

ThermOn- 温冷覚呈示による音楽の情動性拡張 メディアインタフェース

秋山史門^{†1} 佐藤克成^{†1} 牧野泰才^{†1} 前野隆司^{†1}

本研究では、音楽に合わせて温冷刺激を呈示することにより音楽の情動性を拡張するインタフェース、ThermOnを提案する。温度感覚は、純粋に温度や材質、危険などのモノの性質や特徴を知る以外にも、心情や快感に大きく影響する感覚である。そのため、同じく感情への影響が大きいメディアである音楽との相性が高く、融合による相乗効果が期待できる。プロトタイプとしてペルチエ素子を組み込んだヘッドホン型デバイス、抵抗を用いたイヤホン型のデバイスを作り、ユーザテストを行った。その結果ThermOnは、音楽の印象を変える、快感を与える、意識(集中)の方向を変える、などの効果があることが定性的に示された。

ThermOn- A Novel Thermo-musical Interface for an Enhanced Emotional Experience

SHIMON AKIYAMA^{†1} KATSUNARI SATO^{†1}
YASUTOSHI MAKINO^{†1} TAKASHI MAENO^{†1}

This report proposes a novel media system- ThermOn, which enables users to feel hot and cold sensation on their ear while listening to music. Thermal sense plays significant role not only in recognizing environments but also influencing emotions. By employing thermal sense in music experience that also greatly affects human emotions, we successfully created a new media of unprecedented emotional experience. Two types of prototype were implemented -headphone and earphone-, and the user experience tests showed that ThermOn serves to change the impression of music and concentration towards it, and provide comfortable feelings.

1. 緒言

ヒューマンインタフェース技術において、デバイスの使用感向上や、4Dシアター[1]-[2]などバーチャルコンテンツのリアリティ向上の目的で触覚刺激が利用されている。その多くは、振動を利用したものであるが、中には「温度」を用いたインタフェースもある。例えば串山らは、Thermoesthesia[3]というシステムを開発している。これは、スクリーンに映し出された画像に合わせてスクリーンの温度を変えることで、人が振れた画像の変化を視覚と温冷覚の両方を通じて体験できる視触覚メディアアートである。また、岩井らのThermoRetouch [4] というシステムでは、温度変化をスクリーンに与えることで熱情報により描画作業が可能であり、心理マッピングに基づいた画像描画の支援が行える。これらのインタフェースでは温冷覚と視覚とのクロスモーダル効果を利用することで、体験者の感性に働きかけるアートメディアを実現している。

一方で我々は、温冷覚と聴覚とのクロスモーダル効果を利用した場合においても同様に、人の感性に強く働きかけるインタフェースを実現できると考える。温度感覚が日常生活で果たす役割や価値を考えると、モノの性質や状態を伝えること(純粋な温度、材質、危険など)、が基本にある



図 1 ThermOnのコンセプト。

が、(b)感情や心情、快感に影響を与える、ということが重要な要素としてある。例えば、Barphらによる研究[5]では、温かいコーヒーを手を持つという物理的な温度刺激存在により、会った他の人に対して優しいという印象を持ちやすくなり、また利他的な行動をしやすくなるという、心理的に穏やかになる傾向がわかっている。温度刺激と同様に、ヒトの心情に深く影響するものとして「音楽」が存在する。音楽は、ヒトがリラックスしたい時や気分を盛り上げた時など、日常生活において様々な状況で、感情と関連づいて利用されるメディアである。音楽と触覚を組み合わせたインタフェースには、振動が伝わる椅子によってより音楽の体験をより豊かにしようと試みた Emoti-chair[6]がある。これに対し温度は、「感情/心情に働きかける」という共通点において、振動よりも音楽との相性が良く、新たな情動拡張メディアを実現できると考える。

そこで本研究では、音楽の文脈に合わせて温かさ・冷た

^{†1} 慶應大学
Keio University

さを呈示するシステム, ThermOnを提案する. そのプロトタイプとしてヘッドホン型・イヤホン型デバイスについて述べたのち, ヘッドホン型を用いたユーザテストの結果について報告する.

2. コンセプト

ThermOnシステムのコンセプトを図1に示す. 音楽を鑑賞する際に, 所望のタイミングにおいて温刺激, ないし冷刺激を与える. これによりリスナーは, 音楽と共にその変化に連動した温度変化を体験できる. このシステムがもたらす便益は主に2つある. 1つは音楽を鑑賞するリスナーが, 音楽と同時に温度変化を体を感じることで, 音楽のみの場合と異なった心地よさや情動への影響を受けることである. そしてもう一方は, 音楽の制作者であるアーティストが, 自分の音楽の表現の幅を, 1つ次元が増えることで, より豊かに広げられるようになることである. 例えば, 1つのアプローチとして, 曲のサビの部分において温度の刺激を与えることで盛り上がりを増強することや, 逆に曲の文脈と関係のなく複雑に温度を変えることで, 荒ぶる印象を加えることなどが可能になると考える.

音楽鑑賞のシーンは多岐にわたるため, 4Dシアターなどのようにエアコンや熱風により環境から温度を操作する手法や, ヘッドホンなどのウェアラブルインタフェースにより皮膚の温度を直接操作する手法などが考えられる. 本研究では, 家庭や外出先などより多くの場面において応用可能である, ウェアラブルインタフェースより個人の耳の皮膚に直接温度を呈示する手法を採用する.

3. プロトタイプ

3.1 ハードウェア(デバイス)

プロトタイプとして, ペルチェ素子を用いたヘッドホン型デバイスと, より簡易化を狙った電気抵抗を用いたイヤホン型の2種類を作成した.



図2 ヘッドホン型のシステム構成.

a. ヘッドホン型(左), b. イヤホン型(右)

(1) ヘッドホン型デバイス

温度を呈示する機構については, 熱風や光, 熱電素子, 化学試料など様々な方法が考えられるが, 制御が比較的容易であり所望のタイミングで呈示できること, 温・冷が双方扱えることから, ペルチェ素子を採用した. 装置の外観は図2の通りである. 呈示部位については, 耳の周囲で様々な箇所を予備実験により試した結果, 直方体のペルチェ素子が当たっても痛くなく, かつ温度を感じる上で十分な面積と感度のある部位として, 耳珠の内側を選択した. この位置に温度変化部が当たるように, ヘッドホン内部に, ヒートシンクを取り付けた20mm四方のペルチェ素子(日本テクモ)を実装し, その表面に温度計測用のサーミスタ(石塚電子, 103JT-025)を貼付けた. また, システム構成を図3に示す. 温度呈示系では, サーミスタから取得した耳-ペルチェ境界温度 T と目標温度 T_{ref} の偏差からPD制御に基づき出力電圧を決定し, Arduino NanoにてPWMにより電圧を出力, モータドライバを用いてペルチェ素子への電流量と向きを制御した. 音楽については, PCのイヤホンジャックから出力し, 温度呈示とのタイミングはProcessingを用いて制御した.

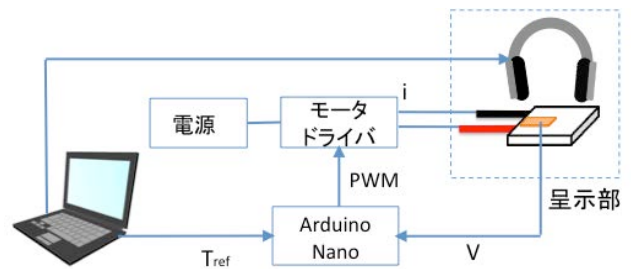


図3 ヘッドホン型のシステム構成.

(2) イヤホン型デバイス

体験の質を重視した, 温冷ともに扱うことができるペルチェ利用型(ヘッドホン型)デバイスに対し, 温刺激しか扱えないが, AC電源などを必要としないポータブル性を維持した抵抗型(イヤホン型)デバイスを作成した(図4). この装置では, 電流を流した際の抵抗器の発熱を用いており, 冷却については自然放熱を以て行うこととした. 抵抗は 100Ω のものを片耳あたり2つ, 計4つ組み込み, これらを並列に接続した. サーミスタは抵抗表面に張りつけた. これらの上からイヤホンのラバーを被せているため, この分熱の伝導が遅れるかたちになっている. 電流の制御は, Arduino Nanodで生成したPWMによりトランジスタのスイッチングを操作することで行った.

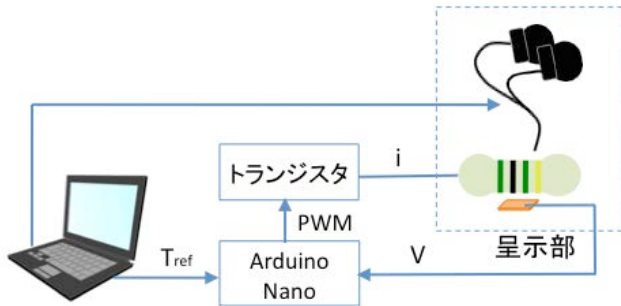


図 4 イヤホン型のシステム構成.

3.2 ソフトウェア (温度刺激モデル)

温度刺激モデルについては、呈示素子の機能が異なることから、各デバイスで異なる。ここでは主に、ペルチェ素子を用いたヘッドホン型のモデルについて説明する。

実際に呈示したい温度変化のプロファイル、つまり T_{ref} としてあたえる目標温度は、様々な仕様で決めうる。しかし、図5(a)のように、任意のタイミングで任意の温度変化を与える場合、刺激前の皮膚順応温がその時々で異なる。この場合、同じ温度変化でも皮膚の初期温度により異なった感覚が与えられてしまうという知見[7]より、感覚の再現性を保つのが困難である。そこで、温度刺激モデルをシンプルにするために、図5(b)のように基底となるベース温度を設け、常にこの温度から刺激が始まるようにし、刺激が終わると次の刺激までの間に、必ずベース温度に戻るような、台形型の刺激要素をデザインすることとした。

台形の刺激要素 (図6)は、(i)ベース温度から所望の温度まで温度変化を感じさせる刺激フェーズ、(ii)到達した目標温度を感じさせ続ける持続フェーズ、(iii)なるべく刺激が感じないようにベース温度に戻る終了フェーズ、という3つのフェーズから構成される。ここで設定すべきパラメータは5つであり、ベース温度 T_b 、温度変化幅 ΔT と、各フェーズの時間 Δt_1 、 Δt_2 、 Δt_3 である。これらについては、温度知覚に関わる過去の知見に基づき、次のように設定した[8]。

- 耳の順応温は26℃程の部屋でおよそ34-35℃であることから、ベース温度 T_b は34℃にした。
- ΔT は、30℃-36℃の無感温度帯でも温冷感覚を明確に生起させるために、可能な限り大きく、しかし痛覚が生じることがない温度として、3℃に設定した。
- Δt_1 は、温度変化の感覚が確実に生じるように、閾値となる温度変化率 $\Delta T / \Delta t_1$ が $0.1^\circ\text{C}/\text{s}$ より大きくなる時間として、2[s]とした。
- Δt_2 は、温度感覚を持続させる時間であり、状況に応じて任意に設定可能な変数とした。
- Δt_3 は、変化率 $\Delta T / \Delta t_3$ が $\Delta T / \Delta t_1$ に対し十分に無視できる程弱い感覚を与えるように、4[s]に設定した。

尚、イヤホン型については、積極的な冷却機構が存在しないために、冷却側(下向き台形)の刺激が行えないことと、終了フェーズ (Δt_3 の期間) が自然放熱となり任意に設定できないこと、の二点が制約として加わる。

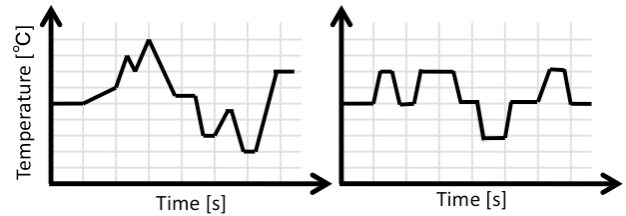


図 5 温度プロファイルの例.

(a. 自由な形で刺激 (左), b. 基底温度からの台形 (右))

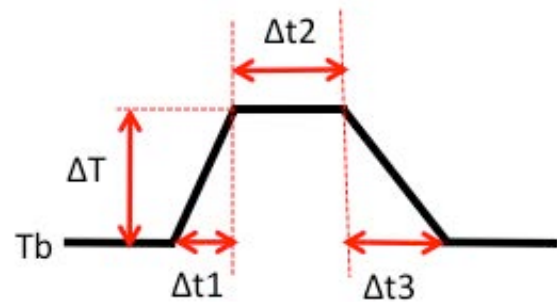


図 6 温度刺激要素のモデル.

4. ユーザー体験

ThermONシステムがもたらす効果を定性的に評価するために、オープンエンドな意見を求めるユーザー実験を行った。なお、実験にはヘッドホン型を利用した。

4.1 実験条件

4.1.1 被験者

被験者は、20代男性5名に無報酬で協力してもらった。聴覚や温度感覚に障害はない。

4.1.2 呈示刺激

本実験では、温度を呈示するタイミングとして曲の文脈を用い、曲の盛り上がり(サビなど)において温刺激を、静まりの部分で冷刺激を与えるという形式をとった。各温度刺激のタイミング、すなわち曲の盛り上がりと静まりは、著者らの主観に基づき決定した。曲には、盛り上がりの緩急の激しいものとして、Nirvanaの“Smells Like Teen Spirit” (Geffen Records)を利用した。設定した温度プロファイルと計測された温度変化を図7に示す。

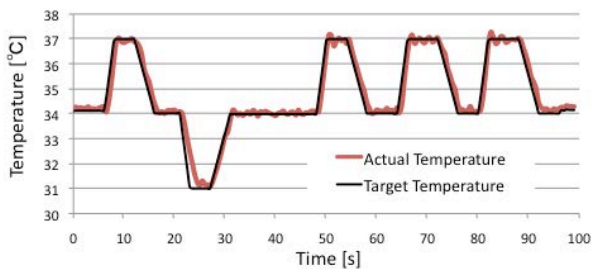


図 7 “Smells Like Teen Spirit” の温度プロファイル。

4.1.3 実験手順

室温は26°Cとし、始めに、温度プロファイルを呈示しない状態で曲を聞いてもらい、次に温度プロファイルを呈示した状態で曲を聞いてもらった。なお、被験者には、万が一気持ち悪さや、熱さを感じた際にはヘッドホンを取り外せるように、予め伝えた。被験者には、温度プロファイルの有無両方を体験した上で、これらを比較した際の感覚や意見について自由にコメントさせた。

4.2 実験結果

体験を通して得られた意見の、ポジティブなものやネガティブなものをそれぞれ以下に示す。

4.2.1 ポジティブ

- 「耳の温度が変わるのははじめての体験だけど、マッサージみたいな感じがしてもの凄く気持ちいい。」
- 「とてもテンションが上がる！ライブのような興奮というか熱量を感じる。」
- 「曲への集中力が上がる。外部から閉鎖されて純粋に音楽を楽しみたいときに良さそう。」
- 「激しい曲だから、温度が激しさに拍車をかけたけど、クラシックならリラックス感を増させそう。」
- 「サビの盛り上がりでエッジがかかって楽しい。」
- 「有機的で生命感のある感じがした。」

4.2.2 ネガティブ

- 「少し熱くて落ち着かない部分があった。」
- 「耳の温度変化がはじめての体験なこともあり、音楽に対して温度刺激が大きく目立って、曲から意識がそれてしまうこともある。」
- 「曲の急瞬な変化と同じくらい速く温度も変化するとうれしい。尖った印象が、温度の変化でかなり柔らかい印象になった。」
- 「曲と温度変化が一致していない部分があって少し違和感があった。」

4.3 考察

体験を通して得られたThermOnシステムの効果として、以下のようなものが上げられると考える。

- (i) 曲の印象の変化
- (ii) 快感の生起
- (iii) 集中や意識の変化

曲の印象の変化については、5名中4名が「ライブ」という言葉を自発的に発するなど、臨場感の向上という共通の効果がある。一方で、サビでの盛り上がりよりも尖ったと感じる人とかかなり柔らかい印象を受けたという人の両極端にわかれる面も存在した。印象の変化は温度プロファイルを付加する曲の文脈や、その人が予め持つ曲のイメージに大きく左右されると考えられるが、この自由度が、アーティスト側に音楽表現の多様性を提供し、リスナーに作品の解釈の多様性を提供できると考える。また、耳への温度刺激の呈示により、少し熱いと感じた1名以外の皆がマッサージのような気持ちよさを感じたとコメントを残している。これについては、温度プロファイルだけの寄与で音楽との組み合わせは関係ないのか、耳という位置が重要なのか、解釈ははっきりしていない。温度プロファイルのみを与えた場合や他の部位に与えた場合と、異なる条件下において実験を行うことで、今後明らかにできると考える。また、集中力についても3名から言及があった。温度があることでより曲に引き込まれ集中できるという者が1名いたのに対し、温度変化が新鮮で気持ち良いから曲より温度に注意がいくという者、少し熱いから温度に意識が向いてしまうという者がいた。まず、少し熱いと感じた点については、不快感を取り除くこと、そして音楽との刺激のバランスを取ることが、今後の改善点として大きな課題である。熱さを感じさせないためには、予めユーザー用にキャリブレーションをかける機能を導入することが対策として考えられる。また、刺激のバランスに関して、一般に異なる複数の感覚入力がある場合、それら各刺激の強度が大きく異なる場合に、一方に意識が集中する傾向がある。そのため、音量との兼ね合いでもあるが、適度な温度刺激強度を調整できる機能が必要であると考えられる。

5. 結言

感情や心情に強く訴求するインタフェースとして、音楽と同時に温冷刺激を与えるThermOnシステムを提案した。ペルチェ素子により耳部を温度変化させるヘッドホン型のプロトタイプによりユーザー体験実験を行ったところ、曲の印象に大きな変化がもたらされ、また心地良い快感が得られるとの声が報告された。今後は、曲の種類や、温度と曲の結びつけ方の違いによる効果を、多様な条件下において調べることで、システムの便益を詳細に調べる。また、個人に合わせた温度変化をキャリブレーションできる機能を負荷することにより、システムのパフォーマンス向上に取

り組む。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省グローバルCOEプログラム（環境共生・安全システムデザインの先導拠点）および特別研究員奨励費（課題番号23・5919）の支援を受けた。

参考文献

- 1) ACOUVE, VISIC4D- Theater System
http://www.acouve.co.jp/product/pd_s_4d.html
- 2) VANCOUVER AQUARIUM
<http://www.vanaqua.org/experience/shows/4-d-theatre-shows>
- 3) Kumiko Kushiyama, et al., : Thermoesthesia: About collaboration of an artist and a scientist, ACM SIGGRAPH 2006 Educators program Article No.23, (2006)
- 4) 岩井大輔, 佐藤宏介, : ThermoRetouch & ThermoModeler 熱感覚を利用した画像創作支援, 芸術科学会論文誌, vol. 6, No. 2, pp. 65-75, 2007.
- 5) Laurence E. Williams and John A. Bargh : Experiencing Physical Warmth Promotes Interpersonal Warmth, SCIENCE, Vol.322, pp.606-607, 2008
- 6) Maria Karam, et al.: The emoti-chair: an interactive tactile music exhibit, CHI '10 extended abstracts on Human factors in computing systems, pp.3069-3074, 2010.
- 7) Hensel, H., :Physiologie der Thermoreception, Ergebnisse der Physiologie, 47, pp.166-368, 1952.
- 8) Lynette A. Jones, et al., "Warm or Cool, Large or Small? The Challenge of Thermal Displays", IEEE Transactions on Haptics, Vol.1, No.1, pp. 53-70, 2008