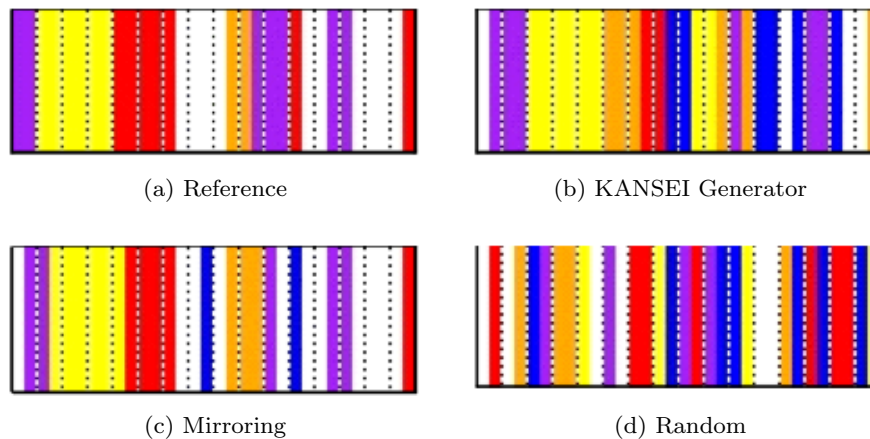


Fig. 7.5: Emotion transitions where dashed lines are drawn every 10 seconds and white, red, orange, purple, blue, and yellow colors imply neutral, anger, disgust, fear, grief, and joy, respectively. The emotion transition of the partner is given in graph (a) as a reference. Graphs (b), (c) and (d) are the emotion transitions generated by KANSEI Generator, the mirroring of the partner emotion, and the random manner, respectively. [Kogami 09]

この出力を評価した結果を Fig. 7.6 に示す。グラフ横軸は10秒区切りの時間軸であり、縦軸は100%積立表示で評価結果を示している。グラフ中の青色・赤色・緑色は、

Table 7.1: Ranking of the robot responses in terms of their naturalness. The numbers in the table are the numbers of persons who ranked the corresponding method (column) at the corresponding position (row). [Kogami 09]

	KANSEI Generator	Mirroring	Random
1st	2	10	2
2nd	8	2	4
3rd	4	2	8

それぞれ「どちらでもない」「自然」「不自然」の回答を示している。

同様の出力結果と評価の結果は、もう1セットおこなった。グラフの結果を見ると、全体的にミラーリング手法の方が「自然」と回答している部分が多いことが見て取れる。

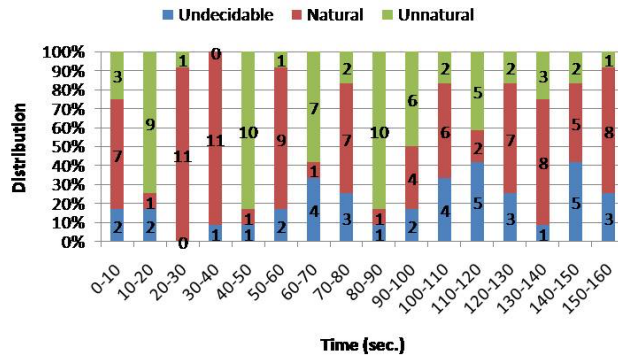
次に、順位づけの結果を Table 7.1 に示す。自然さの順位づけにおいても、ミラーリングが一番であることがわかる。

この順位づけの有意差を見るために、距離尺度に変換し検定をおこなった。Fig. 7.7 に各種の距離尺度を示す。1 とラベルのついた横棒が擬似感性手法、2 のラベルがミラーリング手法、3 のラベルがランダム手法を示している。5%有意水準で棄却される幅 (LSD) を計算すると 0.56 であり、これより小さいものは有意ではない。それぞれの差をみると、ミラーリングと擬似感性手法、ミラーリングとランダム手法間には有意差があり、順位が入れ替わることはない。しかしながら、擬似感性とランダム手法間の差は、有意差がないことが示された。

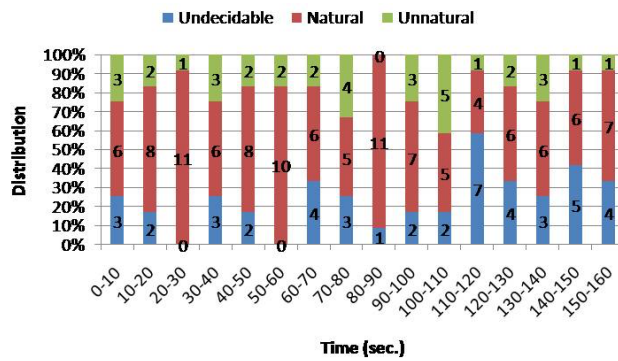
つまり、順位づけの数の上では擬似感性手法の方がランダム手法において優れているものの、検定結果としては有意差がないことが示された。

以上の結果を受け、擬似感性手法の問題点と改良点を明らかとすることにした。

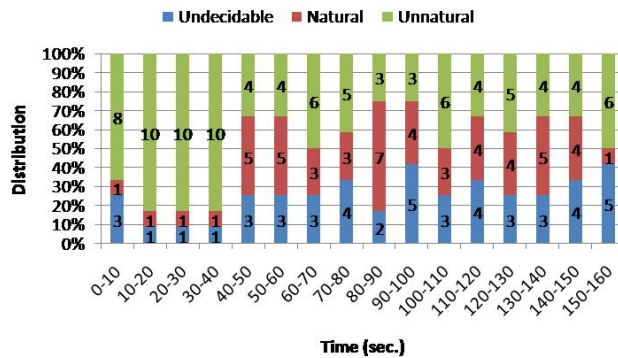
具体的には、擬似感性手法のシステム出力および判定を精査し、評価者が「自然さ」および「不自然さ」を感じている状態を特定した。評価者が不自然さを感じているのは、人間がポジティブ (ネガティブ) を表している時にロボットがネガティブ (ポジティブ)



(a) KANSEI Generator



(b) Mirroring



(c) Random

Fig. 7.6: Evaluation of naturalness of the robot response at every 10 seconds. Graphs (a), (b), and (c) correspond to KANSEI Generator, the mirroring method and random method, respectively. The horizontal and vertical axes are time in second and the approval rate. Blue, red and green bars represent undecidable, natural and un-natural labeling, respectively. [Kogami 09]

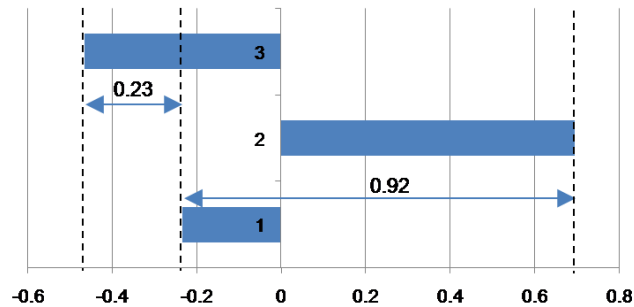


Fig. 7.7: Distance scale among KANSEI Generator, the mirroring, and the random methods. The top, middle and bottom bars correspond to the random method, the mirroring method and KANSEI Generator, respectively. [Kogami 09]

を表出している場合であった。また、実験参加者より、人間の感情が平静状態である際、ロボットが怒りの表情を見せるのはおかしいという指摘を受けた。

これら結果を用いて、擬似感性手法において出力感情に二つのルールを付加し、それにより改善が見られるかどうかの検証をおこなった。一つ目のルールは、「人間の感情がポジティブ（ネガティブ）な感情で感性生成部からの感情がネガティブ（ポジティブ）である場合には、ロボットの表情を強制的に平静にする」である。二つ目のルールは、「人間の感情が平静の場合に感性生成部からの感情がネガティブである場合には、ロボットの表情を強制的に平静にする」である。実験の結果、不自然であると回答されていたやりとり部分が、おおむね自然と判断され、有効なルールであることがわかった。ルール適用後も不自然さを感じる部位を観察することによって、人間が平静以外の感情を示した際にロボットの表情が変化しない部分に不自然さを感じる可能性がわかった。

このルール適用とは別に、ミラーリング手法が最も評価が高かった事実を受け、表情認識率が理想的であった時に、ミラーリング手法の評価の変化についても検証の必要がある。前述の通り、感情同定部の正答率は75%であり、ミラーリング手法はその結果を用いていた。感情推定を人手にておこない（正答率ほぼ100%）、その結果を用いた手法



(以降、完全コピー手法)との比較をした。その結果、完全コピー手法の方が自然であるとする分布の総和の方が多かったが、検定の結果としては差異は示されなかった。感情同定の正答率は、75%でも大きな影響を与えないことがわかった。

### 7.3 擬似感性システムの評価環境・指標

ここまで感性生成部の対人有効性を明らかとするために、第三者によるインタラクションの自然さという指標における評価について述べてきたが、それらの条件の決定理由については示さなかった。本節では、その決定過程と本実験にて実現できなかった環境とその理由について、当事者の評価実験環境、第三者の実験環境、評価対象と評価指標の側面から述べる。評価対象は、第三者の他に当事者も考えることができる。ここで介護者支援ロボットでの表現を使えば、当事者は被介護者、第三者は介護者に相当する。

まず、当事者が評価対象となる簡易擬似感性システムの予備実験をおこなった。当事者の表情を撮影しながらその表情を画面上に表示し、同時に3D CGロボットも画面上に出力し、リアルタイムに自分の表情に対してロボットの反応を見ながら評価する手法も実施した。しかし、自分の顔表情の映り具合やロボットCGの動きを確認する際に視線や顔向きが移動してしまい感情同定部の認識率が低下する問題が明らかとなった。さらに、当事者がロボットの反応に見入ってしまい、その評価をリアルタイムでおこなえないことが明らかとなった。これは、自分の顔が写っていない場合であっても同様であった。

したがって当事者が評価をおこなう場合には、リアルタイムでの逐次評価は困難であり、ある程度の期間利用した感想を取得する方式とすべきである。その場合、ロボットCGは通常場所に設置されたテレビに映した状態でも構わないが、確実に当事者の顔表情を採取し、ロボットの存在の臨場感を求める場合には、Fig. 7.8に示す実験環境が考えられる。当事者と相対する形で机の中央部にモニターが置かれる。このモニターの上には当事者の顔表情を撮影するカメラが、裏側には当事者と反対側の机の上に置かれ

たマーカを撮影するカメラが設置される。システムが稼働していない状況においては、当事者がモニターを見ると、そのモニターを挟んだ向こう側のマーカがモニターに映し出された状態である。システムを動作させると、そのマーカ上にロボットが表示される。

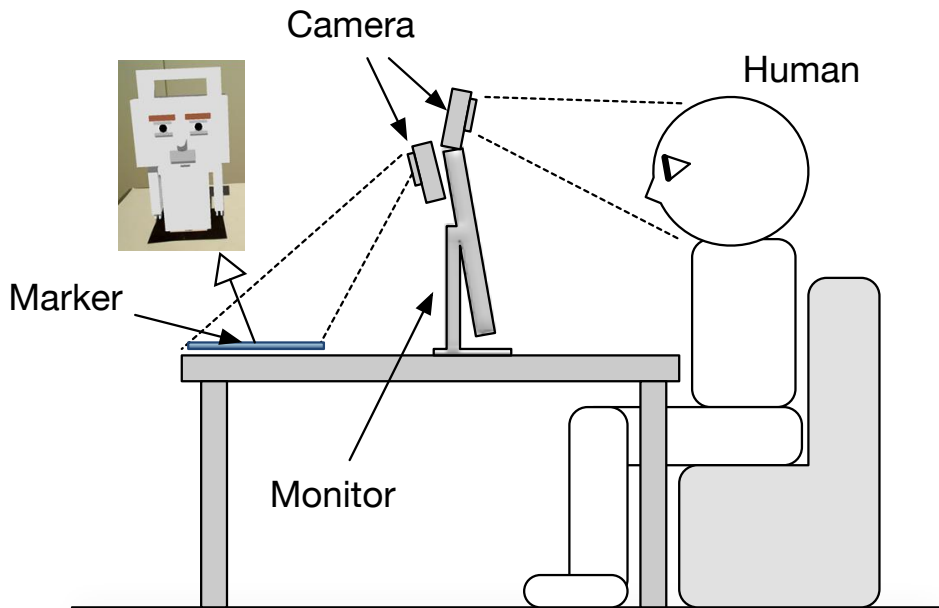


Fig. 7.8: An experimental set up considered for evaluation by the partner.

また、第三者が評価をおこなう場合の実験環境においても、今回の実験（当事者の顔表情とロボットの顔表情が同時にモニターに出力されるのを判断する手法）ではない方式の検討をおこなった。当初は、Fig. 7.9 に示すような実際に相対している様子を見ながら判断をするのが理想的と考えた。実験環境の検討の際、ロボットの顔表情が映ることを優先すると当事者の顔表情が映らず、その逆も同様であり、正確な判断ができないことが判明した。ロボットの表情を側面方向からも認識しやすいモデルに変更すれば改善の余地はあるが、リアルタイムで逐次的に評価をするのは難しい。したがって、この実験環境の場合においても、ある程度の期間インタラクションしている様子を第三者がさまざまな視点から見た上で、感想を得るのが望ましいと考える。

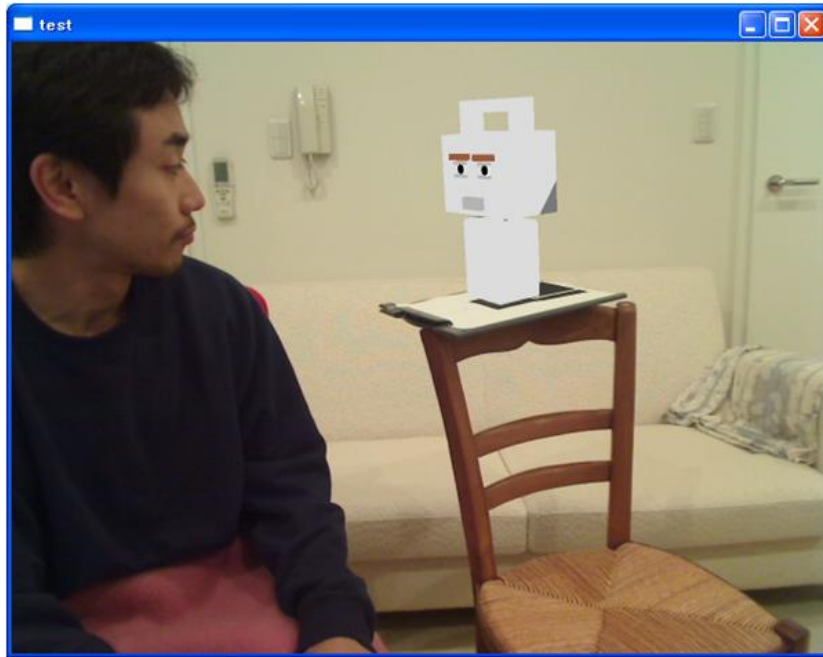


Fig. 7.9: An experimental set up considered for evaluation by a third party.

本章の主眼である実験は、感性生成部の出力の検証が主目的であったため、逐次出力を検証する必要があった。本節で述べた、事前に検討した・予備実験をおこなった形式は、逐次的な出力の評価には不向きであり今回は採択されなかったが、ある程度の期間利用した評価の場合、有効であると考ええる。

次に評価対象と評価指標の選定について述べる。評価対象が異なれば、当然評価指標は異なる。本来の介護者支援ロボットの表現を利用して記述すれば、介護者にとっての対人有効性とは、相手となるロボットの反応が「心地よく感じられる」「嫌な感じがしない」といった当事者にとっての直接的な指標である。介護者にとっては、被介護者に対して「悪影響を与えない」「相互作用が実現されている」「良い効果がみられる」などの第三者的な指標である。製品として完成しているものであれば、中長期的に利用の後、それぞれの立場からの対人有効性の評価をおこなうのが妥当と考える。

しかし、実験環境の議論と同様に感性生成部の評価が主眼であり、利用環境も実験的

なものであるため中長期的な利用による評価は不可能である。また、実験環境の予備実験から第三者による評価に限るという条件が与えられた。

次に、第三者がインタラクションを評価する指標として「良い・悪い」「効果的である・効果的ではない」「違和感がない・違和感がある」なども考えられる。「自然な・不自然な」という指標は、厳密には異なるがこれらを包含するものであると考え、採択された。また感性生成部は、介護者支援ロボットへの実装を目指して開発されており、介護者不在の際の被介護者とのインタラクションをすることから、第三者が評価する指標として「自然さ」は妥当であると判断した。

以上のことを総合して、本実験においては、第三者によって画面上に同時に表示される当事者の顔表情とロボットの顔表情を見て、そのロボットの反応を「自然さ」という指標に基づき判断することとした。

## 7.4 まとめと課題

本章では、感性生成部の性能ではなく有効性を明らかにするため、擬似感性システムを簡易的に統合し、その評価について述べた。また、その有効性を測るために「自然さ」を指標とし、複数の手法の比較をおこなった。

実験により、現状の擬似感性システムの評価をすることができた。現状のシステムにおいて擬似感性手法を用いるより、ミラーリング手法を用いた方が有効であることが示された。ミラーリング手法によるロボットの反応を自然と答えている評価者が多いことは、一般に知られているミラーリングの効果「相手に合わせてコミュニケーションをとるとコミュニケーションは上手くいく」[野口 05] を裏付けると考えられる。また、自然さの観点において、擬似感性手法における問題点は、人間の表出とロボットの表出が反対の表現である場合、あるいは人間が表出をしているのに反応をしないことに起因していることがわかった。以上から、感性生成部の出力結果をそのまま表出に用いるのは不十分であることが確認できた。さらに擬似感性手法を調整することによって、その改善

が可能であることを示すことができた。

一方で、これらの知見は、本研究の本来の介護者支援ロボットシステムにおける擬似感性の方針を支持しているといえる。感性生成部は介護者の感情生成を模倣することを目的としているが、介護者は被介護者の表出と反対の表出をあえてすることはなく、そのような教師データが不足していたことを示唆している。また、たとえ介護者がネガティブな感情を持っていても、それを表に出すことがないように、本来の介護者支援ロボットではそれを調整する機構を想定している。今回の簡易擬似感性システムでは調整機構がなかったことが問題だったことから、擬似感性システムには調整機構が必要であることが確認できた。

課題としては、インタラクションの要素と当事者評価が挙げられる。

まず、実際の間人同士のインタラクションでは、表情の他にも、ジェスチャや声色、発話内容が含まれる。今回はインタラクションのために、それらの複合した情報を利用することなく、顔表情のみを利用した。ここに二つの課題が存在する。

一つ目は、様々な情報を取り扱えるよう、システムを拡張していくことである。現状では、介護者支援ロボットに会話機能やジェスチャを実装する予定はないが、顔表情以外の出力を検討する必要がある。また、人間側が発する表情以外の感性・感情要素は、複合して取り扱う仕組みも検討し、実装する必要がある。

二つ目は、人間同士のインタラクションを表情のみでおこなった場合、自然さにどのような評価がくだされるのかの検証が必要である。今回の実験の三手法に加え、人間が被介護者となり、その表情をロボットに再現させた場合に、自然と判断されるのか比較実験が必要であろう。この解析により、新たな知見が得られる可能性が存在する。

また、7.3節で述べたとおり、システム全体の評価の場合には、当事者自身の評価も必要である。そのためには簡易でシステム構成をするのではなく、感性処理モジュールを全て揃えた上で、システム全体の評価がおこなえるようにする必要がある。



## 第8章

# 結論

本章では、本研究の全体に対してまとめをおこなうとともに、将来課題について述べる。

### 8.1 総括

本研究の目的は、コミュニケーションロボットにおいて、その主要機能となる擬似感性の提案と構築をおこない、知見を得ることである。その背景として、日本における労働力不足を補う形でロボットが一般に広く活用されるとの予想があり、その対人利用の際の親和性や良好なインタラクションを考慮する必要がある。その具体的な検討のために、介護ロボット（介護者支援ロボット）をターゲットとし、親和性や感性的な影響に配慮し、良好なインタラクションのために感性的情報を扱い出力する機能について、網羅的・体系的に研究することを目的とした。また、ロボットの感性要素群を擬似感性と名付けた。

本研究では、「擬似感性」の機能を有用なものとするために以下の問題設定のもと研究をおこなった。

- 介護者支援ロボットに必要な機能・要件設定
- 介護者支援ロボットの感性的な影響（外的感性）

- 感性的なインタラクションを実現するための擬似感性
  - － 人間の感情状態を把握する機能の構築（感性同定）
  - － 人間の感情遷移を学習して出力する機能（感性生成）
  - － ロボットの感情を表出する機能（感性表出）
  - － 感性生成の評価手法

これらの枠組みが、おおよその章構成になっている。

■第2章まとめ 第2章においては、介護者支援ロボットを提案するとともに必要な技術と要件について述べた。介護者支援ロボットに必要な機能は、実際の介護実習をとおして洗い出した。このロボットのニーズは、介護実習先の協力を得ることによって確認できた。これらをとおして、「コミュニケーションの重要性」や「ロボットが受け入れられるための懸念事項」の把握ができ、介護ロボットではなく「介護者支援ロボット」なるコンセプトが決定した。これらを基に、要件定義をおこなった。

■第3章まとめ 第3章では、介護者支援ロボットのプロトタイプ開発とその外的感性について述べた。実際に介護者支援プロトタイプロボットを開発するにあたり、ロボットの外的感性（形状、色、材質などの感性要素）を決定する必要性が生じた。特にその形状は、プロトタイプ制作時に大きく影響を与えるために最初に研究した。

この形状の研究では、事前に工業デザイナーにインタビューをおこない、「全ての人にとって良い形状を求めることは難しいが、全ての人にとって悪くない形状を求めることは可能である」なる知見を得ることができた。第2章で決定した要件から外れない範囲でロボットの部位ごとの形や縮尺を用意し、それを組み合わせてロボットを多数用意し、介護者支援ロボットに適している形容詞にふさわしいロボットを選択するアンケートをおこなった。アンケートによって、選ばれた個体の順位付けをおこなうとともに、個体の要素で分析した結果を組み合わせ、多数の者が悪くないと感じる形状を選定することができた。



色の研究においては、単色で着色した場合の介護者支援ロボットとして好まれる色を検討した。感性研究に用いられる SD 法だけでは順位付けをおこなうことが難しいため、SD 法の形容詞対を用いた相対的判断と一対比較法を用い、実写に CG 合成した写真を利用してアンケートをおこなった。色としては橙やピンクが選ばれ、印象としては弱い・やわらかい・軽い・安定した色が介護者支援ロボットとして好まれることがわかった。

色と形状の研究をとおして、介護者や被介護者の協力を得てアンケートを採取する際には、具体的なイメージが湧きやすい状態で、きるかぎり単純に回答可能で、短時間で収集可能な手法を事前に検討すべきであるという知見が得られた。

また、外的感性のひとつである動きを検討するための予備的な実験として、動きのなかの感性要素（かわいい）を抽出する取り組みを行った。ロボットの動きのかわいさには3つの形容詞「単純な」「滑らかな」「規則的な」が影響すること、その動作としては「曲線的」「ゆっくり」が傾向として見られることを示すことができた。

ここで決定した形状をもとに詳細な寸法を決定し、プロトタイプロボットを構築した。

**■第4章まとめ** 第4章では、擬似感性を定義し、全体の概要と情報処理構造を説明するとともに、その一部の機能である感性生成部とその研究について解説した。

介護者支援ロボットの物理的支援機能と精神的支援機能は、単純に一本化しても十分な機能を発揮できないため、その情報処理の構造を提案した。

また、その精神的な支援のための核となるのが、人間の感情状態を同定し（感性同定部）・ロボットの感情を生成し（感性生成部）・それを表出する部分（感性表出調整部）にある。枠組み全体を示し、外部から感性的な表出を確認できる部分を広義の擬似感性と定義した。特に感性生成部そのものを狭義の擬似感性と定義した。

感性同定部では、音声からの快-不快状態の同定と感情同定、顔表情からの感情同定の研究をおこなった。

音声からの感情同定においては、音の巨視的な特徴を表す線形予測係数と微視的な特徴を示すピッチを用い、ニューラルネットワークを用いることによって、それぞれから

感情を同定し、またそれらを組み合わせて同定する手法について述べた。これにより、ピッチ情報を用いた手法は感情同定に有効であるが欠損率が高く、LPCを用いた手法はピッチ情報より同定率は低いが定常的に結果が得られ、それらを組み合わせるとピッチ情報欠落部でも認識率は落ちるものの同定可能であることを示すことができた。

また、顔表情からの感情同定においては、照明の影響を受けづらくするために、顔の目領域と口領域をそれぞれFFTにて周波数成分とし、ニューラルネットワークでの認識に用いる手法を提案した。また、それぞれのパーツの出力を組み合わせることによって、感情を判定する手法を用いた。この基となる考え方はEkmanのFACSであり、その適用では77%の同定率であった。個人によって表情パーツの組み合わせが異なることを確認し、その組み合わせをカスタマイズすることによって認識率を大幅に改善することができた。これにより本手法は、個人を特定した顔表情の認識において非常に有効であることを示すことができた。

■第5章まとめ 人間の感情遷移を学習して、ロボットの感情を出力する機能である感性生成部について述べた。なお、感性生成なる名称を用いているが、生成しているのは感情である。その構成は、ニューラルネットワークを用いる手法、学習可能なペトリネットを用いる手法、隠れマルコフモデルを用いる手法がある。

ニューラルネットワークを用いる手法が一番最初に着手され、感情のダイナミクスを表現可能なリカレントニューラルネットワークを用いる手法が有効であることが示された。

ここで学習した結果の出力を単純な正答率で評価することは、感性生成部においては妥当ではないことを示し、それを評価する枠組みとして二次元感情モデルを提案した。また、そのモデルにおける感情間距離と時刻によるずれを考慮した評価関数を定義した。

ニューラルネットワークの内部解析が難しいため、内部の状態を可視化し解析可能なペトリネットを用いることとなった。ペトリネットに学習機能を付与するために、その内部結合のパラメータの決定に遺伝的アルゴリズムを用いる手法を提案し、構築をし

た。この構成は内部の一部の結合が固定化されている特徴がある。この学習可能なペトリネットを用いた手法においても、感性生成部が実現できることを示した。

ペトリネットの内部解析をおこない、特定の感情が発生する条件を確認することができた。また、その調整をおこなうことで、特定の感情を表出しやすくする個性付けが可能であることを示した。

また、このペトリネットのシステムに外部環境の情報による快適度合いを付与し、影響させるシステムを構築した。外部環境の影響は、人間と同様の反応を示すために、快適な環境情報の差、環境情報の変化による影響、慣れによる要素を組み合わせで算出される。外部環境の影響情報を体系的に示し、実際にその影響をシステムに与えることが可能となった。

これらのように学習可能なペトリネットは、その構成要素の解析や機能を付加できる点において有効であることを示すことができた。

学習可能なペトリネットのモデルには、人間の感情遷移と異なる出力傾向があるという欠点があった。人間の感情遷移のような不確定な時系列データを扱いやすい隠れマルコフモデルを利用した感性生成部を作成した。また、ペトリネットのモデルとの比較をおこなった。

隠れマルコフモデルを利用した手法は、高い正答率と高い評価値を得ることができたことから、性能面を追求する際には最も適した手法であることがわかった。

## ■第6章まとめ 介護者支援ロボットにおける感性的な動作表出手法について述べた。

日常の論理的なタスク実行時の動作に感性的な要素を付与するための仕組みとして動作調整表出部を提案し、実際に構築・表出実験をした。ジェスチャや表出専用の仕組みを使うのではなく、タスク実行時の動作をおこなっている最中の腕部を用いてロボットの内部感情の表出が可能であることを示すことができた。

■第7章まとめ 感性生成部の性能ではなく有効性を明らかとするため、擬似感性システムを簡易的に統合し、その評価について述べた。また、その有効性を測るために「自然さ」を指標とし、複数の手法の比較をおこなった。本研究の感性生成部を用いた手法より、単純に相手の感情をオウム返しの出力するミラーリング手法の方が、自然さとして有効であると示された。また、感性生成部の出力の評価が低くなる原因を特定し、その調整をおこなった結果、改善が可能であることを示した。

■研究目的と成果 研究目的にてあげた具体的な2点6項目について、完全に達成されたわけではないが、全て検討の上で成果や知見を得ることができた。

「介護者支援ロボットの提案」においては、介護の現場での実習および聞き取りの結果を用いて、実際のニーズに基づく提案ができた。また、介護現場でのアンケート調査により、機能的な設計手法をおこなうために必要な知見が得られたことは重要である。

「プロトタイプ作成の過程で感性要素の検討」においては、同時並行で決定しなければならない点が順次となっていることやプロトタイプロボットの機構上の問題が存在するとはいえ、必要な外的感性要素について検討し結果を得ることができた。また、これまでの感性研究において用いられていたSD法などの手法はそのままの形式では利用できないことにより、独自のアンケート採取や要素抽出などについて提案と実施ができた。

「人間の感情状態を把握する機能構築」は、音声からの手法と顔表情からの手法をそれぞれ構築できた。音声からの手法では、特に意味情報を用いずに韻律情報のみから同定した。リアルタイム動作していない問題があるが、同定手法として効果が高いことを示すことができた。顔表情で利用した手法は、介護者・被介護者といった特定個人の認識率を向上させる可能性を示すことができた。

「ロボットの感情状態を生成する機能の構築」は、学習可能なペトリネットなる独自の手法での実現ができた。ブラックボックスではない感情生成機構により、その内部構造の解析と調整ができたことは、危険性の少ない制御可能な機構として適切な手法である

と考える。一方性能の点から追求をする場合には、隠れマルコフモデルによる手法が有効であることも示すことができた。なお、感性生成部に対して三手法による比較をおこなったが、学習可能な手法は他にも考えられる。感性生成部を考える際には、モデルの考え方、学習用データの採取手法、評価手法、比較の際の検討手法などを示したことが重要である。

「ロボットの感情状態を表出する機能の提案と構築」では、平静以外の感情状態において、ジェスチャではなく普段の行動に感情状態を付与して表現できることを示すことができた。普段の行動がない場合の問題はあるものの、日常的に介護者の物理的な補助作業をしているという前提の介護者支援ロボットならではの感情表出手法が実現できた。

「擬似感性を有するロボットを評価する手法の検討」では、実際の介護者支援プロトタイプが利用できていないこと、感情表出としてロボットの動作が利用できていないことなどの問題が存在する。拡張現実感を用いた手法ではあるが、評価者に応じた評価システムを検討し、実施することができた。また、このようなシステムの場合には短期的に評価実験をおこなうことが非常に難しく、ある程度の期間利用した上での感想による評価や質的データ分析が望まれることを示せた。

以上、本研究ではコミュニケーションロボットの一つの題材として介護者支援ロボットの実現を目指し、擬似感性を提案・構築した。相手の感情や快-不快状態を読み取り、人間の感情に近い擬似的な感情をつくり、必要に応じて日常動作の中に感情を含めた動作を表出し、より自然な感性的な振る舞いをおこなう機能の実現可能性を示すことができた。さらに、感性的な動作の本質を明らかにする手法についても示すことができた。また、実験や評価方法などの手法の提案をおこない、改善点を示すことができた。

なお、擬似感性の基本的な構成や必要な機能は、介護現場に限定するものではない。本研究では、具体化のために介護分野での利用を想定し機能的な設計手法を用いたため、感性生成部において介護者-被介護者の感情遷移を学習データとして用い、その感情表出においてロボットの介護現場での一部の動作に限定している。この感性生成における学

習データの収集と再学習および感性表出調整部での動作の選定と検証を行えば、他の用途においても転用が可能である。ロボットと人間が密に相互作用するコミュニケーションロボットだけでなく、論理的ではなく感情的なインタラクションが必要となる用途のための一手法として、本研究の擬似感性の知見が活用できると考える。

## 8.2 将来課題

本研究によって介護者支援ロボット（コミュニケーションロボット）に必要な各感性要素の実現可能性を示し、知見を得ることができた。課題としては、個々の構成要素におけるディープラーニングが未適用である点と、システム全体を統合した総合的な評価が未達成である点が挙げられる。

本論文では、感性同定部や感性生成部においてニューラルネットワークを利用しているが、これらは旧来の3層構造であり、ディープラーニングを利用した手法が採用できていない。ディープラーニングを用いる場合、これまでニューラルネットワークに入力する前におこなっていたデータの前処理や特徴量算出をせず（あるいは最小限）に、その過程そのものを学習によって導き出すことができるため、考慮されていなかったパラメータが活用され、学習や判定の精度の向上が期待できる。顔表情同定には、ディープラーニングの一手法である畳み込みニューラルネットワーク [Lecun 98] の手法を適用することが可能である。音声からの感情同定には、ディープラーニングでのリカレントニューラルネットワークの発展版である LSTM [Gers 00] が有効であると考えられる。感性生成部には、同様に LSTM の利用も考えられるが、深層強化学習 (DQN) [Mnih 15] の採用も可能であろう。これらのディープラーニング手法を用いることによって、より高い精度が期待できる。ただし、ディープラーニングの学習精度を担保するためには、以前より遥かに大量の良質な学習データが必要であり、その採取手段を事前に確認する必要がある。

次に最も大きな課題は、介護者支援ロボット全体の統合とその評価が未達成なことで

ある。これを実現するためには、大きく二つの問題が存在する。

一つ目は、各構成要素の中にいくつかの問題が残されていることにある。その中でも特に問題となるのが、基本行動が存在しない場合の感情表出手法の検討などがあげられる。この検討と実装においては、二つ目の問題が密接に関係する。

二つ目は、論理的な行動による物理的支援をおこなうためのロボットそのものの基本的な機能が不十分なことである。本研究では、そのコンセプトにおいては物理的支援を見越した想定をしているが、実際におこなった研究は精神的な支援を目的とした感性を取り扱う部分を中心である。物理的支援のロボット技術は、本研究においては実現化に重点を置いておらず、他研究機関の成果物においてもその安全性や価格・機能の面から見ても普及は先のことと考える。

これを解決するには、二つの方法が考えられる。

一つの方法は、介護ロボットより人間との物理的な関わりが小さくハードウェア的な完成度が高められる分野（例えば教育）のコミュニケーションロボットに対象を変えることである。本研究で得られた知見および機能としての擬似感性を適用し、検証することが可能となる。

もう一つは、当面の間は全体的な構成を変更して実装する方法である。現在は、ある程度汎用的な動作・作業の物理的な支援と、被介護者とインタラクションする精神的支援機能を一台のロボットの中にて実現することを考えている。例えば、これを物理的な支援をおこなうロボット（機器）群とインタラクションするロボット（に類する機器）、それらを統括する制御機構に分割することによって、同等のことが実現できる。

その考えを推し進める好条件も整い始めた。例えば、介護者支援ロボットの研究を始めた当初には、介護者支援の物理的な補助機能としてカーテンやブラインドを操作して部屋の日の差し込みを調整することや各種機器類のリモコン操作（学習機能による）なども想定していた。これらについては IoT の進展に伴い各種機器がネットワークに直接接続されたため、単体のロボットが介在する必要はなくなった。室内の状況や状態を把

握するセンサー類，介護現場の各種機器類，カーテンやブラインド類などの室内の物を操作する単機能のアクチュエータ，そしてそれらを半自動的に連携させるコンピュータによって，介護者の手を煩わせるために被介護者が遠慮しがちな，それらの調整や動作，自動化は可能である。また，様々な軽量の物品を決められたルートで配送するロボット，掃除ロボット，情報を提供するスマートスピーカなどは，すでに実現化されている。これらを有効活用することによって，物理的支援の多くの機能が実現できる。

被介護者との精神的なインタラクションは，必ずしもロボットで実現する必要はない。例えば，ロボットのインタラクションする対象を CG ベースで AR 等を用いて構築する。この場合，モニタと簡易 PC，マイクとカメラだけあれば，実現可能である。精神的支援部分については，すべての機能をこれに実装し，動作と評価を繰り返して擬似感性の性能をあげることが重要である。

さらに，ロボットの汎用性が向上し普及が見込まれるようになった際には，物理的な支援と精神的な支援の双方が可能な介護者支援ロボットを実現し，あらためて完成度の上上がった擬似感性を搭載し，また IoT 機器類や単機能のロボット群と協調し，システム統合の結果をもって介護者支援ロボットシステムを示したい。

本研究で取り扱った外的感性に関する研究やロボットの感情同定・感情生成・感情表出の一連の研究，それらをとおして得られた包括的な知見と，さらに本節の将来課題の取り組みが，将来のコミュニケーションロボットの普及に寄与することを期待している。

## 謝辞

本学位論文をまとめるにあたり，主査としてご支援ご指導賜りました千葉工業大学先進工学部未来ロボティクス学科 大川茂樹教授に心から感謝いたします。また，副査をお引き受けくださり貴重なご意見をくださった同学科 南方英明教授，藤江真也准教授，同大学 未来ロボット技術研究センター 富山健研究員，信州大学繊維学部 橋本稔特任教授に深く感謝いたします。



富山先生には、学部学生時代から長期間にわたり、研究のみならず様々なご支援ご指導賜りました。あらためて深く御礼申し上げます。また、共同研究いただいたエンジニアリングシステム研究室福祉班（青山学院大学理工学部機械工学科，同学部情報テクノロジー学科，千葉工業大学工学部未来ロボティクス学科）の皆様に深く感謝いたします。



# 引用文献

- [ASHRAE 85] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers ASHRAE: *ASHRAE Handbook, 1985 Fundamentals* (1985)
- [Breazeal 02] Cynthia Breazeal: *Designing Sociable Robots*, MIT Press, Cambridge, MA, USA (2002)
- [Ekman 07] Paul Ekman: Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life, *Henry Holt and Company* (2007)
- [Fong 03] Terrence Fong, Illah Nourbakhsh, and Kerstin Dautenhahn: A survey of socially interactive robots, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42, No. 3, pp. 143 – 166 (2003), Socially Interactive Robots
- [Gers 00] Felix A. Gers, Jrgen Schmidhuber, and Fred Cummins: Learning to Forget: Continual Prediction with LSTM, *Neural Computation*, Vol. 12, pp. 2451–2471 (2000)
- [Graf 09] Birgit Graf, Ulrich Reiser, Martin Hgele, Kathrin Mauz, and Peter Klein: Robotic home assistant Care-O-bot 3 – product vision and innovation platform, *2009 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts* (2009)
- [Iwata 09] Hiroyasu Iwata and Shigeki Sugano: Design of Human Symbiotic Robot TWENDY-ONE, *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pp. 580–586 (2009)
- [Kogami 07] Jun Kogami, Ken Tomiyama, and Yutaka Miyaji: KANSEI generator

- using HMM for virtual KANSEI in caretaker support robot, *International Conference Kansei Engineering and Emotion Research 2007*, pp. E-24(CD-ROM) (2007)
- [Kogami 09] Jun Kogami, Ken Tomiyama, and Yutaka Miyaji: Kansei Generator using HMM for Virtual Kansei in Caretaker Support Robot, *Kansei Engineering International (Journal of Japan Society Kansei Engineering)*, Vol. 8, No. 1, pp. 83–90 (2009)
- [Kozima 02] Hideki Kozima: Infanoid : A babybot that explores the social environment, *Socially Intelligent Agents : Creating Relationships with Computers and Robots*, pp. 157–164 (2002)
- [Lecun 98] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner: Gradient-based learning applied to document recognition, *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, pp. 2278–2324 (1998)
- [Mehrabian 68] Albert Mehrabian: Communication without words, *Psychology Today*, Vol. 2, No. 4, pp. 52–53 (1968)
- [Miyaji 03] Yutaka Miyaji and Ken Tomiyama: Construction of Virtual KANSEI by Petri-net with GA and Method of Constructing Personality, *Proceedings RO-MAN2003, 12th IEEE Workshop Robot and Human Interactive Communication*, pp. 6B4(CD-ROM) (2003)
- [Miyaji 05] Yutaka Miyaji and Ken Tomiyama: Emotion Detecting Method based on Various Attributes of Human Voice, *Korean Journal of the Science of Emotion and Sensibility*, Vol. 81, No. 1, pp. 1–7 (2005)
- [Miyaji 07] Yutaka Miyaji and Ken Tomiyama: Virtual KANSEI for Robots in Welfare, *IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering, 2007.*, pp. 1323–1326 (2007)

- [Mnih 15] Volodymyr Mnih, Koray Kavukcuoglu, David Silver, Andrei A. Rusu, Joel Veness, Marc G. Bellemare, Alex Graves, Martin Riedmiller, Andreas K. Fidjeland, Georg Ostrovski, Stig Petersen, Charles Beattie, Amir Sadik, Ioannis Antonoglou, Helen King, Dhharshan Kumaran, Daan Wierstra, and Shane Legg Demis Hassabis: Human-level control through deep reinforcement learning, *Nature*, Vol. 518, pp. 529–533 (2015)
- [Schlosberg 54] H. Schlosberg: Three dimensions of emotion, *Psychology Review*, Vol. 61, No. 2, pp. 81–88 (1954)
- [Stiehl 05] Walter Dan Stiehl, Jeff Lieberman, Cynthia Breazeal, Louis Basel, Levi Lalla, and Michael Wolf: Design of a therapeutic robotic companion for relational, affective touch, *IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 408–415 (2005)
- [Sugano 12] Shohei Sugano, Haruma Morita, and Ken Tomiyama: Study on Kawaii in Motion – Classifying Kawaii Motion Using Roomba -, in Yong Gu Ji ed., *Advances in Affective and Pleasurable Design*, chapter 12, pp. 107–116, CRC Press (2012)
- [Sugano 13] Shohei Sugano, Yutaka Miyaji, and Ken Tomiyama: Study of Kawaii-ness in Motion Physical Properties of Kawaii Motion of Roomba, *The 15th International Conference on Human-Computer Interaction, Part I*, pp. 620–629 (2013)
- [稲邑 02] 稲邑 哲也, 戸嶋 巖樹, 中村 仁彦: ミメシスに基づくヒューマノイドの行動獲得と原始シンボルの創発, 人工知能学会全国大会 (第 16 回) 論文集, pp. 56–56 (2002)
- [井上 05] 井上 直美, 宮治 裕, 富山 健: 擬似感性における環境情報の汎用的な処理手法, 第 7 回日本感性工学会 大会予講集, p. 274 (2005)
- [井上 06] 井上 直美, 宮治 裕, 富山 健: 擬似感性における環境情報の汎用的な処理手法 – 第 2 報 –, 第 8 回日本感性工学会 大会予講集, p. 181 (2006)

- [井上 07] 井上 直美, 宮治 裕, 富山 健: 擬似感性における環境情報の影響を付加した感性生成部, 日本感性工学会 第 3 回春季大会 大会予講集, pp. 200-201 (2007)
- [今井 01] 今井 倫太, 小野 哲雄, 石黒 浩, 中津 良平, 安西 祐一郎: ロボットからの発話: 自発的発話生成のための注意の表出機構の実現, 情報処理学会論文誌, pp. 2618-2629 (2001)
- [牛田 01] 牛田 博英, 中島 宏: 心を持ったデジタルペット, VMA 研究会, Vol. 6, pp. 1-9 (2001)
- [エクマン 87] エクマン P., 工藤 力: 表情分析入門, 東京 誠信書房 (1987)
- [小田 07] 小田 島正, 大西 正輝, 田原 健二, 向井 利春, 平野 慎也, 羅 志偉, 細江 繁幸: 抱え上げ動作による移乗作業を目的とした介護支援ロボット研究用プラットフォーム'RI-MAN'の開発と評価, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 4, pp. 70-81 (2007)
- [小野 03] 小野 貴子, 富山 健, 宮治 裕: 擬似感性の個性付けに対する改善—より人間に近い感情遷移の構築—, 第 21 回日本ロボット学会学術講演会 講演論文集, pp. 2H21(CD-ROM) (2003)
- [小野 04] 小野 貴子, 宮治 裕, 富山 健: 学習可能なペトリネットを用いた擬似感性の個性の評価: 自然な感情遷移を反映した評価関数の提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004 講演概要集, p. 93 (2004)
- [勝野 05] 勝野 剛成, 宮治 裕, 富山 健: 頭部姿勢によらない表情認識手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005 講演概要集, p. 139 (2005)
- [神山 04] 神山 洋一, 森 英雄, 小谷 信司, 中田 貴映: 高齢者・障害者向け知能車椅子の開発, 第 22 回日本ロボット学会学術講演会 講演論文集, pp. 3K22(CD-ROM) (2004)
- [亀田 05] 亀田 誉博, 高橋 聡, 宮治 裕, 富山 健: 介護者支援の研究を目的としたプラットフォームロボットの開発: 第 2 報: HAJIME-CHAN の改良とセンシング戦略, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005 講演概要集, p. 115 (2005)
- [環境 05a] 環境省: 騒音に関わる環境基準について, 公害対策基本法第 16 条第 1 項

(2005)

[環境 05b] 環境省：騒音規制法 (2005), <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S43/S43H0098.html>

[上林 15] 上林 千恵子：介護人材の不足と外国人労働者受け入れ — EA による介護士候補者受け入れの事例から, 日本労働研究雑誌, No. 662, pp. 088–097 (2015), <http://www.jil.go.jp/institute/zassi/backnumber/2015/09/pdf/088-097.pdf>

[経済 14] 経済産業省：「ロボット技術の介護利用における重点分野」 (2014), <http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140203003/20140203003-2.pdf>

[厚生 13] 厚生労働省：公的介護保険制度の現状と今後の役割 (2013), [http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/hukushi\\_kaigo/kaigo\\_koureisha/gaiyo/dl/hoken.pdf](http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kaigo/kaigo_koureisha/gaiyo/dl/hoken.pdf)

[厚生 15] 厚生労働省：平成 27 年度 介護保険事業状況報告 (年報) (2015), [http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/15/dl/h27\\_gaiyou.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/kaigo/osirase/jigyo/15/dl/h27_gaiyou.pdf)

[厚生 17] 厚生労働省：福祉・介護人材確保対策等について (2017), <http://www.mhlw.go.jp/topics/2017/01/dl/tp0117-k02-02-05p.pdf>

[湖上 05] 湖上 潤, 宮治 裕, 富山 健：隠れマルコフモデルによる擬似感性構成法の提案, 第 7 回日本感性工学会 大会予講集, p. 178 (2005)

[湖上 06] 湖上 潤, 宮治 裕, 富山 健：隠れマルコフモデルを用いた擬似感性構築, 第 1 回感性ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 5–6 (2006)

[近藤 05] 近藤 俊志, 宮治 裕, 富山 健：周波数特徴を利用した顔角度推定：マスクによる最適化, 行動計量学, Vol. 32, No. 1, p. 98 (2005)

[作本 13] 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：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, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 講演概要集, pp. 2P1–P11(1–3) (2013)

- [山海 06] 山海嘉之：難病患者の QOL 向上のためのサイバニクスによる装着型ロボット  
開発研究, 特定疾患患者の生活の質 (Quality of Life, QOL) の向上に関する研究 平成  
17 年度総括分担研究報告書, p. 180 (2006)
- [産経 14] 産経新聞：介護で外国人受け入れ拡大検討 政府・自民、E P A  
など活用 (2014 年 2 月 20 日) (2014), [http://www.nikkei.com/article/  
DGXNZ067093740Q4A220C1EE8000/](http://www.nikkei.com/article/DGXNZ067093740Q4A220C1EE8000/) (閲覧日 2014 年 4 月)
- [篠原 04] 篠原 雄介, 大津 展之：フィッシャー重みマップを用いた顔画像からの表情認  
識, 信学技報, Vol. 103, No. 737, pp. 79-84 (2004)
- [柴田 03] 柴田 嵩徳：医療福祉から見たロボット人の心を癒やすメンタルコミットロ  
ボット・パロ, 病院設備, Vol. 45, No. 1, pp. 51-56 (2003)
- [柴田 06] 柴田崇徳：人の心を豊かにするメンタルコミットロボット, 日本機械学会誌,  
Vol. 109, No. 1051, pp. 450-451 (2006)
- [社会 13] 社会保障審議会：(第 47 回) 資料 3 (2013), [http://www.mhlw.go.  
jp/file/05-Shingikai-12601000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu\\_  
Shakaihoshoutantou/0000021718.pdf](http://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12601000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Shakaihoshoutantou/0000021718.pdf)
- [社会 17] 社会保障・人口問題研究所：日本の将来推計人口 平成 29 年  
度推計 (2017), [https://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/  
insight/pl1170531.pdf](https://www.mizuho-ri.co.jp/publication/research/pdf/insight/pl1170531.pdf)
- [白山 09] 白山 翔太, 植木 竜佑, 小島 光晴, 袖山 慶直, 岡田 慧, 稲葉 雅幸：見守りシス  
テムのための広視野高視力アクティブステレオ視覚システムの実現, ロボティクス・  
メカトロニクス講演会 2009 講演概要集, Vol. 2009, pp. 1P1-C14(1-4) (2009)
- [JIS 79] JIS: 照度基準 JIS Z, 日本工業標準調査会審議 (1979)
- [神保 06] 神保 洋一, 石河 正継, 宮治 裕, 富山 健：介護者支援ロボットにおけるロボッ  
トモジュールシステムの提案, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 講演概要  
集, pp. 2P2-C36(1-2) (2006)



- [菅野 15] 菅野 翔平, 宮治 裕, 富山 健: 動きにおける「かわいさ」の研究, 日本感性工学  
会論文誌, Vol. 14, No. 2, pp. 315–323 (2015)
- [鈴木 02] 鈴木 知哉, 宮治 裕, 矢島 譲, 戸田 健吾, 富山 健: 横顔からの感性状態の推定,  
ロボティクス・メカトロニクス講演会 2002 講演概要集, p. 64 (2002)
- [鈴木 03] 鈴木 里子, 宮治 裕, 富山 健: 介護者支援ロボットに適した形状についての考  
察, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003 講演概要集, pp. 46–47 (2003)
- [善教 13] 善教 雅貴, 富山 健: 擬似感性における驚き感情の生成, 情報処理学会研究報  
告. ICS, Vol. 2013, No. 7, pp. 1–4 (2013)
- [総務 15] 総務省: 平成 27 年度版情報通信白書 (2015), [http://www.soumu.go.jp/  
johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/n4100000.pdf](http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/n4100000.pdf)
- [高田 00] 高田 和豊, 石井 栄徳, 富山 健: 音声からの不快レベル検出システムの構築, ロ  
ボティクス・メカトロニクス講演会 2000 講演概要集, p. 44 (2000)
- [高田 01] 高田 和豊, 富山 健, 宮治 裕: 福祉工学における擬似感性の構成手法, 第 3 回感  
性工学会大会 大会予講集, p. 82 (2001)
- [田辺 94] 田辺 新一: 熱的快適性と感性, 感性情報処理 第 7 章, pp. 135–150 (1994)
- [月岡 16] 月岡 要: 「人と親和性の高いコミュニケーションを追及するための人工知能」  
を搭載したコミュニケーションロボット「PARLO(パルロ)」(特集 ロボットと人工知  
能), ロボット, No. 232, pp. 46–51 (2016)
- [帝国 18] 帝国データバンク: 「人手不足倒産」の動向調査 (2017 年度) (2018), [https:  
//www.tdb.co.jp/report/watching/press/pdf/p180406.pdf](https://www.tdb.co.jp/report/watching/press/pdf/p180406.pdf)
- [寺嶋 04] 寺嶋 一彦, 宍戸 浩司, URBANO JUAN, 北川 秀夫, 三好 孝典: 全方向移動  
型車椅子における操作支援システム, 第 22 回日本ロボット学会学術講演会 講演論文  
集, pp. 1I11(CD-ROM) (2004)
- [栃原 97] 栃原 裕: 住宅温熱環境, 人工環境の健康影響と快適性, pp. 101–119, 弘学出版  
(1997)

- [富山 01] 富山 健, 宮治 裕: 介護者支援ロボットシステムの提案, 小原 信, 神長 勲 (編), 日本の福祉, 第 13 章, pp. 301-329, 以文社 (2001)
- [富永 02] 富永 嘉信, 宮治 裕, 富山 健: GA によるペトリネットの学習とそれを用いた擬似感性の構成, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2002 講演概要集, p. 64 (2002)
- [内藤 05] 内藤 多恵子, 宮治 裕, 富山 健: 擬似感性を用いた多様なロボット動作の実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, p. 140 (2005)
- [内閣 08a] 内閣府: 平成 20 年度 高齢者の現状・動向分析についての調査～コーホート分析を中心に～ 報告書 (全体版) (2008), <http://www8.cao.go.jp/kourei/ishiki/h20/bunseki/zentai/pdf/p18-29.pdf>
- [内閣 08b] 内閣府: 平成 20 年版 高齢社会白書 (2008), [http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2008/gaiyo/pdf/1s1s\\_01.pdf](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2008/gaiyo/pdf/1s1s_01.pdf)
- [内閣 17] 内閣府: 平成 29 年版 高齢社会白書 (2017), [http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/pdf/1s1s\\_01.pdf](http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2017/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf)
- [中田 01] 中田 亨, 森 武俊, 佐藤 知正: ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析, 日本ロボット学会誌, Vol. 19, No. 2, pp. 252-259 (2001)
- [野口 02] 野口 英治, 山本 浩司, 宮崎 浩行, 小島 良宏: 医療福祉ロボットビジネス-独居高齢者支援のためのロボットシステム-, 日本ロボット学会誌 (2002)
- [野口 05] 野口 吉昭, HR インスティテュート: コミュニケーションのノウハウドゥハウ, PHP 研究所 (2005)
- [野村 16] 野村総合研究所: 日本の労働人口の 49 %が人工知能やロボット等で代替可能に～601 種の職業ごとに、コンピューター技術による代替確率を試算～ (2016), [https://www.nri.com/jp/news/2015/151202\\_1.aspx](https://www.nri.com/jp/news/2015/151202_1.aspx) (閲覧日 2016-7-2)
- [藤田 99] 藤田 雅博: ペット型ロボットの感性表現, 日本ロボット学会誌, Vol. 17, No. 7, pp. 947-951 (1999)

- [舟久保 01] 舟久保 昭夫, 谷城 博幸, 福井 康裕: パワーアシスト移動介助用リフト, 計測と制御, Vol. 40, No. 5, pp. 391-395 (2001)
- [本間 08] 本間 敬子, 松本 治, 小野 栄一, 李 秀雄, 山田 陽滋, 堀本 幹夫, 鈴木 貴弘, 金平 徳之, 鈴木 利明, 塩澤 伸一郎: 排泄介護総合支援ロボット「トイレアシスト」の研究開発, バイオメカニズム学会誌, Vol. 32, No. 4, pp. 195-201 (2008)
- [松井 98] 松井 克憲, 富山 健: 顔画像からの個人識別及び表情認識, 第 16 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 1475-1476 (1998)
- [三品 10] 三品 賢一, 土屋 誠司, 鈴木 基之, 任 福継: コーパスごとの類似度を考慮した用例に基づく感情推定手法の改善, 自然言語処理, Vol. 17, No. 4, pp. 4.91-4.110 (2010)
- [湊 01] 湊 武尋, 富山 健, 宮治 裕, 高田 和豊: LPC とピッチを用いた音声からの快レベル検出, 第 19 回日本ロボット学会学術講演会 講演論文集, pp. 2H13(CD-ROM) (2001)
- [宮治 01] 宮治 裕, 富山 健: 擬似感性の概念とその構造の提案, 第 3 回感性工学会大会 大会予稿集, p. 83 (2001)
- [宮治 02] 宮治 裕, 高田 和豊, 富山 健: 広義及び狭義の擬似感性とそれらの構成手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2002 講演概要集, p. 64 (2002)
- [宮治 03a] 宮治 裕, 富山 健: 音声の諸属性からの感情検出, 第 11 回あいまいと感性研究部会研究発表会講演論文集, pp. 38-45 (2003)
- [宮治 03b] 宮治 裕, 富山 健: 介護者支援ロボットの実現に向けて, 病院設備, Vol. 45, No. 1, pp. 31-36 (2003)
- [宮治 09] 宮治 裕, 富山 健: 拡張現実感を用いた人間共生ロボットの感性評価, 第 11 回日本感性工学会大会 大会予稿集, Vol. 1, No. 1, pp. 1B2-2(CD-ROM) (2009)
- [目良 02] 目良 和也, 市村 匠, 相沢 輝昭, 山下 利之: 語の好感度に基づく自然言語発話からの情緒生起手法, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 3, pp. 186-195 (2002)

- [矢島 01] 矢島 讓, 加瀬 大輔, 高田 和豊, 富山 健: 動的顔画像からの快レベル検出システム: オクルージョンによる情報欠落への対応, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2001 講演概要集, p. 29 (2001)
- [矢島 03] 矢島 讓, 宮治 裕, 富山 健: 顔画像の周波数特徴を用いた表情認識, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003 講演概要集, p. 76 (2003)
- [梁取 04] 梁取 徹也, 竹内 肇, 木内 直宏, 宮治 裕, 富山 健: 介護者支援の研究を目的としたプラットフォームロボットの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004 講演概要集, pp. 8-9 (2004)
- [梁取 06] 梁取 哲也, 宮治 裕, 富山 健: 介護者支援ロボットにおける感性的動作 –印象に影響を与える動作要素の抽出と擬似感性への適用–, 第2回日本感性工学会春季大会 大会抄録, pp. 87-90 (2006)
- [山崎 98] 山崎 勝男, 藤澤 清, 柿木 昇治: 住まいの温熱生理的快適性, 新生理心理学-新しい生理心理学の展望, pp. 145-149, 北大路書房 (1998)
- [柳 04] 柳 漢雄, 宮治 裕, 富山 健: 人間の心理的安全性を考慮した介護者支援ロボット制御系の設計, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004 講演概要集, pp. 2A1-H-55(CD-ROM) (2004)
- [吉田 05] 吉田 新吾, 矢頭 攸介, 宮治 裕, 富山 健: 介護者支援ロボットに適した色の検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005 講演概要集, p. 140 (2005)
- [依田 03] 依田 浩, 宮治 裕, 富山 健: 学習可能なペトリネットを用いた擬似感性生成手法: 個性付けの試み, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003 講演概要集, p. 140 (2003)
- [ロイ 16] ロイター: 人口減少はむしろ追い風、ロボットやAI活用促す=安倍首相 (2016), <https://jp.reuters.com/article/japan-pm-abe-idJPKCN11R1S8> (閲覧日 2017年4月2日)