Thermo Drawing:冷温提示による小型触覚ディスプレイを使用した温度描画システムの開発

串山久美子[†] ,土井幸輝[‡] 笹田晋司[††] 馬場哲晃[†]

"Thermo-Drawing" は温度感覚をインタラクティブに表示できる情報提示用小型ディスプレイを使用した温度のお絵かきができるシステムの提案である。国籍や年齢、視覚障害などのハンディキャップにかかわらない温度による触覚表現と情報伝達の可能性を提案した。

Thermo Drawing: Development of a Thermal drawing system using portable tactile interactive thermal display

KUMIKO KUSHIYAMA[†] KOUKI DOI[‡] SHINJI SASADA[††] TETSUAKI BABA[†]

"Thermo-Drawing" is an interactive thermal drawing system using Petier device. This system instantly captures existing photos and videos can be presented to the display image according to the temperature. This system has proposed that work experience unprecedented image and temperature.

1. はじめに

触覚は、人と人とのコミュニケーションの基本的な感覚として、視覚、聴覚に加え触覚情報に関する研究が期待されている。 "Thermo Drawing" は冷温温度感覚をインタラクティブに表示できる小型ディスプレイを使用したインタラクティブ温度描画システムである。（図1）9インチの小型化（80ピクセル）を成功させたことによって、これまでできなかった温度による文字の伝達や温度によるアニメーション表示が可能となった。

これまで筆者らは、本小型冷温ディスプレイへの画像の提示コンテンツとして、異なる面的なパターンの温度感覚刺激を手掌部に呈示できる細かい温度表示が制御できることによって触覚の錯覚である錯触についての提示をおこなった[1]。暖かいバーと冷たいバーとが交互に並んでいるグリルに触れたときに感じる熱痛覚のような錯覚を生じるサーマルグリルイリュージョンがあり皮膚を損傷することなく痛みを生成するためによく利用されている。これまでは、定位置に設定した冷温のバーを触る装置であったが、本研究によるディスプレイを使用することにより、冷温のバーを移動させるサーマルグリルイリュージョンを使用したアニメーション提示に2010年成功した。しかし、これまでの画像の提示方法は、あらかじめ画像をプログラムしたものしか提示できなかった。本論文では、冷温ディスプレイの説明と自分で描いた画やアニメーションが簡単に冷温提示できるような、どのソフトからも対応できる冷温提示方法を開発し、実装した例を報告する。

画像に合わせた冷温のインタラクションがある冷温表示できる画像表示装置として、アクセシブルでこれまでにない楽しい触れるディスプレイを提案する。

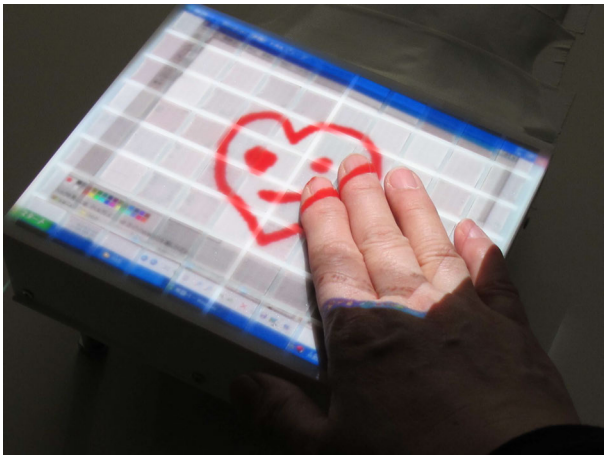

図 1 Thermo-Drawing 2011 9 インチディスプレイ

† 首都大学東京 システムデザイン研究科
Tokyo Metropolitan University
‡ 国立特別支援教育総合研究所
National Institute of Special Needs Education
†† 日本電子専門学校
Japan Electronics College

2.　先行研究

視覚，聴覚の活用を前提にしたインタフェースやデバイス機器の開発研究，視聴覚の感覚知覚に関する研究は，他感覚に比べて進展していると言われている[2]．一方で，皮膚感覚，とりわけ触覚の活用も徐々に進みつつある．とりわけ，感覚代行の観点から視覚障害者への支援において触覚が活用されているという実績は周知の事実である．具体的には，オプタコンや点字ピンディスプレイ等は知られている。近年積極的に研究が進められている触覚インタフェース・デバイスへの応用という側面においては，力触覚に着目した，超臨場感を志向した触覚フィードバックの研究が主流となっているが[3]、温度感覚の活用は今後の研究が期待される分野であると考える。

温度感覚のインタフェース・デバイスへの応用について，前野ら[4]のヒトの温度知覚特性を利用した温度提示手法の検討や梶本ら[5]の前腕部への触刺激に対する温度感覚の重畳の研究、また小林ら[6]らの温度覚による触図表現「温感触図」などがある。井野ら[7]は，ペルチェ素子を用いて物体接触時の皮膚温度変化パターンを指先に模擬してやることで，金属や木材のような材質感を呈示するディスプレイ・インタフェースの開発を行った。また，高山ら[8]は，水で濡れた物体表面に触れているかのような濡れ感の呈示に関して，指と物体間の熱流量変化及び指の接触面積変化に着目して評価を行った。しかし，温度感覚を活用したインタフェース・デバイスの開発研究はまだまだ少ない．著者らは，皮膚感覚の更なる有効活用を目指して，これまで十分に活用されていない温冷感覚について，感覚知覚特性を調べる研究を推進すると共に日常生活の中で情報提供の手段として有効活用ができるかどうか温度感覚を用いたインタフェース・デバイスの開発と研究を手掛けている．[9] [10][11][12]

3.　システム構成

システムは、冷温ディスプレイ部とディスプレイを動かす電源部、画像と制御をつかさどるＰＣ部と上部からディスプレイに投影する小型プロジェクターの構成からなる。

本研究は 15mm 角のペルチェ素子を 80 個使用することで、画素数と小型化を図り、表示ディスプレイとしての実装化に成功した。システム構成図と概観を図 2,3 に記す。

2.1 システム概要

15mm 各ペルチェ素子 80 個からなる冷温表示がインタラクティブに可能なディスプレイに絵を描きながら温度の体験ができるようディスプレイ面と描画面を離し、ペンタブレット（Wacom Bamboo Fun）を使用して描画できるようにした。冷温ディスプレイ上にはプロジェクターから画像が投影され、画像と冷温の位置がインタラクティブに同期するようプログラミングされている。

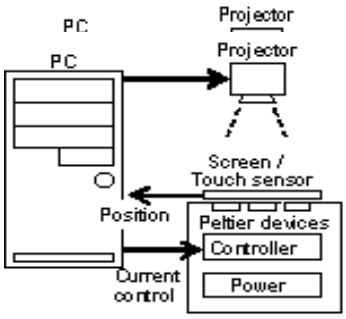

図2 システム構成図

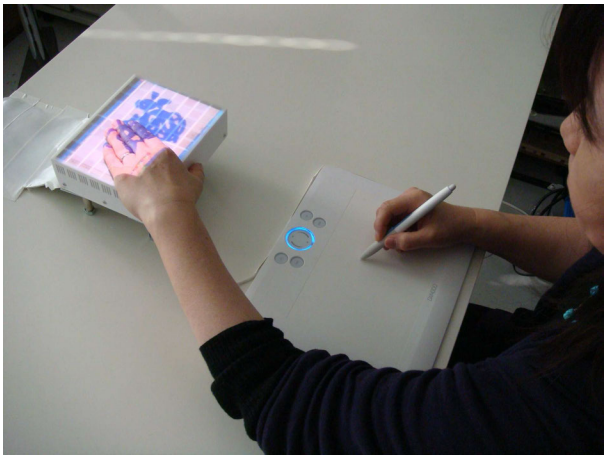

図3 システム概観

2.2 ディスプレイの設計

使用した主な材料の一覧を表に記す。ペルチェ素子は冷却、加熱面の切り替えが電流の切り替えによって可能な素子である。指先の接地面を考慮し一辺 15mm のペルチェ素子 8×10 列の 80 個を並べた図 4 のような 5cm の深さのあるオリジナルな 9 インチディスプレイを制作した。冷温提示に一遍が 15mm 角のペルチェ素子（FUJITAKA FPH1-3104-S4）8×10 列合計 80 個を使用した。ペルチェ素子を使用することで、冷却、加熱面の切り替えが可能である。

それぞれのペルチェ素子下部に冷温の熱を放熱するための放熱器（W15-25W）と DC ファン(HF-1508-5)を接

続し、1 個 1 個のペルチェ素子が急速に熱の放熱ができ、冷温個別に制御できるようプログラムされている。1 個 1 個が冷温個別に制御できるようプログラムしたことで、冷温の描画が同一画面で可能になった。（図 4）

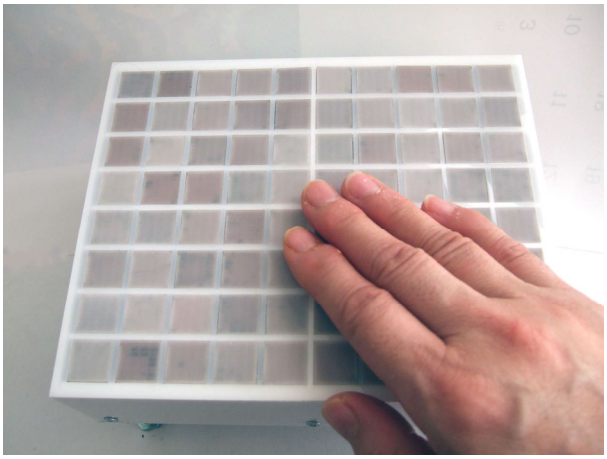

図 4　80 ピクセル　9 インチディスプレイ

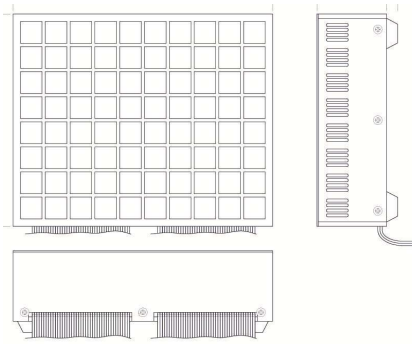

図5 ディスプレイ図面

使用した主な材料を表 1 に記す。

表1 冷温ディスプレイ部品

材料	型番
ペルチェ素子	FPH1-3104-S4
放熱器	W15-25W
DC ファン	HF1508-5

ディスプレイの断面図を図 6、実装した裏面と側面写真を図 7,8 に記す。各ペルチェ素子の間は、配線の都合 1mmとし、ディスプレイ画面に対する画素数をあげた結果、9 インチ相当のディスプレイ 80 ピクセルの小型冷温ディスプレイを実装した。熱が排気されるよう側面と裏面に排気口をもうけ、有効な熱伝達スピードを可能にさせた。ディスプレイの正面、裏面および側面は、埃と安全確保のため図 5 のアクリル板の外装を制作した。

温度提示は、室温 20℃時、冷 10℃―温 40℃　、冷温　100%, 75%, 50%, 25%, 0%の 5 段階の温度調整が可能なよう PWM 制御されている。

ノートＰＣでの制御も可能なようにＵＳＢを使用したデジタル I/O とした。全体にかかる消費電力使用コスト、省スペース化、重量が減り、より利便性の向上が得られた。

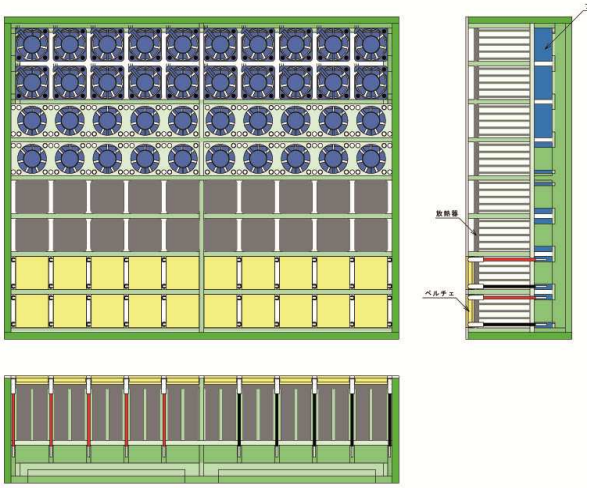

図 6　ディスプレイ断面図

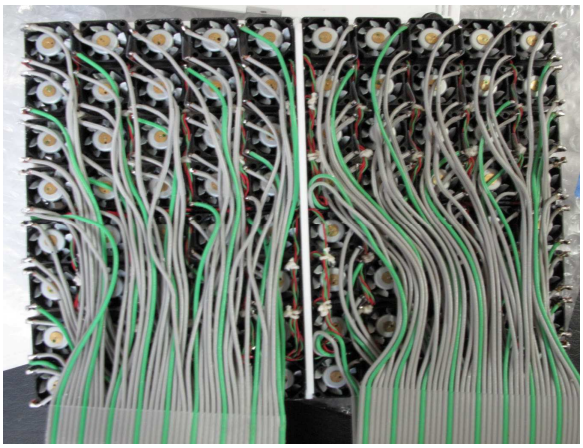

図 7 ディスプレイ背面

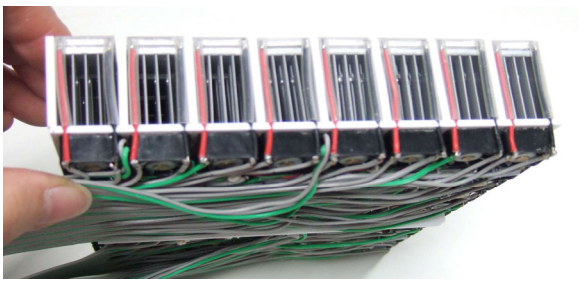

図 8 ディスプレイ側面

4.　画像処理

3.1 画像処理概要

画像生成部は、ペンタブレットからの画像の位置と色情報を 0.5 秒ごとに BitBlt 関数を使いコンピュータ上の画面をキャプチャし、色情報を温度情報に変換してディスプレイ部分の温度を制御している。Bitblt 関数とは、画面表示に用いられるビットマップイメージを、メインメモリからグラフィックスメモリへと転送する関数のことである。キャプチャした画像を RGB に分解し、画素の色情報から、冷温の信号に直して、イベントに送っている。Red の値が大きければ温かく、Blue の値が大きければ冷たくなる。コンピュータ画面をプロジェクターによって上部からテーブル面に向けて投影する。画像生成には C 言語を使用し、冷温感覚に連動したリアルタイムの映像を提供している。

3.2 コンテンツ

3.2.1 描画ドローイング

コンピュータ上の画面をキャプチャするため、描画するためのソフトは、既成の描画ソフトが使用できる。図 9 は、Windows 付属のペイントを使用した例である。描いた絵の色に合わせ、冷温表示がされている。

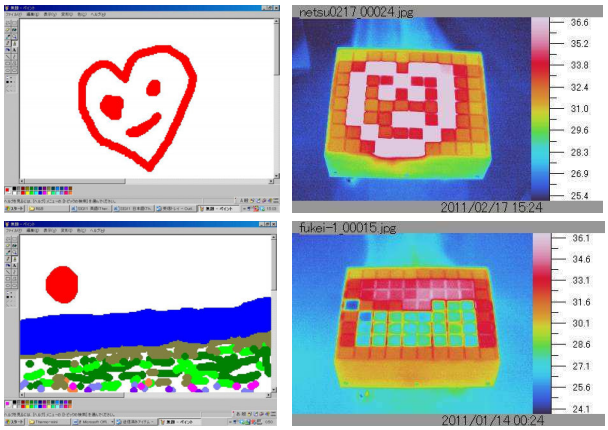

図 9　Windows ペイント　描画ソフトを用いた例

3.2.2 アニメーション

コンピュータ画面に映し出されたものの色をキャプチャするので、さまざまなアニメーション動画にも温度情報を付加することができる。図 10 は、赤・青のアニメーション動画の実験例である。温度の移動がアニメーションと同期し、新しい温度によるアニメーション表現を提案している。

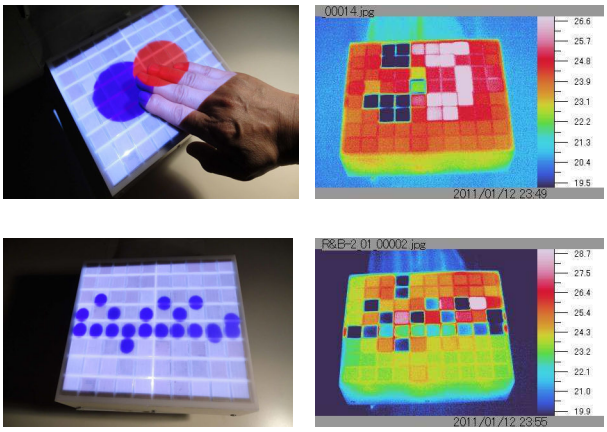

図 10 赤青―冷温アニメーションの表示例

3.2.3　写真

図 11　のように、すでにある写真や撮影した動画、サーモカメラで取得した熱画像などを冷温提示することが可能である。

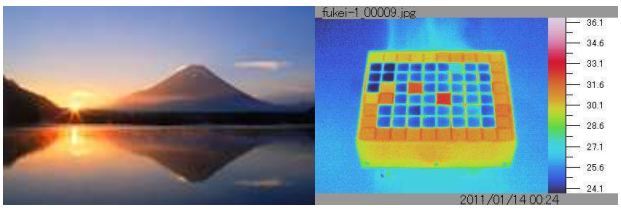

図 11 既成の写真をキャプチャした例

5.　検証への検討

現在、手掌部に対して面的な広がりをもつ温度感覚を呈示するディスプレイ・インタフェースの開発に向けた基礎研究という位置付けで，ヒトの手掌部の温度感覚特性を評価するとともに，その結果を踏まえ，温度刺激の間隔と温度の識別特性の関係を明らかにすることを目的とした実験を行っている。具体的には，単一の温度刺激を手掌部に呈示した際の温度感覚特性の評価を行う。そして，得られた温度感覚特性の結果に基づく二つの異なる温度感覚の刺激を手掌部に呈示し，温度刺激の間隔と温度の識別特性の関係を調べている。ペルチェ素子のサイズによって識別率に及ぼす影響は異なることが考えられるので、そのため，サイズと識別率の関係についての実験も検討している。

また、[1]で行った、触錯覚についての検証も課題としてある。1896年Thunberg[19]が最初に示された冷温の錯覚である[Thunberg'illusion]として暖かいバーと冷たいバーとが交互に並んでいるグリルに触れたときに感じる熱痛覚のような錯覚（幻覚）を感じとして示され

た。1994年Arthur D. (Bud) Craigら[20]が「thermal grill illusion」を発表した。大脳皮質内における痛みのイリュージョン非侵害刺激と侵害冷刺激に反応する脊髄視床経路を上行する2つのクラスのニューロンが別々にグリルに反応することによって、このような錯覚が生じる。 この発見から、「中枢性の脱抑制やアンマスキング処理を基礎とした大脳皮質レベルでの痛み知覚の統合」のためのモデルが導かれた。[21]そのような温度の錯覚と温度呈示の関係を人間工学的にも検証していきたいと考える。絶対的な温度感覚特性を踏まえて相対的な温度識別特性の関係が定量的に評価したいと考える。

これから得られるデータは，温度感覚ディスプレイ・インタフェースを設計するにあたり，デバイスを構成するペルチェ素子の間隔やそれぞれの素子を用いて呈示するべき温度に関する有益な知見を示せるものだと考えられる。呈示刺激として用いるペルチェ素子の面積や，動的な刺激を呈示した際の温度刺激速度も温度感覚識別特性に影響を及ぼすと考えられる。今後はこれらの因子についても温度感覚識別特性に及ぼす影響を評価し，温度感覚ディスプレイ・インタフェースの開発に向けて知見を充実させていく予定である。

6. まとめ

本論文では，冷温ディスプレイのシステムと画面をキャプチャすることでインタラクティブに冷温描画ができるシステム及びコンテンツの紹介をした。

本システムはASIAGRAPG 2011 において実演展示を行い、国内外の2000人以上の体験者を得た。

体験した観客の意見として、ペンタブレットの使用と冷温ディスプレイの一体化を図れないか、温度のピクセル数が細かくならないか、黄色、緑など中間色の色の温度提示についての質問があった。これまでにない温度のお絵かきに新しい表現やコンテンツの可能性を感じた。人間工学的な検証をしながら、ディスプレイの開発や表示方法、表示内容やコンテンツの検討を重ねていきたい。創作した作品がさまざまな分野で刺激しあい、新しい創造の場を提供することを期待している。

謝辞　本研究の一部は科学技術振興機構 A-STEP 研究の協力により研究された。

参　考　文　献

1) Kumiko KUSHIYAMA, Tetsuaki Baba, Kouki Doi ,Shinji SASADA: Thermo-Paradox　Thermal Design Display device to use the thermal tactile illusions, ACM SIGGRAPH2010 Poster
2) 大山 正，今井省吾，和気典二：新編感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房，pp. 1249-1260, 1996.
3) 篠田裕之：皮膚感覚インタフェースの現状と展望，計測自動制御学会第4回システムインテグレーション部門学術講演会予稿集，pp. 412-413, 2003.
4) 秋山史門,佐藤克成,牧野泰才,前野隆司：ヒトの温度知覚特性を利用した温度呈示手法の検討、日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集、p31-32, 2011
5) 渡辺亮,大原淳,國安裕生，佐藤未知，福嶋政期，梶本裕之：前腕部への触刺激に対する温度感覚の重畳,日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集p.23-24, 2011
6) 小林孝浩,福森 みか: 温度覚による触図表現の拡張「温感触図」日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集p.185-186,2011
7) 井野秀一，泉隆，高橋誠，伊福部達：物体接触時の皮膚温度変化に着目した材質感触覚ディスプレイ方式の提案－感覚フィードバック型ハンドのための基礎的研究－，計測自動制御学会論文集，30, 3, pp. 345-351, 1994.
8) 高山裕行，山本晃生，樋口俊郎：物体表面における濡れ感の再現提示に関する基礎的検討，日本機械学会ロボティクス･メカトロニクス講演会講演論文集(CD-ROM) 1P1-I14, 2008.
9) K.Kushiyama,S.SASADA :Thermoesthesia　ACM SIGGRAPH 2006 Art Gallery
10) 太田、日暮、鈴木、高田、馬場、串山:ペルチェ素子とサーモグラフシートを使用した温度提示装置　Thermo-Pictインタラクション2009 Poster
11) K.Kushiyama,S.Sasada :Thermo-messenger ACM SIGGRAPH 2008 Poster
12) 土井、西川、串山、馬場、瀬尾：温冷感覚特性と加齢効果、ジェロンテクノロジー2009、2009 - 12
13) Rein, H.: Über die Topographie der Warmempfindung. Beziehungen zwischen Innervation und Receptorischen Endorganen, Zeitschrift für Biologie, 82, pp. 513-535, 1925.
14) Strughold, H., Porz, R.: Die Dichte der Kaltpunkte auf der Haut des Menschlichen Körpers, Zeitschrift für Biologie, 91, pp. 563-571, 1931.
15) ISO13732-1: Ergonomics of The Thermal Environment-Methods for The Assessment of Human Responses to Contact with Surfaces (Part1: Hot Surfaces), 2006.
16) ISO13732-3: Ergonomics of The Thermal Environment- Methods for The Assessment of Human Responses to Contact with Surfaces (Part3: Cold Surfaces), 2005. .

17) Mower, G.D.: Perceived Intensity of Peripheral Thermal Stimuli is Independent of Internal Body Temperature, Journal of Comparative and Physiological Psychology, 90, 12, pp. 1152-1155, 1976.
18) Beste, R, Hensel, H.: Subjective Estimation of Static Temperatures at The Palm in Humans, Pflügers Archiv, 368, R47, 1977.
19) Thunberg T., Förnimmelserne vid till samma ställe lokaliserad,samtidigt pågående köld-och värmeretning. *Uppsala Läkfören Förh*. 1896; 1: 489–95.
20) Craig AD, Bushnell MC. The thermal grill illusion: unmasking the burn of cold pain. *Science.* 1994; 265: 252–5.
21) Defrin R, Ohry A, Blumen N, Urca G. Sensory determinants of thermal pain. *Brain.* 2002; 125: 501–10.