

# バーチャルペットセラピーにおける熱触覚刺激の導入による心理的効果への影響

## Psychological Effects of Thermal Tactile Stimulation on Virtual Pet Therapy

精密工学専攻 28号 高橋秀樹

Hideki Takahashi

### 1. はじめに

近年、三次元空間での仮想環境を生成するバーチャル・リアリティ(Virtual Reality: VR)は様々な分野で応用されている。VR技術をアトラクションや映像技術に利用する一方、VR空間の持つ利点や特性などを用いた研究も活発に進められている。その中の一つとして現実感向上とそれによる影響の調査が挙げられる。ここでいう現実感とは実際に目の当たりにする感覚<sup>(1)</sup>のことである。VRを扱う中でこの言葉は非常に重要な意味を持つ。現実感が向上することで、例えばVRでの映像体験によって迫力あるアトラクションを設計する、シミュレーションを行う際により緊張感と質の高い経験をえられる<sup>(2)</sup>、という利点が挙がる。従来のシミュレーションなどと比べより現実味を帯びた体験を得ることが可能となったといえる。

この現実感を向上する手段はいくつか存在する。そのうちのの一つとして一人称視点と視点の移り変わりを再現したものがある。現在主流で使われているヘッドマウントディスプレイ(Head Mounted Display: HMD)と呼ばれるゴーグル型装置では現実の頭の位置を捉えることで視点の移り変わりを再現している。また人の体の動きをセンサやモーショントラッカーなどで取得することで実スケールでの身体動作をVR空間に持ち込むことも可能となっている。一方、提示する情報を複数組み合わせる方法も存在する。映像で表示された自身の手に物体が乗った際に現実の手に風を当てることでVR上の物体が手に乗ったと認識といった方法である<sup>(3)</sup>。この研究では提示される情報を組み合わせることにより現実で想定される刺激と大きさや種類が異なっても視覚からの情報に認識が引っ張られることでその他の刺激に対する認識に変化を与えることを目指す

またVR技術を用いた研究にはシミュレーションや心理物理量への働きかけとは異なり、精神面への働きかけに着目した研究も存在する。VR技術のメリットの一つに空間の再現性が挙げられ、VR空間の設計や風景などはシステムが許す限り自由に作ることができる。VR空間内で開放的な空間や自然の中にいる体験などを体験することでストレス軽減を行う研究や<sup>(4)</sup>、恐怖症に対する暴露療法として制御の難しい生物や危険な高所の追体験など<sup>(5)</sup>現実ではすぐに見ることができない風景や状況、行うことが危険な状況や物体を再現することも可能である。現在私たちの研究室ではこれに関する研究としてバーチャルペットアシステッドアクティビティ(Virtual-pet Assisted Activity: VAA)というものを開発した<sup>(6)</sup>。これはVR空間内で仮想の犬(以降VRペット)を用いることでアニマルセラピーにより得ることのできる高い心理的効

果の取得を目指す研究である。先行研究の結果より、このシステムを短期間使用することで心理的利点の獲得が可能であることを確認している。しかしこのシステムでは触覚情報への情報提示に現実との差異が存在する。現実では実際の犬に触れた時には反力や温かさなどを知覚できるがVAAシステムではコントローラを介した振動刺激による情報提示が行われる。現実の情報との大きな差異はVRに対しての現実感を減らし、心理的利点獲得の阻害に繋がる可能性がある。裏を返せばこの差異を減らすことによって心理的利点の効果が増加すると予測できる。そこで本研究ではVAAでのインタラクションに触覚刺激を導入し心理的利点の獲得を目指す。導入する刺激には視覚情報から心理物理量が想起しやすい熱触覚刺激を用いる。方策としてグローブ型の熱提示装置を装着しインタラクション中の接触と同期させ温度提示を行う。これによりVRに対しての現実感を高め、心理的利点の獲得を目指す。

### 2. 熱触覚刺激の知覚と認識

#### 2.1 刺激の認識

人が物体などを認識するには次の認知機能<sup>(7)</sup>と呼ばれる手順を行う。まず感覚・知覚し、それらを記憶する。その情報を基に過去の情報と照らして思考し、言語の使用や注意を行う。これらから人の持つ記憶へ働きかけることで物体や状況に合わせた情報を人に認識させることが可能といえる。これらは先行研究で述べた内容とも一致する。人に情報提示を行う際、実際の現象と異なる物理量を知覚しても、人がその現象と認識することで知覚する心理物理量も認識された現象に沿った量として認識される。今回作成した熱提示装置では現実で知覚できる実際の物理量を提示することは難しい。そこでシチュエーションやタイミング、他の刺激情報などを組み合わせることで人の認識に働きかけより現実感の高い物体として認識させることを目標としている。

#### 2.2 熱触覚刺激

人が物体に接触する際、触覚刺激は大きな存在となる。これは力覚、温覚、圧覚などいくつかの感覚として分類でき、物体の持つ力学的情報として重要なものである。今回私が着目した感覚は温覚である。VRにおいて複合刺激の提示を行う研究は数多く存在するが、温覚に着目した研究は、VR空間での気候状況に合わせ温熱と風力での刺激を提示し現実感への影響を調査するもの<sup>(8)</sup>や、熱触覚刺激を提示するハプティクスベストを着てシミュレーションを行う<sup>(9)</sup>など受動的接触に重きを置いたものが多く、能動的接触を介してのインタラクションを行う研究は少ない。また温覚に対して、人は

視覚情報などを基に心理物理量を想像しやすいという利点がある<sup>(10)</sup>。赤ならば熱い、といったように単純な色情報から人も温度に関する認識を持つ。VR空間において視覚情報を事前に受け取っているため、この利点を生かすことでより現実感のある空間の表現が可能といえる。

### 2.3 熱提示装置

今回のシステムでは、インターフェースとして HMD と Figure. 1 に示す熱提示装置を装着しインタラクションを行う。

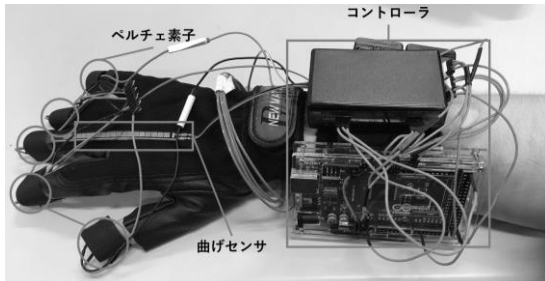


Figure. 1 Heat presentation device

この熱提示装置は前述したようにグローブ型の装置であり、手の位置をトラッカーにより計測している。従来では VR ペットを撫でる際にはコントローラを握りこみ、VR 上でもコントローラの見目で撫でていたが、現実での手の動作と近い動きでインタラクションを行うことが可能となった。この装置は指先に熱電素子を取り付け、電圧を制御することで発熱、冷却を行う装置である。今回は発熱素子としてペルチェ素子を用いる。この装置はかかる電圧を制御することで素子面の熱量を表裏で移すことができる。入力には温度変化量を指令値とし、一次関数で与える。また電流の向きを変えることによって発熱面と冷却面を変えることができる。この特性により接地面を変更しなくとも温度の上昇、低下を知覚させることができる。素子の特性は一次遅れ系であり、次式(1)となる。

$$G_p(s) = \frac{9}{14s + 1} \quad (1)$$

発熱素子を取り付けた装置の回路図は下図となっている。

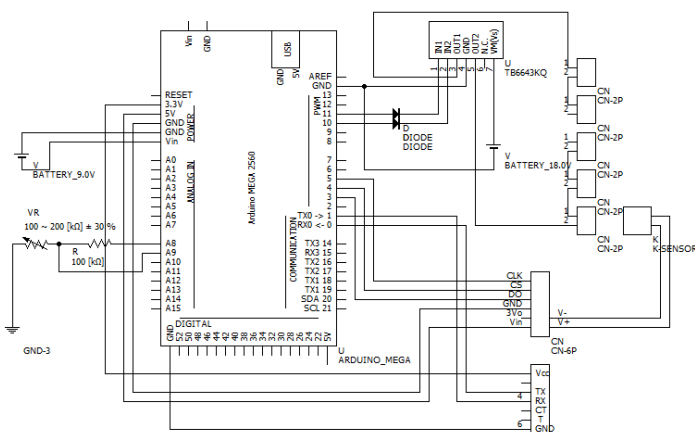


Figure. 2 Circuit diagram

実験中では VR 空間に存在する特定の物体(以下、仮想熱源物体)ごとに目標の温度変化量が設定されている。パラメータの値は以下 3.2 章で述べており、時間ごとの入力を制御することで温度パラメータに従った出力を行う。提示される温度

は人が装置に接触し等温となるところから変化する。本研究では特定の温度を目指すのではなく、どれだけの変化量を提示できるかに重点を置いているためである。

また後述するインタラクションの「ボールを投げる」動作のため、掴む動きを取得できるように曲げセンサを導入している。センサが曲がるに従い抵抗値が変わるものであり、変化を読み取って手が掴み動作をしているかを判定している。

これらは全て Arduino Mega に接続され制御されている。温度と曲げセンサの値を Bluetooth 通信でパソコンに送信し、また VR 空間での接触などの情報を受信している。

### 3. VAA システム

現在開発されている VAA システムについて説明する。アニマルセラピーによって取得するセラピー効果を VR 空間内でも取得することを目指した研究である。アニマルセラピーは動物と触れ合うことで安らぎを得る、ストレスが軽減するという効果があるといわれているものの、実際に病院で扱うとなると衛生面などの点で使用が難しい、飼育面において費用が掛かるといった問題点が挙げられる。それらを解決するため開発された PARO<sup>(11)</sup>は学術的に有用であると証明されている。しかし PARO は医療・介護福祉施設などでの使用が想定されており、身体動作による生理的利点確保が難しいという問題がある。そこで VR で実スケールによる VR ペットとのインタラクションを行うことでセラピーの向上を行っている。ここでいうセラピー効果とは人を元気づけ、動機づける心理的効果、ストレス軽減や血圧、脈拍を安定化させる生理的効果、話題作りの媒介となる社会的効果を指す。

#### 3.1 インタラクション内容

今回使用するインタラクションで手を用いるものは「VR 犬を撫で続けると横たわる」「ボール遊び」である。いくつか実装されている機能の中でこれらを選んだ理由は物体との接触が想定される内容のためである。アニマルセラピーでは犬と触れ合う、一緒に遊ぶことでセラピー効果の取得を行う。よって VR 犬や他の仮想熱源物体と触れ合う際に熱触覚刺激を提示することでインタラクションにおける質も向上することが予想できる。これらのインタラクションは手首に取り付けるトラッカーと上述した曲げセンサにより手首の位置、掴み動作の判定を行うことで実装する。また手を用いないインタラクションとして「しゃがむと寄ってくる」ことができる。これにより VR ペットが遠くにいても撫でるために呼ぶことができる。

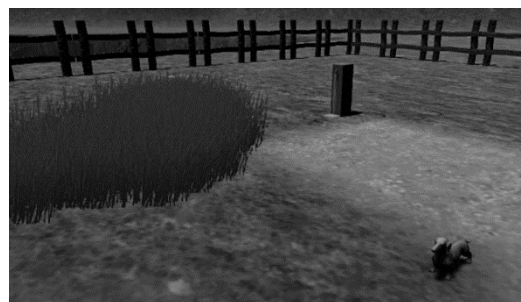


Figure. 3 Appearance of VR space

### 3.2 仮想熱源物体のパラメータ設計及び実験

本研究で仮想熱源物体として用意しているものは以下の4つである。それぞれの物体を決定した理由として、VAAでのインタラクション対象、環境に存在することが不自然でない、インタラクション対象と比較しやすいため決定した。また環境的な温度の提示として、今回は装置装着時の指先の温度(以下、初期温度)を基準値とし、空気物体に触れていると設定した。仮想熱源物体に触れた際の温度パラメータには温度変化量と時定数による応答性を用いた。ここで、実際に人に提示する温度パラメータを決定する必要がある。その要件を今回は、仮想熱源物体に触れた際に違和感が少ないこと、及び物体ごとの温度提示による違いが認識できることと決定した。

仮想熱源物体ごとの違和感の少ない温度提示パラメータを決定するため実験を行った。提示する温度刺激のパラメータは前実験より要件2を満たしたものとなっている。実験中ではVR空間内でそれぞれの物体に接触するたびに温度提示によるフィードバックを行い、また特定の物体から離れるたびに温度提示される前の温度へ戻すように制御される。

Table 1 Parameters for each object

パターン	VR ペット		芝生		空気		水	
①	+3.0	3.0	-1.0	5.0	0.0	0.0	-3.0	1.0
②	+3.0	1.0	-1.0	3.0	0.0	0.0	-3.0	3.0
③	+5.0	3.0	+3.0	5.0	0.0	0.0	-5.0	1.0
④	+5.0	1.0	+3.0	3.0	0.0	0.0	-5.0	3.0
単位	[K]	[s]	[K]	[s]	[K]	[s]	[K]	[s]

実験は被験者22~24歳男性5人で行った。温度変化量[K]と時定数[s]の値で分けたTable 1のパターンによる温度提示を行い、5段階のリッカー尺度による違和感の程度をアンケート回答から得たところ、以下ようになった。

Table 2 Determined parameter

物体	VR ペット	芝生	空気	水
変化量 [K]	+3.0	-1.0	±0.0	-5.0
時定数 [s]	3.0	3.0	0.0	3.0

それぞれの回答をまとめた結果、共通する内容として時定数がある程度遅いほうが、違和感が少ないという結果となった。現実での接触を考えればすぐにも温度変化を最大まで到達させたほうがよいと予想できるが、実際の回答では異なるものとなった。回答理由では反して急激な温度変化に対し驚きや違和感といった回答があり、考察として現実の物体には触れていないという認識から、温度変化を認識する行為に時間がかかったためと考えることができる。以上より、VAAでの実験ではTable 2での温度パラメータを用いて行う。

## 4. VAA への熱触覚刺激導入による動作検証

本実験ではVAAでのインタラクションや仮想熱源物体との接触時に熱触覚刺激を導入し心理的利点の獲得を目指す。

### 4.1 実験設定

本実験では、熱触覚刺激の導入による対照実験を行う。被験者はHMDと熱提示装置を装着し実験を行う。被験者は熱

触覚刺激有り無し計2回実験を行い、それぞれの評価を回答する。

被験者は初めに実験装置とVR空間内の仮想熱源物体、行えるインタラクションの説明を受ける。その後各装置を取り付けVR空間への導入を行う。VRペット以外の仮想熱源物体の配置はFigure.4とする。初めに練習として、被験者には熱触覚刺激のない条件で仮想熱源物体への接触、3.1で述べたインタラクションが行えることをそれぞれ一度行い、設計したVR空間の特性を確認してもらう。その後手を用いるインタラクションをそれぞれ最低1回、計4回行う。4回行う理由として、インタラクションに慣れVRへの真新しさを排除するためである。実験は二つの条件を練習と本番それぞれ連続で行う。順序効果を避けるため熱触覚刺激の有無の順番はランダムで行う。またインタラクションごとに1分の休憩として周りの見回り動作を行う。装置の特性上、連続での温度変化を行うと温度出力のパフォーマンスが低下するためである。

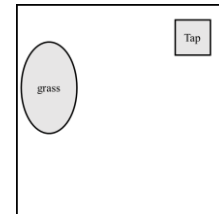


Figure.4 Designed VR space

評価内容では心理的効果の計測として主観評価と客観評価、熱触覚刺激導入によるVAAでのインタラクションに対する感性的印象を評価する。まず主観評価による心理的効果の計測にはWatsonらの提案するポジティブ感情(PA: Positive Affect)とネガティブ感情(NA: Negative Affect)の二因子分析であるPANAS<sup>(12)</sup>を実験開始前と練習後、本番終了後の計3回計測する。また客観評価として、心拍の計測を行う。計測タイミングとして練習後と本番後で行う。また現実感への影響を測定するため、Table 2に示す内容をリッカー尺度による5段階評価での回答を得る。

Table 3, Questionnaire

Adjective pair	
Pleasant	Discomfort
Like	Dislike
Nature	Artificial
Itchy	Painful

今回は実際に熱触覚刺激を導入したことによるシチュエーションに沿った温度提示が有用なものかを検証する。本番と同じ実験手順によって温度提示を行った際に目標とする温度パラメータが制御できているかを検証する。また実際の実験と同手順であるため上述した評価を用い心理的効果への影響を調査する。

### 4.2 結果と考察

被験者は20代の学生2人で行った。初めに目標とする温度の入力値と実際の出力値をまとめた結果を載せる。入力値と出力値の差を見ると、まず温度提示のタイミングは入力値

と同じタイミングで行われていることが分かる。このことから熱触覚刺激の提示タイミングに関して、狙い通りの物となっていることが分かる。また温度の変化量に関して、VR ペットを触れた場合(初めの温度変化)では人の初期の指温度から変化し、空冷後元の値に戻っているが、2回目以降の温度変化では初期の指温度に戻らず一定の温度を維持している。今回初期温度に戻す方法として、装置を空冷する方法をとっている。そのためインタラクション中の人の体温が変化した場合に初期温度に戻らないことが起こりうる。しかしながら、これまでの実験を通じて1 Kの温度変化は熱触覚刺激から受ける印象への影響は小さいことが確認されている。

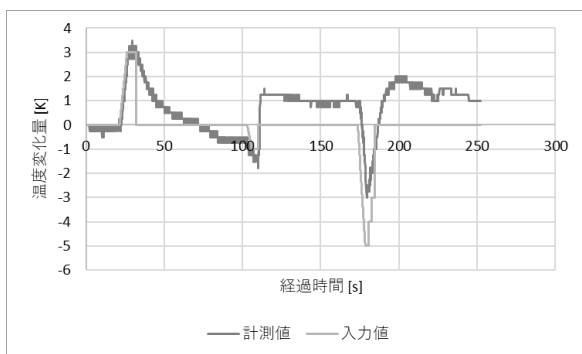


Figure.5 Input and output values of temperature

以上よりこの装置は狙いとした温度提示が可能な装置であるといえる。

また PANAS による心理的効果に対する主観評価を載せる。この値は最大 60、最小 10 点で示される。

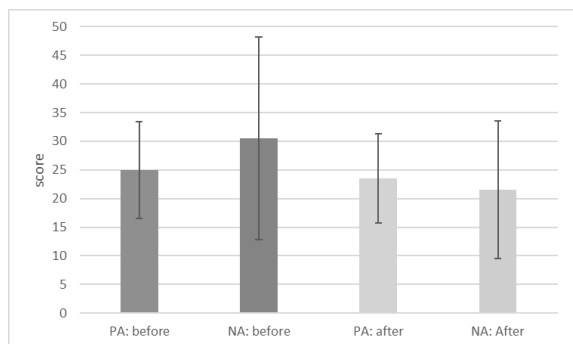


Figure.6 No thermal tactile stimulation

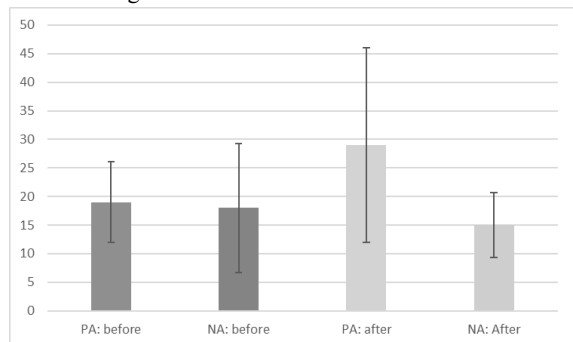


Figure.7 Thermal tactile stimulation

Figure.5~7 がそれぞれ練習後、熱触覚刺激なしでの本番前後、熱触覚刺激有りでの本番前後の結果である。熱触覚刺激なしでは NA の値がいくらか減少していることが分かる。一方熱触覚刺激有では PA の値が上昇していることが読み取れる。

フィードバックが存在することで VR への没入感が増し、VR 空間での経験がより意識されたため、PA の値が示す幸福感へ影響したと推測できる。

## 5. 終わりに

本研究では心理的利点の獲得を目指す VAA システムに熱触覚刺激によるフィードバックを導入し、狙いとした温度提示が可能かを検証した。熱触覚刺激を提示するグローブを装着し上述するインタラクションを行うことで評価を行った。結果より、本システムにおける熱触覚刺激において、温度パラメータの提示が実験でのシチュエーションにおいて可能であることを確認した。心理的効果における主観評価について少ない被験者数であるが幸福感の獲得につながる可能性が示唆された。

今後の課題としてより多くの被験者を募り、心理的効果に対しどのような影響が表れるかを調査する必要がある。また心理的利点獲得を目指した場合、フィードバックする存在が全てに必要なのか、また提示すべき特定のオブジェクトが選定できるかが課題といえる。

## 参考文献

- (1) 日本大辞典刊行会, 日本国語大辞典, 小学館, 1979.10-1981.4, p.1809
- (2) 小林大吉, 加藤孝明, 河原大, 志村泰知, 江田敏男, “VR (仮想現実) を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性” 地域安全学会論文集 No.31, 2017.11
- (3) 盛川浩志, 太田文也, 金相賢, 河合隆, “現実空間での身体状況が仮想空間の接触感に与える影響”, TVRSJ Vol.21 No.4 pp.617-625, 2016
- (4) Sherazade Shunnaq, Mateus Raeder, “Virtual Phobia: A Model for Virtual Therapy of Phobias”, 2016 XVIII Symposium on Virtual and Augmented Reality
- (5) Atul Taneja, Vishal S.B, Mahesh V, Geethanjali B, “Virtual Reality based neuro-rehabilitation for mental stress reduction”, 2017 4<sup>th</sup> International Conference on Signal Processing, Communications and Networking (ICSCN-2017), March 16 – 18, 2017, Chennai, INDIA
- (6) 深田潤, “実スケール身体動作がバーチャルペットに与える影響”, 中央大学大学院 理工学研究科 精密機械専攻 修士論文, 2018.
- (7) 御領謙, 菊地正, 江草浩幸, 伊集院睦雄, 服部雅史, 井関龍太, 最新認知心理学への招待: 心の働きとしくみを探る, サイエンス社, 2016.10, p.6
- (8) Nimesha Ranasinghe, Pravara Jain, Shienny Karwita1, David Tolley, Ellen Yi-Luen Do, “Ambiotherm: Enhancing Sense of Presence in Virtual Reality by Simulating Real-World Environmental Conditions”, CHI '17: Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, May 2017 Pages 1731–1742
- (9) Gonzalo Garcia-Valle, Manuel Ferre, Jose Breñosa, David Vargas, “Evaluation of Presence in Virtual Environments: Haptic Vest and User’s Haptic Skills” IEEE Access (Volume: 6), December 11, 2017, 7224 - 7233
- (10) Zhen Jia, Jianqing Li, Congyan Chen, “Design and Evaluation of a Thermal tactile Display for Color Rendering”, International Journal of Advanced Robotic Systems. Nov 16, 2015, p1, 10 p.
- (11) Takanori Shibata, “Therapeutic Seal Robot as Biofeedback Medical Device: Qualitative and Quantitative Evaluations of Robot Therapy in Dementia Care”, Proceedings of the IEEE, Volume 100, Issue 8, (2012) pp. 2527 - 2538.
- (12) Watson D, Clark LA, Tellegen A, “Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales.”, Journal of Personality and Social Psychology, 54 (1988) pp. 1063 - 1070.