

筑波大学 情報学群 情報メディア創成学類

卒業研究論文

対人コミュニケーションのための
温度を互いに伝えるメディアの研究

田口 聖久

指導教員 三末 和男, 志築 文太郎, 田中 二郎

2011年2月

概要

対人コミュニケーションは誰もが直面することであり，その支援は生活をより豊かなものにするを考える．近年，様々な情報の計測と提示をコンピュータで管理することができるようになり，対人コミュニケーションに広がり生まれた．

本研究では，温度に関する情報を計測・提示・コンピュータで管理することで，対人コミュニケーションの支援をねらう．メッセージを伝えるときに，双方にその情報が伝わることを対人コミュニケーションの重要性から指摘する．その双方向性を踏まえた，温度を用いたメディアのモデルを2つ構築した．そのモデルを実現するデバイスプロトタイプを作成し，対人コミュニケーションにどのような効果をもたらすかを評価した．

目次

第1章	はじめに	1
1.1	本研究の背景	1
1.2	本研究の目的とアプローチ	1
1.3	本論文の構成	2
第2章	対象となるコミュニケーション	3
2.1	コミュニケーション	3
2.2	対象となるコミュニケーションとその性質	4
2.2.1	対人コミュニケーション	4
2.2.2	コンピュータを介した遠隔地コミュニケーション	6
2.2.3	非言語コミュニケーション	10
第3章	温度メディア	12
3.1	温度メディアの定義	12
3.1.1	温度を符号化すること	12
3.1.2	温度として復号化すること	13
3.2	全温度メディアと半温度メディア	14
第4章	対人コミュニケーションのための温度メディアのモデル	15
4.1	「加熱・冷却」モデル	15
4.2	「皮膚温の共有」モデル	18
第5章	システム Thermo-net の実装	20
5.1	デバイス実装	21
5.1.1	ソフトウェア	21
5.1.2	温度計測	22
5.1.3	温度提示	22
5.1.4	圧力計測	24
5.2	ホスト実装	24
5.2.1	初期設定	24
5.2.2	通信	25
5.2.3	情報処理	25
5.3	Web API 実装	25

第 6 章	温度メディアモデルの評価	27
6.1	実験 1: 半温度メディアにおける自己フィードバックの効果について	27
6.1.1	実験の目的	27
6.1.2	実験の方法	27
6.1.3	実験の結果	28
6.1.4	考察	30
6.2	実験 2: 全温度メディアモデルの効果について	31
6.2.1	実験の目的	31
6.2.2	実験の方法	31
6.2.3	実験の結果と考察	32
6.2.4	考察	33
第 7 章	関連研究	35
7.1	温度メディアを用いたヒューマンインタフェース	36
7.2	対人コミュニケーション	36
7.2.1	温度メディアを用いた対人コミュニケーション	37
第 8 章	まとめと今後の課題	39
	謝辞	40
	参考文献	41

目次

2.1	コミュニケーション一般のモデル	3
2.2	対人コミュニケーションのモデル	5
2.3	コンピュータを介したコミュニケーションのモデル	9
2.4	コンピュータを介したコミュニケーションの実例	9
3.1	半温度メディア	14
3.2	全温度メディア	14
4.1	「加熱・冷却」の温度メディアモデルを用いたコミュニケーション	16
4.2	対人コミュニケーションモデルへの「加熱・冷却」温度メディアモデルの適応	16
4.3	「皮膚温の共有」の温度メディアモデルを用いたコミュニケーション	19
5.1	システム Thermo-net 全体の流れ	20
5.2	デバイスの写真	21
5.3	圧力の計測の様子	21
5.4	接触の直前の様子	21
5.5	温度計測のための回路図	22
5.6	ペルチェ素子の動作	23
5.7	ペルチェ素子の入力電圧と電流値との関係	23
5.8	温度提示のための回路図	23
5.9	圧力計測のための回路図	24
6.1	実験1：タスク1の5つのモデルの評価	29
6.2	実験1：タスク2の5つのモデルの評価	29
6.3	実験2：3つのモデルの評価グラフ	32
7.1	関連研究と本研究の位置づけ	35

表目次

2.1	対人距離の4分類	11
3.1	生体に関する温度の分類	12
3.2	温覚・冷覚の位置づけ	13
4.1	<熱源共有型>のデバイス挙動	17
4.2	<熱移動型>のデバイス挙動	17
5.1	リレーショナルデータスキーマ	26
6.1	実験1で評価する5つのモデル	28
6.2	実験1で課せられる2つのタスク	28
6.3	実験2で評価する3つのモデル	31
6.4	実験2で問う6段階評価の詳細	32
6.5	実験2:3つのモデルの評価	32

第1章 はじめに

1.1 本研究の背景

対人コミュニケーションは誰もが直面することである。

このことは、例えば、それは人間が生まれてしばらくは完全な庇護を必要とする生物であることから明らかである。また、多くの人はコミュニティを形成する生活体系をしていることから考えて、対人コミュニケーションの機会は多くあるだろう。これら対人コミュニケーションを支援することは人生をより豊かにするものである。子が何かの不満を泣いて訴えるのを親が聞いて相手をしたり、狩猟の役割を仲間内で打ち合わせして決めたりするように、対人コミュニケーションは、原始的には人と人がその場に居合わせる対面的コミュニケーションとして起こったであろう。しかし、コミュニケーション技術が発達してきた今日、対人コミュニケーションが行われる場が対面であることは必ずしも伴う要素ではなくなり、手紙や電話などを介してのコミュニケーション、媒介的コミュニケーションが可能になった。

さらに、近年のコンピュータ技術の発達・ネットワーク帯域幅の増加によって、媒介的コミュニケーションの中でもコンピュータを介したコミュニケーションの機会が増えてきた。コンピュータを介することで、手紙や電話では扱うのが難しかった種類の情報を扱うことも可能になった。さらに言えば、対面でも扱うのが難しかった種類の情報を扱うことも可能となった。

今まで用いることのできなかつた情報の取得や提示、その組み合わせをコンピュータを介したコミュニケーションで利用することを狙いにした研究がなされてきた。例えば血圧や脳波の取得、嗅覚や触覚に訴えた提示が一部可能になってきている。組み合わせとしては、取得した音声をそのまま音として再生することも、コンピュータで解析して文字で表示することも可能になっている。

その多様性は大幅に高まってはいるが、対象とするコミュニケーションに必ずしも適した形とはなっていない。扱える情報を単に利用するというだけでなく、対人コミュニケーションにより適したコンピュータ技術の利用形態が模索されている。

1.2 本研究の目的とアプローチ

本研究は、2者が、伝えたいと思ったお互いの心情が理解しあえる、共感するという意味で良い対人コミュニケーションを実現することを最終的な目的とする。ここで心情とは、感情や意思など人の心の営みである。この目的を達成するためには片方がもう片方に心情を伝

えられるようにすることが必要であるが、それが双方可能になって初めて良い対人コミュニケーションが実現したと言えよう。

この目的を実現するために、温度で心情を伝えるモデルを提案する。温度を利用して、コンピュータを介するコミュニケーションの支援を狙いとする研究例はいくつかあり、その有用性が示されている [14, 16, 19, 22]。そこで本研究は、対人コミュニケーションで重要だとされる特徴をよりサポートすることで、さらなる支援を狙うことをねらいとしている。

本研究では、対象とするコミュニケーションを明らかにし、その性質について考察をする。さらに、それを踏まえた温度を用いるメディアのモデルを2種類提案する。1つ目は相手の皮膚温に変化を与えるメディアモデルである。2つ目はお互いの皮膚温を互いに感じあうメディアモデルである。そして、これらメディアをプロトタイプシステムとして実装し、その有用性を検証する。

1.3 本論文の構成

本論文は本章を含め8章で構成されている。第2章では本研究で支援の対象となるコミュニケーションの詳細について述べる。そのコミュニケーションの性質を踏まえた支援をするためである。第3章で、本研究で提案する温度メディアについて記述する。第4章では、本研究で提案する、対人コミュニケーションのための温度メディアのモデルについて述べる。第5章ではそのモデルを実現するためのシステムの実装について記述し、続く第6章では第4章のモデルの評価とその結果の考察を行う。続いて第7章では、対人コミュニケーションを支援する関連研究や、温度メディアを取り扱った関連研究について述べる。最後の第8章で本研究の結論と今後の課題を述べる。

第2章 対象となるコミュニケーション

本章では、まず一般に言われるコミュニケーションについて定義し、続いて、本研究が支援の対象とするコミュニケーションとその性質を示す。

工学的なアプローチを取る場合には、現実にかかる、あるいは想定される、あるコミュニケーションを扱うことになる。このような研究では、ある分類に属するコミュニケーションを単に「コミュニケーション」として扱うことがある。それでは、本来細分化できるコミュニケーションの性質を活かしきれないものになるであろう。

2.1 コミュニケーション

「コミュニケーション」という言葉は、様々な場面で用いられる言葉である。例えば、心理学や情報学などの学問・研究で用いられることもあれば、ビジネススキルの1つとして・人間関係の円滑化の道具として、日常会話の中で用いられることも多々ある。それら「コミュニケーション」は必ずしも1つのものを指してはいない。F. Dance によれば、研究分野におけるの使われ方の種類も 2000 を超える [5]。

深田は、コミュニケーション一般を「あるシステムから別のシステムへの符号による情報の移動を含む過程である」と定義した [10]。本研究はこの定義を用いる。

コミュニケーション一般のモデルとして、Shannon のモデル [1] に適応させることを考える (図 2.1)。

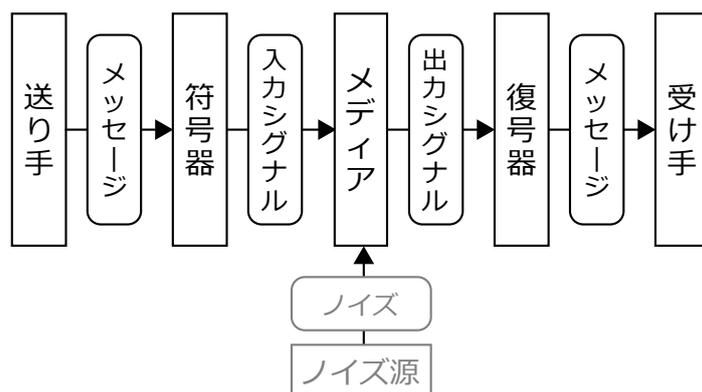


図 2.1: コミュニケーション一般のモデル

ここでいう「送り手」とは、ある相手に伝えたい情報を所有する持ち主である。伝えたい

情報は「メッセージ」、伝えたい相手は「受け手」と呼ばれる。メッセージを伝達可能な形に変換することを「符号化」と呼び、メッセージは「符号器」による符号化で「入力シグナル」となる。続いて、入力シグナルは「メディア」によって「出力シグナル」に変換され「復号器」まで到達する。出力シグナルを意味が理解できる情報にまで解釈することを「復号化」と呼び、出力シグナルは復号器による復号化で「メッセージ」となり受け手に届く。入力シグナルはメディアによって伝達される間にノイズ源からノイズを与えられ得る。また、送り手や受け手が人間である場合は、「コミュニケーションの当事者」と呼ばれる。

メディアという用語は、コミュニケーションの研究において、チャンネルという言葉で表される場合があり、チャンネルも、コミュニケーション同様、様々な意味で用いられる。本研究でメディアとは、シグナルを運ぶ手段としての媒体を指している。例えば、人と人が会話するコミュニケーションにおいて、感覚レイヤ（後述する）でのメディアは空気（振動）のことを指し、声帯（発声機構）や耳（聴覚機構）などのことではないことを強調しておく。この例での声帯は符号器、耳は復号器に当たる。

2.2 対象となるコミュニケーションとその性質

以降の項では、広く定義されたコミュニケーションを細分化し、本研究が支援するコミュニケーションを明確化し、その性質を示す。対象となるコミュニケーションの性質まで述べるのは、それらを踏まえたコミュニケーション形態の実現が、対象とするコミュニケーションの支援にとって必要なことであるからである。

2.2.1 対人コミュニケーション

本研究で支援の対象とするコミュニケーションは、「対人コミュニケーション」である。

本研究では対人コミュニケーションの定義を「送り手と受け手がともに人であり、2者間の間で交わされるコミュニケーション」とする。送り手が受け手かのいずれかが機械である場合は「ヒューマンインタフェース」、2者間でなく大勢を受け手とする場合は「マスコミュニケーション」に分類されるコミュニケーションと言え、本研究の主な対象でない。

深田 [10] は、対人コミュニケーションの本質的特徴として以下4つをあげた。

1. 当事者の人数：
2者間で交わされるコミュニケーションを基本とする。個人と個人の間で交わされるコミュニケーションであるという本質的特性が保障されるような、数人の小集団の成員間のコミュニケーションも含めることができる。
2. 双方向的過程：
送り手と受け手が固定しておらず、当事者間で送り手と受け手の役割が交代する。情報交換の進行を考慮した双方向的過程である。

3. 対面性：

対面状態でのコミュニケーションを基本とする。ただし、広く解釈すれば、パーソナルメディアを使うコミュニケーションも含む。

4. 心理的關係：

当事者間に何らかの心理的關係が存在している場合のコミュニケーションを基本とする。ゆえに非公式的コミュニケーションの性質を強く持つ。

双方向的過程

本研究で強調したいのは、双方向的過程の特徴である。単にコミュニケーションならば、送り手から受け手へ情報を伝達すれば成立する、ということも言えた。しかし、扱う対象が対人コミュニケーションとなれば、それだけは成立したとは言えない。送り手だった個人は、次点で受け手にもなり得、お互いにメッセージを伝えあう過程が重視されるべきである。

DeVito は対人コミュニケーションにおける普遍的特性を 11 個あげた [6]。そのうち本研究では、「送り手-受け手」、「符号器-復号器」、「自己フィードバック」に着目する。この要素を一般的なコミュニケーションのモデルの中に適応させた図が図 2.2 である。用語は図 2.1 で用いたものに合わせた。対人コミュニケーションにおいて、メディアは複数用いられることが多いが、この図はそのうちの 1 つを表わしたものである。

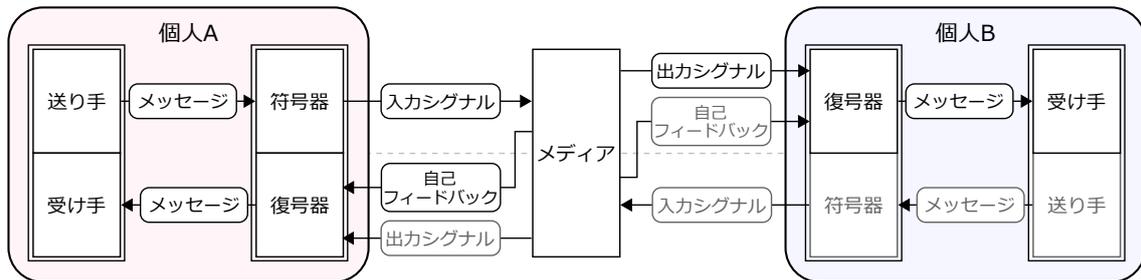


図 2.2: 対人コミュニケーションのモデル

深田 [10] によれば、それぞれの要素は「送り手-受け手」とは、コミュニケーションの当事者が、送り手の役割と受け手の役割を同時にもつ特性のこと、「符号器-復号器」とは、機能としても符号化・復号化を同時に行う特性のこと、「フィードバック」とは、送り手が発信したメッセージに対する受け手の評価や許容度といったメッセージの効果性を直接反映する情報の返還のこと（顔をしかめる、微笑むなど）と再定義している。また、フィードバックのうちでも、送り手がメッセージを送りながら、送り手自身のメッセージからも得るものを「自己フィードバック」としている。自己フィードバックがあることで、相手のレスポンスがなくてもその間違いに気付き訂正することができ、自己修正ができる。つまり、自己フィードバックがあるほうが、ない場合よりも、自分の意図したメッセージを伝達できるようになる。

送り手-受け手と符号器-復号器の要素は、その対称性から、双方向的過程という対人コミュニケーションの本質的特徴を強く支えている。自己フィードバックの要素は、ある個人からもう片方の個人へメッセージを送る本来一方向の過程でも、受け手にはもちろん、送り手にもメッセージが到達することから、双方向的であるといえる。

対面性

本研究では、対面性についても着目をする。

対面環境では、当事者たちは面と向かってコミュニケーションをする。声による会話（発話されたものを聴覚でとらえるもの）が最も多いコミュニケーション形態だろう。その会話は内容はもちろん、声色や間の取り方、アクセントなども重要な情報である。また、会釈や握手などジェスチャ・ボディランゲージを使うことができる。表情も大きな手掛かりである。ここに挙げた例も一部であり、非常に多くの情報をよく行われるコミュニケーションにおいても利用している。

実世界で行われることであるので当然ではあるが、これら多くの多次元的な情報を時間的な遅延なくやり取りできる。また、相手の出方を自然にまた瞬時に判断でき、自分の発言内容を調整することもできる。もしその場が大きな声を出すのにふさわしくないのであれば、場を移したり筆談をしたりなどする。

対人コミュニケーションに最もふさわしいのはこのような対面環境である。実世界という特徴と経験的な知識によって、身体を始めとする様々なメディアを、意識することなく自然に選択・利用できるからである。

2.2.2 コンピュータを介した遠隔地コミュニケーション

本研究で支援の対象とするコミュニケーションは、「コンピュータを介した遠隔地コミュニケーション」でもある。コンピュータを介したコミュニケーションは媒介的コミュニケーションの1つである。媒介的コミュニケーションとは、コミュニケーションの成立のために一般的な対面環境とは別のメディアを必要とするものであり、反対に一般的な対面環境で成立するものは対面的コミュニケーションと呼ばれる。また、コミュニケーションの当事者たちがある程度距離のある空間に分散している場合を遠隔地コミュニケーションと呼ぶ。コンピュータを介したコミュニケーションでは、その性質から遠隔地コミュニケーションである場合が多い。

コンピュータを介したコミュニケーション

手紙や電話を始めとする媒介的コミュニケーション技術の出現によって、今まで対面的コミュニケーションにあった、距離や時間などの制約が解放された [12]。コミュニケーションの当事者が例え遠隔地にそれぞれいても、メッセージを伝える時間とそれを受け取る時間が同じでなくても、コミュニケーションが成立するようになった。さらに、近年のコンピュー

タ技術やネットワーク技術の発達によって、コンピュータを介したコミュニケーションの機会が増えてきた。

コミュニケーションにメディアを用いることを考えると、コミュニケーションにいくつものレイヤがあることが分かる。レイヤは何層にも切り分けることが可能であるが、本研究は上位から「心情レイヤ」「感覚レイヤ」「電子レイヤ」の3つに着目する。その階層構造を図2.3に示す。レイヤごとにその要素の名前を改めた。上位のレイヤの入力シグナルは、その1つ下位のレイヤのメッセージとしてとらえられる。上位のレイヤのメディアは、その1つ下位のレイヤの符号器から復号器までを指す。下位のレイヤの詳細は上位のレイヤでは意識されない。下位のレイヤの出力シグナルは、その1つ上位のレイヤのメッセージとしてとらえられる。

心情レイヤは受け手に心情が伝わるレイヤである。人間はある心情を伝えるために、どのような伝え方が可能なのか、ふさわしいのかを選択する。あるいは、無意識に選択していることもある。

感覚レイヤは受け手にある感覚を与えるレイヤである。感覚レイヤにおいて、対面的コミュニケーションでは、光や空気の振動などをメディアとしてきた。コンピュータを介してコミュニケーションでは、コンピュータやネットワークがメディアの役割を担う。

電子レイヤは受け手に電子情報が伝わるレイヤである。このレイヤについて、それぞれのコミュニケーションの要素、符号器は「情報計測技術」、復号器は「情報提示技術」に相当する(図2.3参照)。

コンピュータが周りの環境を解釈するため、情報を電子的に変換して取得する情報計測技術(センシング技術)が発達した。人がメッセージとして表出させるという符号化をする情報のうち、電子的に扱えるものが増えたのである。

電子化された情報を人に提示する際にふさわしいとされる手法、情報提示技術も研究されてきた。その手法にも様々な提示の仕方があり、復号化にも広がりがあったのである。

電子メディアには、情報通信技術も含むものとする。情報通信技術の発達に伴い、コンピュータ同士はネットワークでつながれ、電子化された情報はコンピュータ間で自由にやり取りすることが可能になった。また、情報処理技術として、感覚レイヤで何を符号器・復号器とするのかに応じて、情報を変換することもできるようになった。

対面的コミュニケーションや初期の媒介的コミュニケーションでは、符号器と復号器の組み合わせはある程度固定されていた。例えば、音声化されたものは聴覚化され(発声したものを耳で聞く)、テキスト化されたものは視覚化される(書かれた手紙を読む)のが一般的であった。しかし、メディアとしてコンピュータがはたらくことで、固定されていた組み合わせは解放され、符号化する情報・復号化する情報をそれぞれ選択できるようになった。例えば、音声化されたものをコンピュータで解析し、文字として相手に提示することも可能となる。この例におけるレイヤの様子を図2.4に示す。双方コンピュータを介した符号化と復号化の種類拡大によって、それらの組み合わせは多様性を増し、その効果が研究されるようになった。

遠隔地コミュニケーション

近年のコンピュータ・ネットワーク技術の発達によって、対人コミュニケーションも電話や電子メールなどのパーソナルメディアを用いて行われる機会が増え、対面環境である必要はなくなった。ここでのパーソナルメディアは、比較的匿名性の低い知り合い同士の間で用いられるメディアのことである。

本研究では、あるコミュニケーションの当事者のいる環境を「ローカル」と呼び、そのコミュニケーション対象の環境を「リモート」と呼ぶこととする。

コンピュータを介すること・遠隔地になったことで、やり取りする情報やその流れ方はコミュニケーションシステムの設計者が選択することになる。

例えば電話は、送り手が生成した言語情報と言語情報に付随する声色・間・アクセントなどを音声として取得し、電話線を通じて受け手に音声として提示するものである。受け手は電話だけでは相手の表情や発話し始めようとする口の動きは知りえない。また、受け手に届かない身振り情報はそもそも生成されない。

その改善として、TV電話が開発された。送り手が生成する表情や身振りがカメラで映像として取得され、受け手にも映像として提示される。電話では伝えられなかった対面環境で扱われる情報を遠隔地でも伝えられるようになったことで、対面性の向上がなされた。また、一部のTV電話では受け手に伝わる自分の姿を、送り手自身の端末でも表示する機能を備えている。これは自己フィードバックとなり、受け手に伝わるものを自分で確認ができ、双方向性のあるものになった。

上記の例では、音声-聴覚・身振り-視覚のメディアについて述べたが、前述通り符号化・復号化には多くの組み合わせが考えられる。どの情報を伝えるか、どうやって伝えるかというその選択の仕方・メディアのモデル設計を誤れば、双方向的過程、対面性が損なわれる。これらは対人コミュニケーションの本質的性質だとされるため、そのモデルの構築は重要な課題であろう。

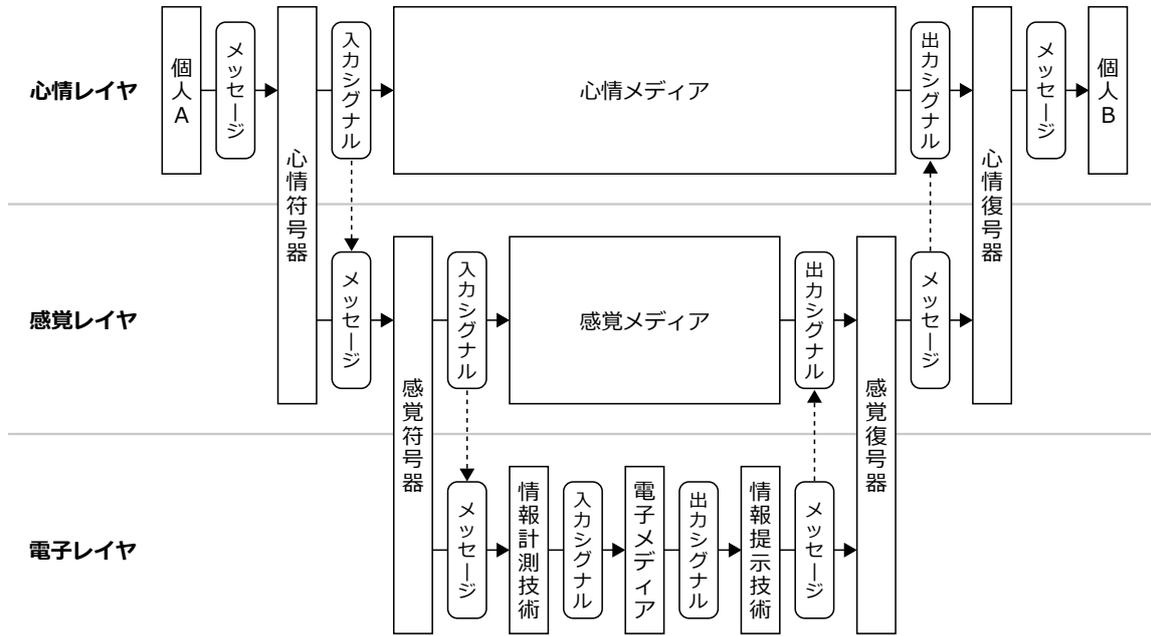


図 2.3: コンピュータを介したコミュニケーションのモデル

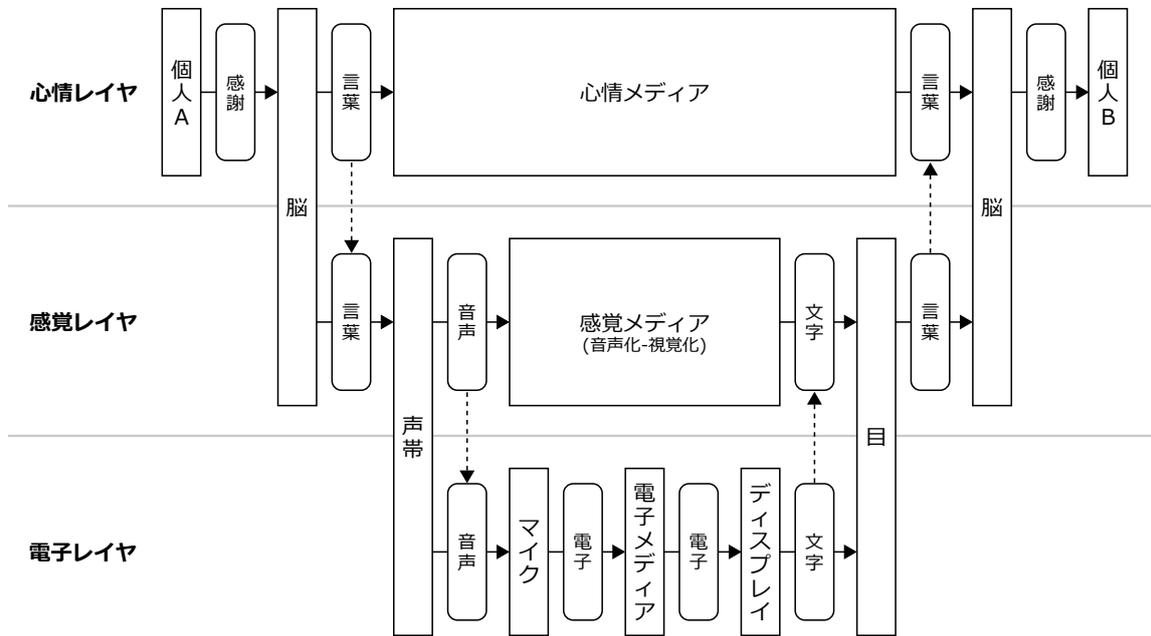


図 2.4: コンピュータを介したコミュニケーションの実例

2.2.3 非言語コミュニケーション

本研究で支援するコミュニケーションは「非言語コミュニケーション」であり、「言語コミュニケーション」でない。非言語コミュニケーションとは言語情報以外の情報、非言語情報をやり取りするコミュニケーションである。

前項で、対人コミュニケーションの本質的特徴に、対面性を挙げた。R. Birdwhistell は、2 者間の対面的コミュニケーションにおいて、言語情報によって伝えられるメッセージは全体の 35%にすぎず、残りの 65%は非言語情報によるという、非言語コミュニケーションの重要性を指摘した [3]。つまりは、対人コミュニケーションはその対面性の特徴を介して、非言語コミュニケーションと密接な関係にあると考えられる。

非言語コミュニケーションは本研究で述べるレイヤのうちでは感覚レイヤに属するものである。

さらに、Vargas は非言語コミュニケーションを以下の 9 つに分類した [7]。

1. 人体：送り手や受け手の遺伝的な身体的特徴。
2. キネシクス：身体の部位の姿勢や動き（表情やジェスチャなど。）
3. 目：視線の一致や目つき。
4. 周辺言語：声色や口調。
5. 沈黙
6. 身体接触
7. 対人距離
8. 時間：文化的・生理的の 2 つの次元における時間。
9. 色彩

本研究が支援するコミュニケーションは、対人距離・身体接触の分類の性質を強く持つ。以下に詳細な説明を示す。

対人距離・身体接触

Hall はお互いの個体の関係・感情・行動などによって適切な距離をとるものだと述べた [2]。それは以下の表 2.1 のように、4 つの大きな区切りで分類した。

表 2.1: 対人距離の 4 分類

	距離	内容
密接距離	~ 45cm	愛撫, 格闘, 慰め, 保護の距離
個体距離	45 ~ 120cm	個人的関心や関係を話し合うことができる距離
社会距離	120 ~ 360cm	社交用のための距離
公衆距離	360cm ~	公衆との間にとる距離

このようにそのコミュニケーションの内容によって適した対人距離が存在する。また、対人距離はどんなコミュニケーション場面であるかだけでなく、コミュニケーション相手との親しさにも影響を受け、親しい人ほど近い距離でのコミュニケーションを望むという研究報告も存在する [4]。

身体接触は対人距離が 0 である時だと解釈ができる。身体接触は、より親密な心理関係である人同士の間で行われる非言語コミュニケーションである。

第3章 温度メディア

本章では、本研究が定義する温度メディアについて述べる。また、温度メディアは、全温度メディアと半温度メディアに分類できる。関連する研究の知見とともに温度メディアの定義を記述し、そのうち全温度メディア・半温度メディアについて述べる。

3.1 温度メディアの定義

温度メディアは簡潔に言えば、温度に関連する情報を扱うメディアである。変換の規則を作れば不可能ではないが、一般的に温度は非言語情報として扱われる。つまり、非言語コミュニケーションの1要素となり得る。

温度メディアは次の条件を満たすものであるとする。

3.1.1 温度を符号化すること

「温度を符号化すること」が条件の1つである。温度のメッセージが符号器によって、ある入力シグナルとなる。

本研究では、コミュニケーションの当事者を人間としているため、とくに人間に関する温度について記述する。送り手の主体を生体（人間）ととらえる場合、温度でも様々な分類ができる。入来 [13] による解説を階層構造として再構築した温度の分類を表 3.1 に示す。上にあるものほど大きな概念を表し、その下の分類を包括している。

表 3.1: 生体に関する温度の分類

温度			
環境温	生体温		
	核心温	外層温	
		皮膚温	...

環境温とは、生体を取り巻く環境の温度を指す。気温、室温などとも呼ばれる温度である。一方で生体温とは生体から計測できる温度のことである。生体温の中でも核心温とは恒温動物の生体内部の組織の温度を指す。一般的には体温と呼ばれ、体温計などで測るのはこの温

度である。また、生体温の1つである外層温は環境との熱の交換に携わる器官（皮膚・粘膜表面や体内器官）の温度のことである。この外層温には皮膚温などが属する。

特に実験対象は鼻部であるが、皮膚温はストレスの指標となることが認められている [11]。

3.1.2 温度として復号化すること

「温度として復号化すること」が条件の1つである。ある出力シグナルが復号器によって、温度のメッセージとなる。

受け手の主体を生体（人間）にとらえる場合、温覚・冷覚は基本的な感覚では表 3.2 のように位置づけられる。

表 3.2: 温覚・冷覚の位置づけ

感覚									
体性感覚					特殊感覚				
皮膚感覚				深部感覚	...	視覚	聴覚	嗅覚	...
力覚(触覚)	温覚	冷覚	痛覚	...					

目や耳のように外部からはっきりと見える感覚器を有する感覚を特殊感覚と呼ぶ。それに対して、外部からははっきりとは見えずに皮膚や筋肉そのものに含まれる感覚器によって受容される感覚を体性感覚と呼ぶ。体性感覚のうち、皮膚で受容される感覚は皮膚感覚と呼ばれ、それに属される感覚としては、力覚、温覚や冷覚、痛覚などが挙げられる。人間は温覚・冷覚をそれぞれ皮膚に存在する温受容器と冷受容器で受容している。

入来によれば、温覚・冷覚への刺激に関連する高次な感覚は、さらに以下のように分別ができる [13]。

1. 温度感覚：

温覚と冷覚の2つの感覚種によりなる。皮膚の温受容器と冷受容器の刺激により引き起こされる。「熱い」「温かい」「冷たい」。

2. 温熱感覚：

皮膚からの温度情報と生体内部の温度情報の統合によって高次のレベルで主観的に決定される。「暑い」「暖かい」「涼しい」「寒い」。

3. 温熱的快・不快感：

体性感覚としての識別的な温覚や冷覚とは異なる快楽的な感覚である。皮膚温や核心温を含む全身の温熱状態により規定される快・不快の感じをいう。「快適」「心地良い」「不快」。

温覚・冷覚を刺激することで得られるこれらの感覚に訴える情報提示するものを温覚メディアと呼ぶ。

3.2 全温度メディアと半温度メディア

前章でコンピュータを介したコミュニケーションの特徴として、符号器と復号器の組み合わせの多様化について述べた。

感覚レイヤのうち、1つのメディアで前節の片方の条件のみを満たすものを半温度メディアと呼ぶ。具体的には、あるメッセージを温度のシグナルに符号化したのち、温覚・冷覚以外の感覚を刺激し復号化するメディア、あるいは、あるメッセージを温度以外のシグナルに符号化したのち、温覚・冷覚を刺激するメディアである。モデルの図を図 3.1 に示す。

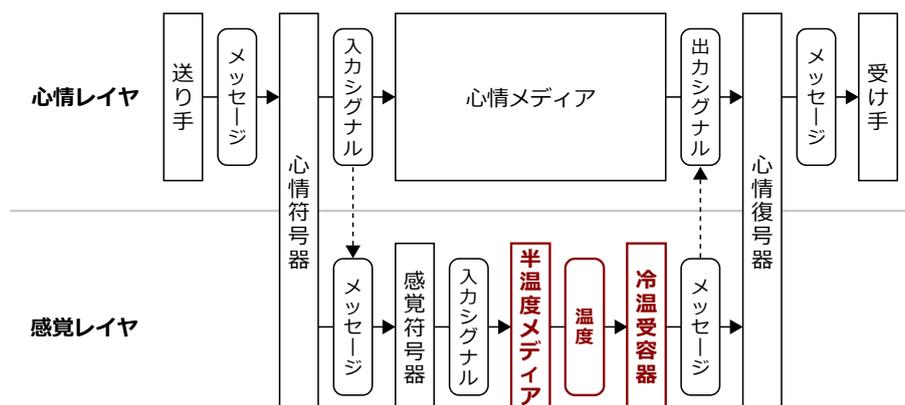


図 3.1: 半温度メディア

また、前節の条件を両方ともに満たすものを全温度メディアと呼ぶこととする。具体的には、あるメッセージを温度のシグナルに符号化したのち、温覚・冷覚を刺激し復号化するメディアである。モデルの図を図 3.2 に示す。

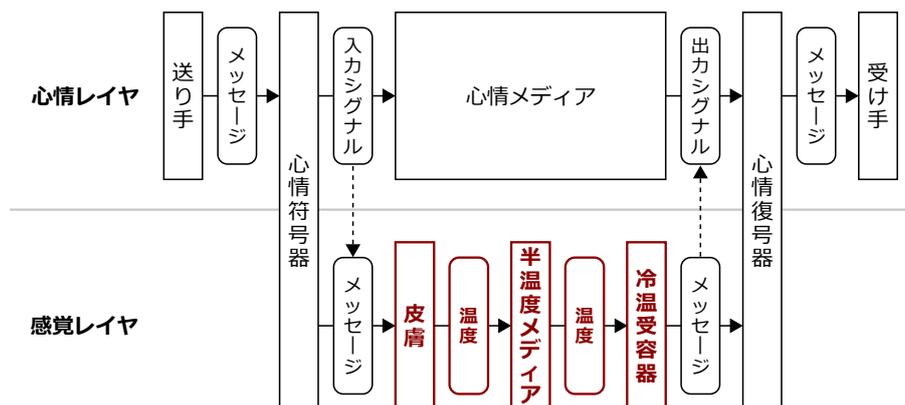


図 3.2: 全温度メディア

第4章 対人コミュニケーションのための温度メディアのモデル

本研究は、第2章で述べた支援の対象とするコミュニケーションに、第3章で定義した温度メディアを用いることを提案する。ただし、温度メディアをただ用いるのではなく、第2章で述べた対象コミュニケーションの性質をモデルに組み込むことで、さらなる支援を狙う。本章では、温度メディアのモデルを2つ提案する。

4.1 「加熱・冷却」モデル

1つは相手の皮膚温を変化させる温度メディアのモデルである。

ローカルユーザの筋肉（符号器）は、メッセージをデバイスに加える力の強さという入力シグナルに変換する。ローカルのデバイスでその入力シグナルを計測する。続いて、情報の統合や処理、通信をシステムが行う。さらに、リモートのデバイスでその強さを出力シグナルに変換し、温度として提示する。リモートユーザの皮膚（復号器）は、その出力シグナルを受け取りメッセージに変換する。これは、温度メディアとしては半温度メディアにあたる。リモートユーザを温めたいとするときのモデルの挙動を図4.1に示す。

対人コミュニケーションにおいて、半温度メディアは、送り手-受け手の要素は残るものの、符号器と復号器の関係は崩れてしまう。力の強さを与える符号器は筋肉であるのに対して、与えられる温度を得る復号器は皮膚である。それゆえ、温度による自己フィードバックによるサポートによって、より意図に近いメッセージを伝えることができると考える。

そこで、この温度メディアのモデルに自己フィードバックの概念を実現する。その際の情報提示にも温度を利用する。それは、相手に与える出力シグナルが温度であり、それに合わせるためである。自己フィードバックの実現によって、双方向性がサポートされ、より意図したメッセージを作成しやすくなることをねらいとしている。この温度メディアモデルでの対人コミュニケーションのモデルの挙動を図4.2に示す。

しかし、「加熱・冷却」のモデルの中でも以下の項で述べる2つのモデルが考えられる。以降の2項で、その2つモデルの詳細について述べる。

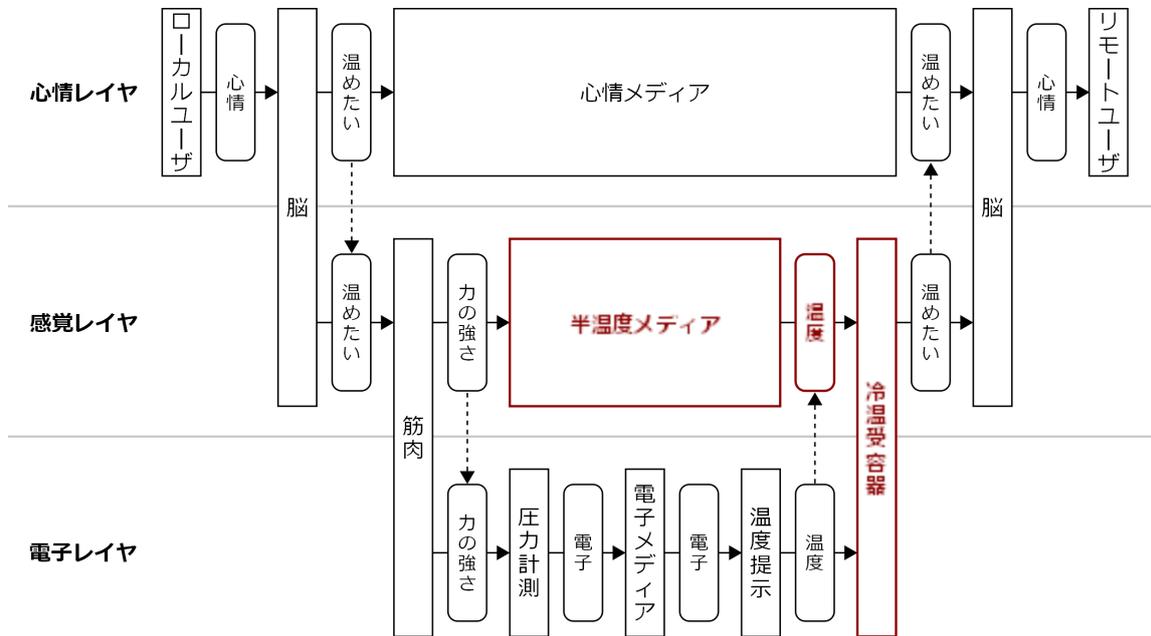


図 4.1: 「加熱・冷却」の温度メディアモデルを用いたコミュニケーション

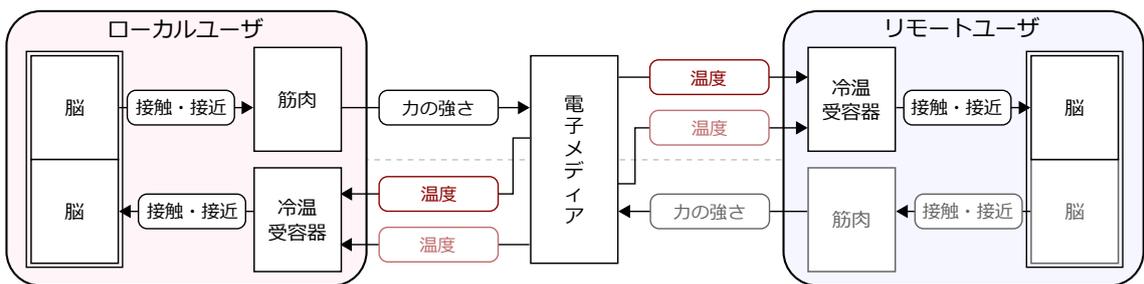


図 4.2: 対人コミュニケーションモデルへの「加熱・冷却」温度メディアモデルの適応

< 熱源共有型 >

リモートを加熱しているときはローカルも加熱し、逆にリモートを冷却しているときはローカルも冷却する、というものである。リモートへ届いた出力シグナルと同様のものをローカルで受け取り、ローカルユーザが復号化する。

このモデルでは、片方のユーザが発熱源あるいは吸熱源を提供し、もう片方のユーザがそれに触れる、ととらえることができるため、「熱源共有型」のモデルと呼ぶことにする。このときのユーザの動作とデバイスの挙動をを表 4.1 に示す。

表 4.1: < 熱源共有型 > のデバイス挙動

ローカルユーザの動作	リモートデバイスの挙動	ローカルデバイスの挙動
リモートユーザを温める	加熱する	加熱する
何もしない	何もしない	何もしない
リモートユーザを冷やす	冷却する	冷却する

無論、リモートユーザが動作し、それぞれのデバイスの挙動を変化させることもできる。両方のユーザが動作する場合は、ローカルユーザがリモートユーザを温めようとする力の強さとリモートユーザがローカルユーザを温めようとする力の強さを加算することで、このモデルを実現した。逆にリモートユーザがローカルユーザを冷やそうとする場合は、その力の強さを減算した。

< 熱移動型 >

リモートを加熱しているときはローカルは冷却熱し、逆にリモートを加熱しているときはローカルは加熱する、というものである。リモートへ届いた出力シグナルと反対のものをローカルで受け取り、ローカルユーザが復号化する。

このモデルでは、熱エネルギーが、空間のある場所から別の場所に移動する、ととらえることができるため、「熱移動型」のモデルと呼ぶことにする。

表 4.2: < 熱移動型 > のデバイス挙動

ローカルユーザの動作	リモートデバイスの挙動	ローカルデバイスの挙動
リモートユーザを温める	加熱する	冷却する
何もしない	何もしない	何もしない
リモートユーザを冷やす	冷却する	加熱する

両ユーザが動作する場合は、熱源共有型と逆の挙動をさせた。具体的には、ローカルユーザがリモートユーザを温めようとする力の強さとリモートユーザがローカルユーザを冷やそ

うとする力の強さを加算することで、このモデルを実現した。逆にリモートユーザがローカルユーザを温めようとする場合は、その力の強さを減算した。

4.2 「皮膚温の共有」モデル

もう1つはリモートユーザと皮膚温を共有する温度メディアのモデルである。

ローカルユーザの皮膚（符号器）は、メッセージをデバイスとの接触という入力シグナルに変換する。ローカルのデバイスでその入力シグナルを温度で計測する。続いて、情報の統合や処理、通信をシステムが行う。さらに、リモートのデバイスでその温度を出力シグナルに変換し、温度として提示する。リモートユーザの皮膚（復号器）は、その出力シグナルを受け取りメッセージに変換する。これは、温度メディアとしては全温度メディアにあたる。全温度メディアは、符号器も復号器も皮膚であるため、対人コミュニケーションの要素である送り手-受け手・符号器-復号器の関係が崩れることはない。これはモデルとして対人コミュニケーションの本質的特徴の1つである双方向性をサポートしていると言える。また、相手の温度や自分の温度は、対面環境では接近・接触によって感じ得ることである。このモデルによって、対面性のサポートを実現することを狙いとしている。リモートユーザと接触したいとするときのモデルの挙動を図4.3に示す。

リモートデバイスが計測した皮膚温を、ローカルデバイスで提示することを保障するのが理想ではあるが、今回はリモートデバイスとローカルデバイスがそれぞれ計測した皮膚温の差に応じて温度提示を行うこととする。リモートがローカルより高ければローカルデバイスを加熱し、逆にリモートがローカルより低ければローカルデバイスを冷却する。その差が大きいほど、強く素子をはたらかせる。

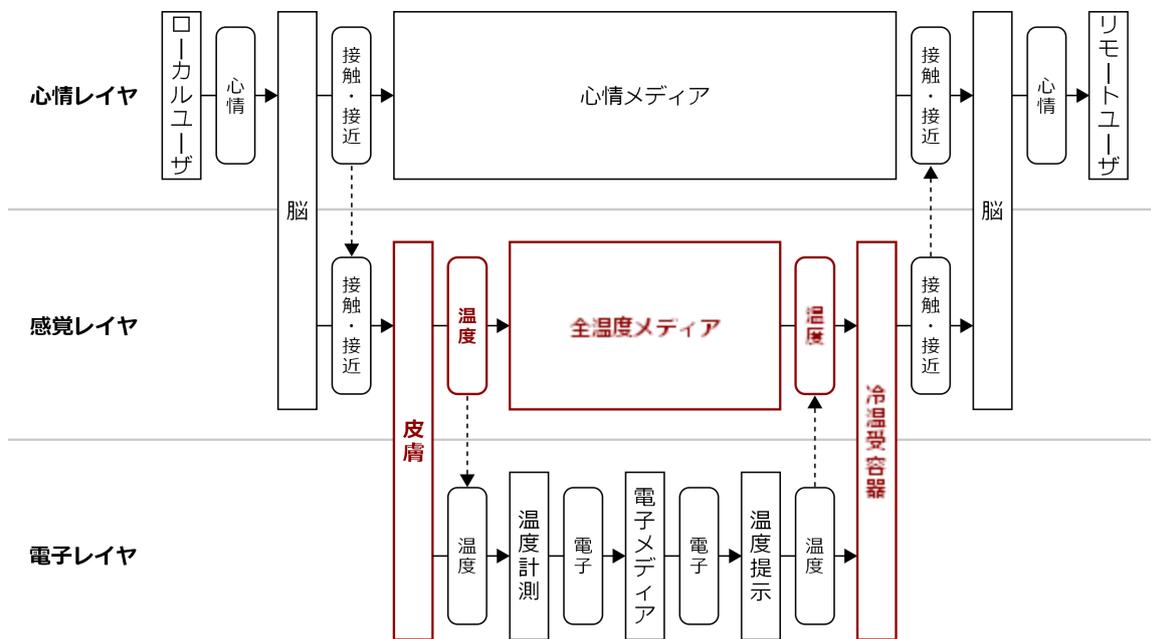


図 4.3: 「皮膚温の共有」の温度メディアモデルを用いたコミュニケーション

第5章 システム Thermo-net の実装

前章で述べた温度メディアコミュニケーションの実現可能性を示すため，温度メディアを実現するための電子メディアシステム Thermo-net の開発を行った．

図 5.1 にシステムとしての全体図を示す．

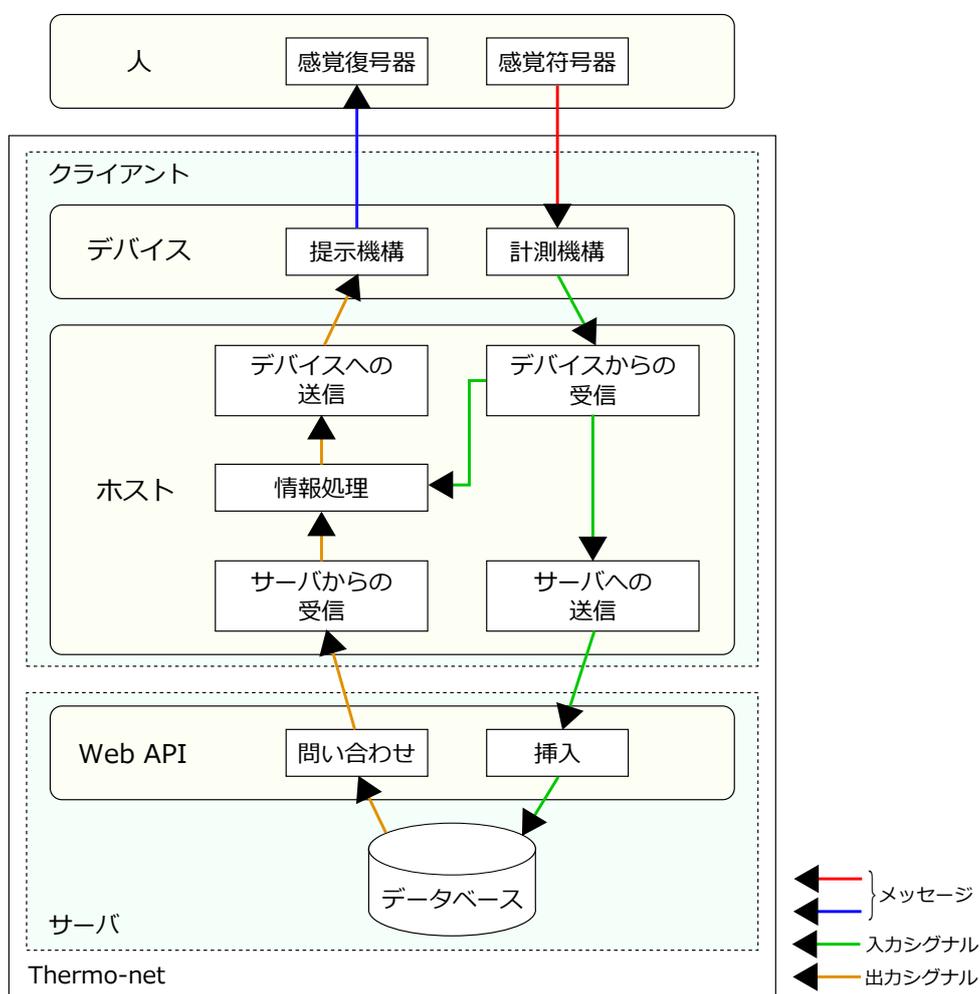


図 5.1: システム Thermo-net 全体の流れ

各要素間の通信のレートは主体的に時間を計測している要素の記述箇所に合わせて記述する．

5.1 デバイス実装

デバイスの役割は基本的に情報計測と情報提示の2つのみである。情報の統合（情報処理として後述する）や、リモートとの情報通信はデバイス自体は行わない。

実際のデバイスの写真を図 5.2 に示す。図 5.3 にユーザがデバイスに加える力を入力している様子の写真を、図 5.4 にユーザが接触面に接触する直前の様子の写真を示す。

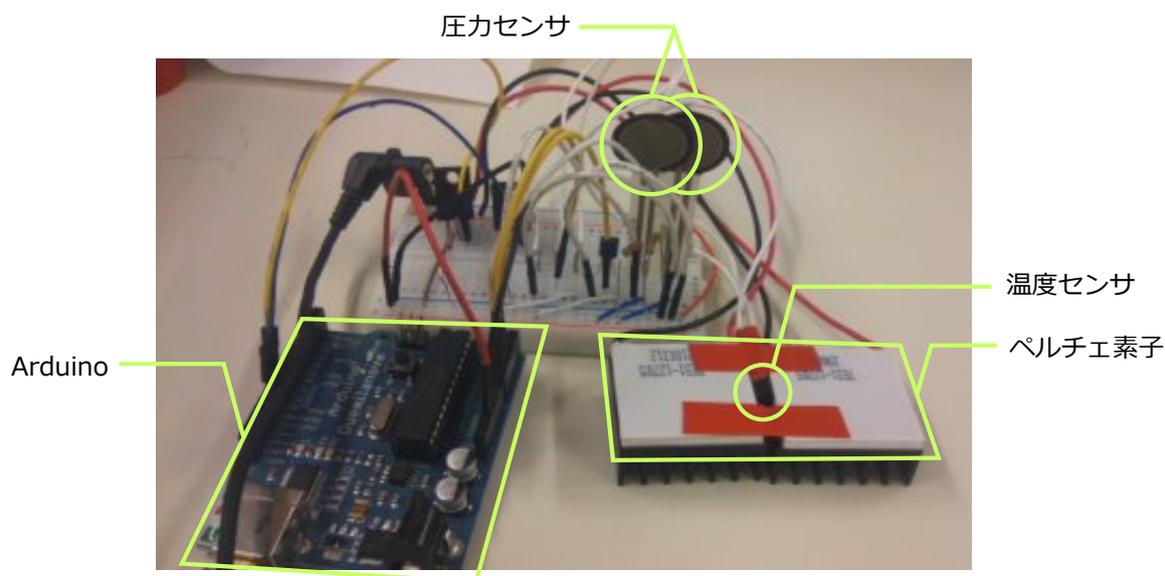


図 5.2: デバイスの写真



図 5.3: 圧力の計測の様子

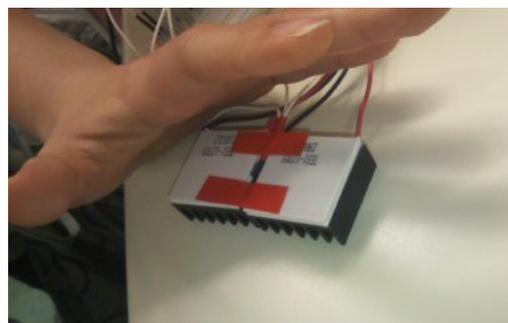


図 5.4: 接触の直前の様子

5.1.1 ソフトウェア

デバイス自体の動作制御は Arduino によって行った。Arduino はホスト PC とシリアル通信を行っている。

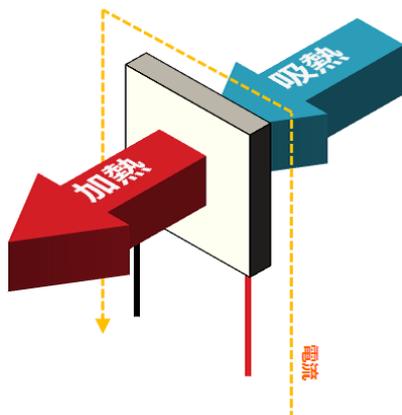


図 5.6: ペルチェ素子の動作

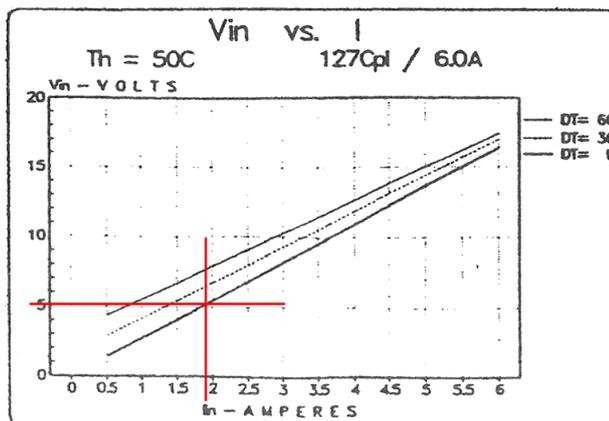


図 5.7: ペルチェ素子の入力電圧と電流値との関係

温度提示についての電子回路を下図 5.8 に示す．加熱用のものを 1 つ，冷却用のものを 1 つ，合わせて 2 つを使用した．USB 接続された Arduino から 5V で最大 2A の電力供給が可能であるが，この電源を利用すると，大電流でのペルチェ素子の稼働によって他の機構に影響を起こしてしまう．そのため，USB からの電力供給とは別に電源を用意し，外部電源としてひいてくる必要がある．ペルチェ素子は PWM 制御ができるため，Arduino の PWM 出力とトランジスタ (2SK2232) によって電流を制御した．回路から，1 つのペルチェ素子にかかる電圧は 5V であり，このとき最大で 2A の電流が流れることになる (図 5.7 赤実線を参照)．システム Thermo-net としては，2 つのペルチェ素子を同時に稼働させることはない．

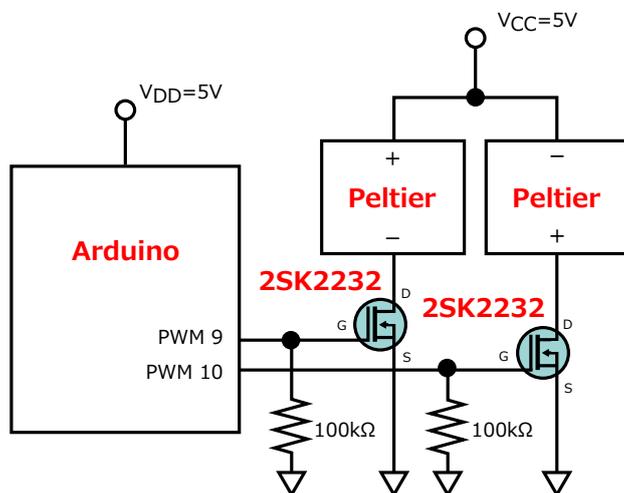


図 5.8: 温度提示のための回路図

また，前述したとおり，直流電流を流すと，一方の面で発熱，反対の面で吸熱が起こる．そこで，ペルチェ素子の接触面の裏にヒートシンクを取り付け，放熱を図った．

5.1.4 圧力計測

リモートユーザを「加熱・冷却」という温度メディアの実現のため、デバイスに加わる力の大きさを計測する機構が必要である。計測のため、圧力センサ FSR400 を使用した。

圧力センサに力が加われば加わるほどその抵抗値が下がり、高い電圧がかかることになる。Arduino 側ではそれを計測する。圧力計測についての電子回路を下図 5.9 に示す。

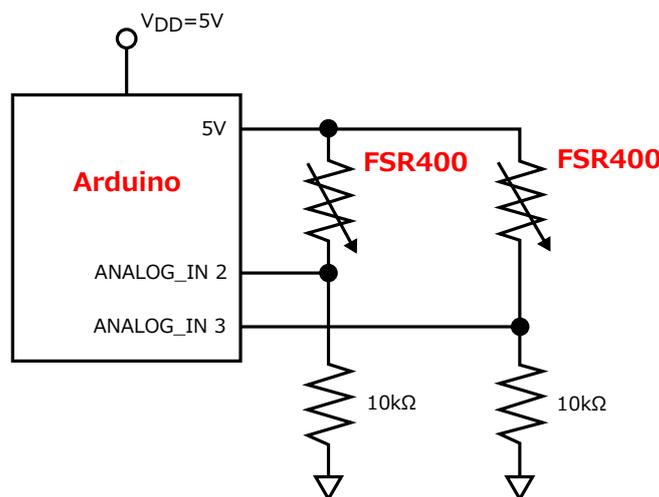


図 5.9: 圧力計測のための回路図

5.2 ホスト実装

ホスト PC は、3 つの役割をなす。1 つ目は、初期設定をする役割である。2 つ目は、デバイスとホスト、サーバとホスト間で情報をやり取りする通信の役割である。最後は、ローカルデバイスから得られた情報とリモートデバイスから得られた情報を合わせる情報処理の役割である。

ホストプログラムの開発言語は C# である。

5.2.1 初期設定

プログラムが実行すると初めに、ローカル環境の ID 名（ローカル ID 名）と、リモート環境の ID 名（リモート ID 名）の入力を求める。入力が確定すると、サーバとの通信が開始される。ローカル ID 名は、デバイスの計測結果がどの環境のものかを指定するもので、この ID 名をサーバのデータベースへ登録することになる。また、リモート ID 名は、サーバのデータベースから、その ID 名の情報を問い合わせる際に利用する。

また、現状では、「加熱・冷却モデル」か「皮膚温の共有モデル」という温度メディアモデルの選択も行う。

5.2.2 通信

ホストは、デバイスから計測結果を受信する。

続いて、デバイスから得られた計測結果に、ローカルID名を加えた情報をHTTPリクエストに載せサーバへ送信する。ホストからサーバへの送信の通信レートは0.4秒である。

また一方で、リモートID名をHTTPリクエストに載せサーバへ送信し、リモートデバイスの計測結果を得る。サーバからホストへの受信の通信レートは0.4秒である。

続いて、ローカルデバイスが提示する情報を構築し、ホストからデバイスへの送信の通信レートは温度メディアモデルによって調整した。

「加熱・冷却」の温度メディアモデルでは0.4秒に調整した。レスポンス時間の向上を狙ったためである。

「皮膚温の共有」の温度メディアモデルでは5.0秒である。加熱・冷却の場合のように、短時間での通信を行うと、温度変化が大きく振動してしまった。そこで通信レートを長くし、ゆっくりと変化させ時間をかけることで大きな振動を抑えた。

5.2.3 情報処理

温度メディアモデルの実現のため、サーバから受信したリモートデバイスの計測結果と、ローカルデバイスから受信した計測結果を統合（情報処理）する。

「加熱・冷却」モデルでの情報処理 「ローカルデバイスによって計測される、リモートユーザを温めよう・冷やそうとするローカルユーザの生成した力の大きさ」と「リモートデバイスによって計測される、ローカルユーザを温めよう・冷やそうとするリモートユーザの生成した力の大きさ」とを組み合わせ、「ローカルデバイスで提示する自己フィードバックのための温度提示」と「リモートデバイスによって伝えられるメッセージの提示」を同時に行う。

「皮膚温の共有」モデルでの情報処理 「ローカルデバイスで計測される皮膚温」と「リモートデバイスで計測される皮膚温」とを組み合わせ2者の皮膚温の差を計算し、「ローカルデバイスで提示する温度の出力値」を決定する。

5.3 Web API 実装

サーバのWebAPIはホストからHTTPリクエストを得、データベースとのやり取りを行う。データベースのリレーショナルデータスキーマは表5.1のようになる。

また、WebAPIの開発言語はPHPである。データベースにレコードを挿入する「Post」とデータベースのレコードを問い合わせる「List」の2つAPIメソッドを作成した。

Postはパラメータに文字列logを必要とする。logは、「ローカルID名、皮膚温、気温、温めようとする力の強さ、冷やそうとする力の強さ」の属性名とそれぞれの属性値を持つJSON

形式で書かれた文字列である．クエリを投げられるとデータベースへの挿入が成功したか / 失敗したかの返答を返す．

List はパラメータにリモート ID 名を必要とする．クエリを投げられると，データベースのうちローカル ID 名がパラメータのリモート ID 名と合致するもののうち，最新 1 件のレコードを返す．

表 5.1: リレーショナルデータスキーマ

Thermo-net 各ローカル情報 (<u>ID</u> ,
	ローカル ID 名,
	皮膚温,
	気温,
	温めようとする力の強さ,
	冷やそうとする力の強さ,
	タイムスタンプ
)	

第6章 温度メディアモデルの評価

第4章では、対人コミュニケーションのための温度メディアのモデルを2つ提案した。本章では、これらモデルがそれぞれねらいとした部分について行った評価について述べる。

6.1 実験1：半温度メディアにおける自己フィードバックの効果について

6.1.1 実験の目的

実験1の目的は、自己フィードバックの実現をしたことで、相手の温度情報の変化が自分の意図した通りにできたかどうかを検証することと、自己フィードバックの実現方法として、今回の温度を提示する手法は有用であるかを明らかにすることである。

6.1.2 実験の方法

被験者は、22-23歳の大学生6名（男性4名、女性2名）である。2人1組として、3つのペアを作成し、実験に臨んでもらった。どのペアの心理関係も友人同士であり、互いにある程度知っている。実験環境は2者同室であるが、互いに背を向ける状態であり、動きを見ることはできず、振り返ることを禁じた。また、話をする、発言をすることも禁止した。

被験者は Thermo-net システムを利用し、5つのモデルについてそれぞれ2つのタスクを試行する。

用いた5つのモデルA-Eを表6.1に示す。モデルAはフィードバックが何もない状態である。単純にローカルデバイスに加えた力の強さに応じて、リモートデバイスが稼働する。モデルBは、モデルAに加え、ディスプレイ上にリモートで計測した温度の情報を提示する。モデルCは、モデルAに加え、ローカルデバイスに加えた力に応じて、ディスプレイ面に、加熱なら赤、冷却なら青の提示をした。また、力が強いほどその色の彩度を高くした。モデルDは、モデルAに加え、熱源共有型の温度での自己フィードバックを実現したもので、モデルEは、モデルAに加え、熱移動型の温度での自己フィードバックを実現したものである。それぞれのモデルについて、実験を行う順番は釣り合いをとらせた。

表 6.1: 実験 1 で評価する 5 つのモデル

モデル名	内容
モデル A	リモートを温めたり冷やしたりする .
モデル B	モデル A + リモートの皮膚温を数値で知る .
モデル C	モデル A + リモートを温めている・冷やしている強さを色で知る .
モデル D	モデル A + リモートを温めている分, ローカルも温まる . 逆も同様 .
モデル E	モデル A + リモートを温めている分, ローカルは冷える . 逆も同様 .

被験者に課した 2 つのタスクを表 6.2 に示す . それぞれのタスクについて , 自分が満足のいくまでメッセージを送る行為を続けてもらった . どんな冷温の提示が快あるいは不快になるかは , 被験者に一切を任せた . その後 , 送る側の被験者が , 「難しい」を 1 とし「易しい」を 5 とする , 5 段階のリッカート尺度でその易しさを回答した . また , タスク 1,2 の終了後 , そのモデルについて自由に記述してもらった .

最後に , 全てのモデルについてタスクを終えた後 , 5 つのモデルを難しい順に並べてもらった . また , 実験 1 全体を通しての自由記述をしてもらった .

表 6.2: 実験 1 で課せられる 2 つのタスク

タスク名	内容
タスク 1	リモートへ「心地良い」というメッセージを送る .
タスク 2	リモートへ「不快」というメッセージを送る .

6.1.3 実験の結果

タスク 1 の快のメッセージの実例としては , 温める力を加えることを弱く長く続ける者や , ゆっくりとだんだん温かくあるいは冷たくする者が見られた . タスク 2 の不快のメッセージの実例としては , 温める力を最大値まで使って表現する者や , 温度の変化を冷温急激に変化させる者が見られた .

図 6.1, 6.2 に 5 段階評価をしたタスク難易度の結果のグラフを示す .

F 検定によって , 群ごとの母分散が異なっていたことと , サンプルサイズも小さいことから , ノンパラメトリックの Steel-Dwass 法を用いた検定を行った . その結果 , タスク 1 では , モデル A とモデル C ($t = 2.933, P < 0.05$) , モデル B とモデル C ($t = 2.939, P < 0.05$) の間に有意差が認められ , その他では有意差は認められなかった . また , タスク 2 ではどの群の組み合わせにも有意差があることは認められなかった .

続いて , 順位付けに関して述べる . もっとも難しいとされたものを 1 , もっとも易しいとされたものを 5 としそれぞれのモデルの平均を出し , 改めて順位付けしたところ , タスク 1 に関し

では「 $A < B < E < D < C$ 」, タスク2に関しては難しいものから「 $A < B < E < C = D$ 」となった。

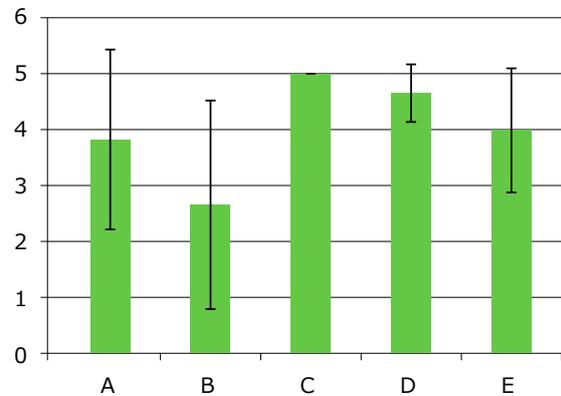
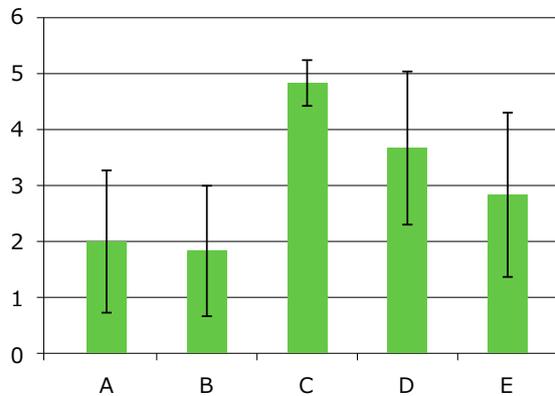


図 6.1: 実験 1: タスク 1 の 5 つのモデルの評価 図 6.2: 実験 1: タスク 2 の 5 つのモデルの評価

自由に記述してもらったコメントのうち、モデルに関するものを以下に示す。

- モデル A

- 微妙な熱さや冷たさを伝えにくい。
- ほどよい冷温を伝えるのが難しい。
- 今まであったフィードバックがなくなって難しくなった。

- モデル B

- あまり相手を温めている、冷ましているという感じがなかった。
- 数値ではよく分からないのでタスク 1 も 2 も難しい。
- 相手を温めているのか冷やしているのか全く把握できない。

- モデル C

- 圧力センサへどのくらい力を加えているかが把握しやすかった。
- 色表示はとても分かりやすい。しかし、同時に温度も感じたかった。
- どの程度温めたり冷やしたりしたらよいのか分かってやりやすい。

- モデル D

- 相手の手に与えている温度を自分でも感じることができ、つながってる感じ・共有している感じがした。
- 自分で相手がどのような温度を感じているかが分かると調節がしやすい。

- どの程度温めたり冷やしたりしたらよいのか分かってやりやすい。

- モデル E

- 自分が送る温度と、受ける温度が逆なので、違和感を感じた。

6.1.4 考察

まず、実験 1 全体について考察を行う。

タスク 1 とタスク 2 を比べると、おおむねタスク 1 のほうが低くなった。その理由としては、「不快」であれば乱暴にメッセージを送るだけでよかったものが、「心地良さ」の場合は送るメッセージを作るのに繊細さが必要であったからだろう。実際に、「心地良さ」を伝える場合はたいていが弱い力を加えているのに対し、「弱い力を加える場合に、どの程度相手を温めているか、冷やしているかが分かりにくい」というコメントも得た。

また、モデル B を除いて、フィードバックを与えたものは（有意差は認められなかったものの）モデル A より高い値を得ている。モデル B が低かった、あるいはモデル A と同程度であった理由は、通信が 0.4 秒で行われ、値が細かく振動しており分かりにくかった、また、手の必ず同じ部分をずっと計測できてはいなかったからだと考えられる。

次に、モデル E について考察を行う。

タスク評価では両タスクとも、モデル A との有意差は認められなかった。しかしながら、順位付け・タスク評価ともにフィードバックがない状態よりはよい結果が得られている。逆の感覚であるが、フィードバックとしては全く機能していないということはない、と言えよう。ただし、コメントでは、実際の感覚とは逆である、というものが多く得られた。このことから、直感的ではないとしても、フィードバックとしてははたらいっていると考える。

続いて、モデル D について考察を行う。

タスク評価では両タスクとも、モデル A との有意差は認められなかった。これは、システムから受け取る自己フィードバックの温度が別のメッセージにとらえられたことから起こったと考えられる。しかしながら、順位付けに関しては、タスク A と大きく離れ、コメントでもその分かりやすさについてが多く得られた。このことから、個人差はあるもののフィードバックとして機能し、直感的な感覚として評価されていると考える。

また、「相手の手に与えている温度を自分でも感じることができ、つながっている感じ（共有している感じ）がした。」というコメントも得た。視覚フィードバックのモデル（A, B）ではこのようなコメントは得られなかった。その理由としては、視覚フィードバックは自分がデバイスに加えている力の強さのフィードバックであり、温覚フィードバックは自分が相手を温めている・冷やしていることに対するフィードバックであるからだと考える。

また、モデル C に対するコメントとして、「同時に温度も感じたかった。」というものもあった。視覚と温覚・冷覚を組み合わせた提示をすれば、よりよい自己フィードバックになるかもしれない。また、視覚提示ができない場合もあるだろう、その時に温覚・冷覚の利用も考えられる。

6.2 実験 2: 全温度メディアモデルの効果について

6.2.1 実験の目的

対象とするコミュニケーションにおいて、温度を電子に符号化し、電子を温度に復号化するものはなかった。本研究では皮膚温を共有するモデルを構築し、実装をした。実験 2 ではその効果について検証し、さらに他の復号化手法との比較を行う。

6.2.2 実験の方法

実験の被験者、環境は実験 1 に準ずる。

被験者は Thermo-net システムを利用し、3 つのモデルについてデバイスを 1 分間触り続けるタスクをしてもらった。用いた 3 つのモデル F-G を表 6.3 に示す。

表 6.3: 実験 2 で評価する 3 つのモデル

モデル名	内容
モデル F	ローカルの皮膚温とリモートの皮膚温の差を数値で知る。
モデル G	ローカルの皮膚温とリモートの皮膚温の差を色で知る。
モデル H	ローカルの皮膚温とリモートの皮膚温の差を温度で知る。

モデル F は相手との温度差をディスプレイに数値で提示したものである。モデル G では相手との温度差をディスプレイに相手のほうが高ければ赤く、相手のほうが冷たければ青く提示した。モデル H は相手との温度差をデバイスを用いて温度で提示するものである。

モデル H に関しては、双方のシステムを同時に稼働させると収束にむけて大きな波ができてしまうために、本研究では、片方の環境では温度計測のみ、もう片方の環境で温度計測と温度提示を行う格好となっている。

タスクののち、「相手の存在をどの程度近く・遠く感じたか」という質問をして、表 6.4 に示す 6 段階で評価してもらった。また、それぞれのモデルについて自由にコメントを記述してもらった。それぞれのモデルについて、実験を行う順番には釣り合いをとらせた。

表 6.4: 実験 2 で問う 6 段階評価の詳細

番号	内容
1	手をつなぐ程度
2	すぐ触れられる程度
3	テーブル越し程度
4	同じ部屋にいる程度
5	隣の部屋程度
6	さらに遠く

全てのモデルについて評価を終えた後、温度提示が相手の手に触れたように感じたかどうかと、どんな関係の人とどんな場面で用いたかを聞いた。

6.2.3 実験の結果

表 6.5 に 6 段階評価で結果を、図 6.3 にそのグラフ示す。実験 1 と同様、F 検定によって群ごとの母分散が異なっていたことと、サンプルサイズも小さいことから、ノンパラメトリックの Steel-Dwass 法を用いた検定を行った。しかし、どの群の組み合わせにも有意差があることは認められなかった。

表 6.5: 実験 2 : 3 つのモデルの評価

被験者	モデル F	モデル G	モデル H
a	2	1	2
b	3	3	5
c	3	4	4
d	5	5	2
e	6	6	2
f	5	6	2

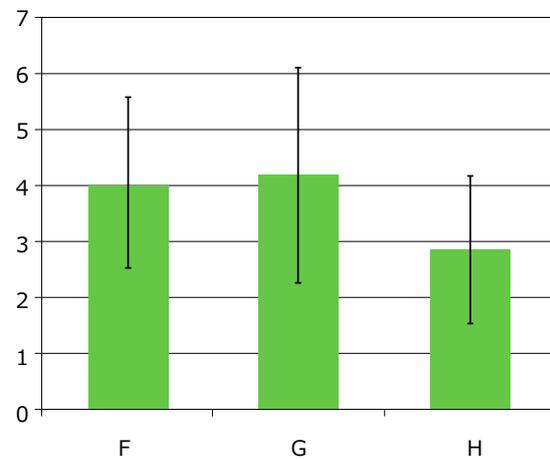


図 6.3: 実験 2 : 3 つのモデルの評価グラフ

自由に記述してもらったコメントのうち、モデルに関するものを以下に示す。

- モデル H
 - 自分と相手のどちらが温度が高いのか分かりにくい。

- とても分かりやすいが、体感としてはどのくらいか分からない。
- モデルGよりは分かりやすかったと思う。

- モデルG

- 画面が真っ赤だったので、ものすごく近くにいるか、ものすごく緊張している感じがした。
- ずっと画面が青いと嫌われている感じが出る気がした。色の意味でダイレクトに伝わってくる気がする。
- 薄い青という色から、相手はかなり遠くに感じる。
- 分かりやすい。知覚できない温度も分かる。
- なんとなくそうなのかなあというくらいの感じだった。

- モデルH

- 温から冷に変化するとき、相手が離れて行ってしまう感じがした。
- 相手の存在を感じる事ができたと思う。
- うまく動いているときは心地良いぬくもりだった。

モデルHについて、2名から相手の手に触れたように感じたという回答があったが、他4名からは手に触れているようではなかったという回答があった。

また、どんな関係の人と用いたいかについては、恋人や友人という心理的に近い関係の相手が挙げられた。どんな場面で用いたいかについては、遠距離でも近くに存在を感じたいとき、距離や時間の都合で会えない場合で相手の存在を確認したいときなどが挙げられた。電話と一緒に使いたいという答えが2名から得られた。

6.2.4 考察

どの群の組み合わせにも有意差が認められなかったことには次の理由が考えられる。温度の提示の仕方に問わず、温かいという情報の提示自体が相手との距離が近いことを、逆に冷たいという情報の提示自体が相手との距離が遠く離れていることを感じる事が起こったためである。実際コメントとしても、温度を色で表わしたモデルGと温度を温度で表わしたモデルHでこのことが報告された。

また、色で温度差を提示したモデルGでは、色そのものが持つ文化的意味を感じてしまう場合があった。赤は緊張、青は嫌悪の感情を想像したことが得られている。

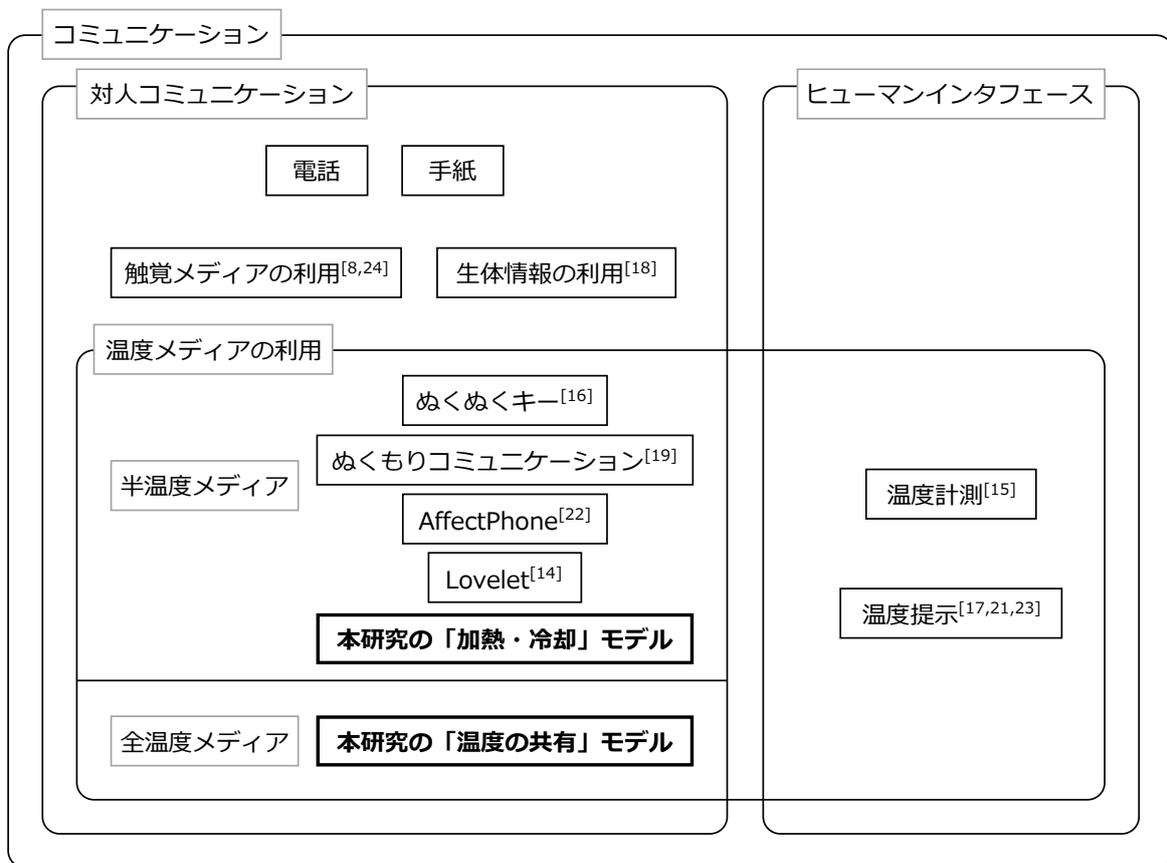
個人の多くでは、モデルHは相手の存在を、他と同等、またはそれよりより近く感じると回答された。また、相手の手に触れているようであるという回答も2名から得られた。リモートの皮膚温をローカルの皮膚温で提示することによって、相手の存在をより近くに感じることで、共存感が得られると考えられる。

本来ねらいとしたことは、相手の皮膚温を提示することで、相手の接近・相手との接触を感じてもらうことであった。しかし、相手の手に触れているようではなかったという回答は過半数に達している。これはデバイスが固い素材であって皮膚のように柔らかくはないこと、また、手は発汗をし、また動くものであり、実際の皮膚との違いが多くあったことが考えられる。

第7章 関連研究

本章では，対人コミュニケーションを支援の対象とする研究や，本研究で定義する温度メディアを利用した研究について述べる．

後述する関連研究の分類と，本研究の位置づけを示した図を図 7.1 に示す．



7.1 温度メディアを用いたヒューマンインタフェース

本節では、第3章で定義した温覚メディアでも、ヒューマンインタフェース、いわば人とコンピュータとのコミュニケーションにおいて、温度メディアを利用した研究を示す。本研究は対人コミュニケーションの支援をしている点でこれらと異なる。

温度を計測する Thermo-Painter[15]は、赤外線カメラでサーフェスを撮影し、その熱画像を入力とし、同じサーフェスにプロジェクタで出力結果を投影するインタラクティブな描画システムである。サーフェスと温度差のあるものならば入力のためのツールと成り得、手・指や湯を含ませた筆での入力が可能である。温かいことは膨張の、冷たいことは収縮のメタファとしての利用例も挙げられている。

温度として表現する 動画像に連動して、ユーザに温度感覚を提供する手法の研究もなされている。Thermoesthesia[17]は、サーフェスに動画を投影し、ペルチェ素子をその動画と連動させるシステムである。ユーザがサーフェスに触れると動画に対応づけられた温度を感じられる。Nakashigeらは、ディスプレイに移した画像にポインタを近づけるとそれに応じて、マウスに組み込まれたペルチェ素子が指先や手のひらを加熱・冷却するシステムを開発した[21]。馬場ら[23]はビデオゲームの状況に応じてペルチェ素子が駆動するシステムを開発した。

7.2 対人コミュニケーション

今日でも用いられる代表的な媒体的対人コミュニケーションは、電話や手紙といったものである。音声化-聴覚化、テキスト化-視覚化という符号化・復号化の組み合わせは固定であって、コンピュータの発達によって、これら組み合わせの概念は自由になり、よりよい組み合わせが研究されてきている。

本研究は温度メディアを定義しそれを利用したコミュニケーションについて議論しているが、以下には、温度メディア以外で我々のアプローチと近いものをあげる。

生体情報を計測する 福井らは脳波を計測し、リラックスや驚きの認識をし、仮想空間内のアバタの表情に反映させるシステムを構築した[18]。

本研究は、生体情報のうちでも皮膚温を計測する点でこれとは異なる。対面環境で皮膚温を知るということは、接近・接触をすることになる。皮膚温を用いることで、これらを連想する効果があるだろう。

皮膚感覚に訴える inTouch[8]は、3つのローラを有するデバイスである。相手のデバイス操作を自分のデバイスで復元し、その逆も行うことで、触覚のコミュニケーションとする。Kokone[24]は、サボテンをモチーフとしたデバイスである。相手がボタンを押したりデバイスを握り締める快・不快のメッセージによって、自分のデバイスの表面の質感を変化させその思いを伝える。

本研究は、刺激する感覚が皮膚感覚のうちでも温覚・冷覚である点でこれらとは異なる。刺激する感覚が違ふことで全く異なった体験となる。温覚・冷覚ではその共存感を提供できると言えよう。異なった感覚であるので触覚と温覚・冷覚を組み合わせるのも有用かもしれない。

7.2.1 温度メディアを用いた対人コミュニケーション

対面的コミュニケーション

温度メディアは意識せずとも、我々が対面的対人コミュニケーションで日常的に用いているものでもある。実際に会って会話をする対面的対人コミュニケーションで握手をすることは珍しいことではない。握手は友好の表現としてコミュニケーションで使われている。この握手では、意識することは少ないが、相手の手のひらの皮膚温を感じているはずである。この例では、「温度を計測する」・「温度として表現する」の両条件を満たしている温度メディアの利用例である。

ほかに、冬の寒い日に子の冷えた手を母親がさすって温めたり、愛情表現のためのハグや手をつなぐ行為、暑い環境で団扇などで扇ぐ行為、からかいのために非常に冷えた飲料を頬に当てる行為など、温度メディアは実に様々な対面的対人コミュニケーションで用いられている。ここで、対面的対人コミュニケーションにとって、「温度を符号化する」ことと「温度として復号化する」ことは同時に起こり（=全温度メディア）、切り離すのは難しいことを強調しておく。

コンピュータを介したコミュニケーション

対面的コミュニケーションでの温度メディアの有用性から、または、まったく新しい体験を生成する目的から、コンピュータを用いて温度メディアを実現した関連研究を以下に示す。

Awarenessを提供する Thermotaxis[20] は、ユーザのいる実世界の位置と、温度の高い領域・低い領域が設けられた仮想空間とを対応させ、耳あて型のデバイスで温度提示をする。高い温度を提示する場所に自然に集まることを利用し、コミュニケーションのための場を作り出す。

The bed[9] というシステムは1つの機能として、リモートの抱き枕で相手の存在をセンシングし、ローカルの抱き枕で温度で提示することができる。これは相手の存在の有無という Awarenessを提供している。ぬくぬくキー [16] やぬくもりコミュニケーション [19] は、対人コミュニケーションが既に行われている場、あるいは行われそうな場に居合わせる人の存在を計測し、その人数が多いほどデバイスの温度を高くしてその情報を提示することで、人数の Awarenessを提供する。

Lovelet[14] は、腕装着のデバイスで、リモートで計測した気温をローカルで多色 LED を光らせ提示する機能を有する。リモートユーザがいる環境のウェアネスを提供するものである。

ウェアネスを提供することで、対人コミュニケーションを開始するきっかけとすることができることを狙いに行っている。本研究は、対人コミュニケーションをする過程で、温度提示や温度計測をし、温度メディアを利用する点でこれらとは異なる。

コミュニケーション自体の支援を行う CuitCircuit 社による Hug-Shirt¹ は、送信者のシャツによってタッチの強さや心拍を計測し、それらを統合した情報を受信者のシャツで温度で提示する。NTT ドコモ社による体温ハート² は、デバイスを握る強さ・心拍を計測し、心臓の鼓動を模した振動、心拍数解析の心理状態推定から LED と発熱体で存在感を提示する。

また、前項にあげた Lovelet[14] は、腕装着のデバイスに取り付けられたタッチセンサで皮膚接触を計測し、リモートに送信、それに応じてペルチェ素子で温度出力する機能も有している。本研究の定義でいえば、気温を色に変換することが 1 つのメディアであり、皮膚接触を温度に変換することでもう 1 つのメディアと見なしている。

生体情報の符号化と温度提示の組み合わせとして近い研究は、岩崎らによる AffectPhone[22] である。ローカルユーザの皮膚抵抗 (GSR) を計測し、リモートに送信、それに応じてペルチェ素子で温度出力する機構を携帯端末へ実装した。GSR は興奮度の指標になるといわれている。

これらは、本研究の定義で言えば全て半温度メディアに該当する。本研究では、これら半温度メディアに温度での自己フィードバックの機構を実現することで、対人コミュニケーションの双方向性過程という特性を活かしたメディアのモデルを構築した。自己フィードバックの実現により、自分の意図した形のメッセージを作りやすくなった。

また、温度を計測し、温度として提示する全温度メディアを提案し、皮膚温を提示するメディアの構築を行った。効果として、より相手を身近に感じることを寄せられたコメントから確かめた。

¹CuteCircuit, <http://www.cutecircuit.com/>

²NTT ドコモ, CEATEC JAPAN 2010, 2010.

第8章 まとめと今後の課題

本研究では、対人コミュニケーションの支援を行うのに温度メディアを用いた。対人コミュニケーション・コンピュータを介したコミュニケーションの特徴を踏まえた温度メディアモデルの構築と、そのモデルを実現するためのシステム Thermo-net の作成をした。

対人コミュニケーションの特徴である双方向性の実現のため、デバイスに加える力を遠隔地の相手に温度に変換して伝える半温度メディアに、自己フィードバックとして相手に与える温度変化を自身にも温度変化で提示するモデルを導入し、その評価をした。その結果、有意差は認められないものの、「分かりやすい、共有している感じがする」とポジティブなコメントを得た。

また、温度を計測し、温度で提示する全温度メディアの実現を行った。感覚符号器と感覚復号器が同じ皮膚であることから、対人コミュニケーションの双方向性に強く関連する。さらに、本来は対面環境で知り得る情報を知り得る形態で実現することで対面性のサポートもしている。その評価では、視覚への提示手法よりもより身近に相手の存在を感じる、共存感の提供ができることを示した。

実験では、他のメディアと比べて有意差を認められなかった。それは、コミュニケーションのモデルでの検討はもちろん、実装レベルのモデルの実現がなかなかうまく果たせていないというのが一因であろう。今後の課題として具体的には、半温度メディアにおいては、視覚のフィードバックとの組み合わせをすること、全温度メディアにおいては、より皮膚に近い形状・素材・モデルの採用を検討をすることなどが挙げられる。また、現時点では提案した2つのモデルはモードとして起動時に選択することになっている。どのモードがどんなシチュエーションにふさわしいのかを検討し、意識させることなく自然にまた、シームレスにモード切り替えができるようにすることが必要である。さらに、冷温それぞれのメッセージ自体が相手との距離を示すことができるかもしれないという知見も得られたため、それを利用した新たな温度メディアの利用形態を構築することも課題であろう。

謝辞

本研究を行うに当たり，指導教員である三末和男先生，志築文太郎先生，田中二郎先生には研究全体にわたっての丁寧なご指導とご助言をいただきました．心から感謝申し上げます．また，高橋伸先生にも貴重なご意見やご助言をいただきました．さらに，庄野和宏先生は電子回路についての私の稚拙な質問にも快く答えてくださいました．深く感謝いたします．

インタラクティブ・プログラミング研究室の皆さまには，ゼミなどを通じて多くのご意見やご助言をいただきました．特に NAIS チームの皆さまには，チームゼミや普段の研究生生活を通して，多数の貴重なご意見をいただきました．心から感謝いたします．

そして最後に，学生生活を物心両面から支えてくださった家族と，多くの良い刺激を与えてくれた友人たち，大学生活でお世話になった全ての方々に深く感謝申し上げます．本当にありがとうございました．

参考文献

- [1] Claude Shannon, “A Mathematical Theory of Communication”, *Bell System Technical Journal* vol. 27, pp. 379-423 and 623-656, 1948.
- [2] [Hall, E. T., “The Hidden Dimension.”, *Doubleday & Company*, 1966.] 訳 日高 敏隆 & 佐藤 信行, ”かくれた次元”, *みすず書房*, 1970.
- [3] Ray L. Birdwhistell, “Kinesics and Context: Essays on Body Motion Communication”, *University of Pennsylvania Press*, 1970.
- [4] Ashton, N. L., Shaw, M. E. & Worsham, A. P., “Affective reactions to interpersonal distances by friends and strangers”, *Bulletin of the Psychonomic Society*, pp. 306-308, 1980.
- [5] 塚本 三夫, “コミュニケーションの論理と構造”, *サイエンス社*, 1985.
- [6] DeVito, J. A., “The interpersonal communication book. 4th ed.”, *Harper & Row, Publishers*, 1986.
- [7] Marjorie Fink Vargas, “Louder Than Words: An Introduction to Nonverbal Communication”, *Iowa State University Press*, 1986.
- [8] Scott Brave & Andrew Dahley, “inTouch: a medium for haptic interpersonal communication”, *CHI '97: CHI '97 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 363-364, 1997.
- [9] Chris Dodge, “The bed: a medium for intimate communication”, *CHI '97: CHI '97 extended abstracts on Human factors in computing systems: looking to the future*, pp. 371-372, 1997.
- [10] 深田 博己, “インターパーソナル・コミュニケーション-対人コミュニケーションの心理学-”, *北大路書房*, 1998.
- [11] Yoshida, T., “The assessment of dental anxiety: its relationships with trait anxiety, state anxiety, and nasal skin temperature”, *Pediatric Dentistry Journal*, pp. 45-59, 1998.
- [12] 松尾 太加志, “コミュニケーションの心理学 認知心理学・社会心理学・認知工学からのアプローチ”, *桜風舎*, 1999.
- [13] 入來 正躬, “体温生理学テキスト～わかりやすい体温のおはなし～”, *文光堂*, 2003.

- [14] 藤田 英徳 & 西本 一志, “Lovelet: a heartwarming communication tool for intimate people by constantly conveying situation data”, *CHI '04: CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 1553, 2004.
- [15] 岩井 大輔, 佐藤 宏介, “Thermo-Painter: 熱画像と熱メタファによるインタラクティブ描画システム”, *インタラクシオン 2004*, pp. 21-22, 2004.
- [16] 大垣 裕美, 柴田 樹, 黒田 和宏, 小林 敦信 & 奥出 直人, “家のセンサ情報を「ぬくもり」として共有する団欒支援デバイス 『ぬくぬくキー』”, *インタラクシオン 2005*, pp. 179-180, 2005.
- [17] Kumiko Kushiyama, Momoko Inose, Rie Yokomatsu, Kinya Fujita, Toshiie Kitazawa, Mototsugu Tamura & Shinji Sasada, “Thermoesthesia: about collaboration of an artist and a scientist”, *SIGGRAPH '06: SIGGRAPH 2006 Sketches*, 2006.
- [18] 福井 健太郎, 林 剛史, 山本 翔太, 重野 寛 & 岡田 謙一, “脳波計を用いたアバタの表情変化手法”, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.11, No.2., pp. 205-212, 2006.
- [19] 勝田 恒士郎, “存在感を生み出すコミュニケーションツールの提案 ぬくもりコミュニケーション”, *九州大学芸術工学部 2007 年度卒業研究*, 2008.
- [20] 鳴海 拓志, 赤川 智洋, ソン ヨンア, 谷川 智洋, 桐山 孝司 & 廣瀬 通孝, “Thermotaxis: 冷温感覚の提示による行動誘導”, *SIGGRAPH 2009 Poster*, 2009.
- [21] Mutsuhiro Nakashige, Minoru Kobayashi, Yuriko Suzuki, Hidekazu Tamaki & Suguru Higashino, ““Hiya-Atsu” media: augmenting digital media with temperature”, *CHI '09 Proceedings of the 27th international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 3181-3186, 2009.
- [22] 岩崎 健一郎, 味八木 崇 & 暦本 純一, “AffectPhone: 生体情報を利用した電話機型プレゼンス提示装置”, *インタラクシオン 2010*, デモ発表, 2010.
- [23] 馬場 哲晃, 土井 幸輝 & 串山 久美子, “冷温提示を利用したビデオゲームインタラクシオンの試作”, *インタラクシオン 2010* デモ発表, 2010.
- [24] 荒川 みなみ, 米山 修史, 越野 大晴, 高橋 一磨, 矢嶋 洋介, 水谷 竜也, 富坂 壮, 高橋 未由希, 細川 泰佑, 小谷 梓, 中川 権一 & 山下 清美, “素直な気持ちを触覚を通して伝えるコミュニケーション支援”, *インタラクシオン 2010*, デモ発表, 2010.
- [25] Wonjun Lee & Youn-kyung Lim, “Thermo-message: exploring the potential of heat as a modality of peripheral expression”, *CHI EA '10: Proceedings of the 28th of the international conference extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 4231-4236, 2010.