

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20700109  
 研究課題名(和文) 高速温度ディスプレイおよび温度変化を利用した触覚インタフェースの開発  
 研究課題名(英文) Development of high speed controllable thermal display and haptic interface using thermal change  
 研究代表者  
 坂口 正道 (SAKAGUCHI MASAMICHI)  
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：60283727

研究成果の概要(和文)：本研究では、高速に温度制御が可能な温度ディスプレイを開発し、高速な温度変化を提示することで情報伝達が可能なことを示した。温度ディスプレイと映像を組み合わせたアプリケーションを開発し、仮想対象物と接触したときに温度変化を提示することで、接触感覚の増強を行った。また、フィルムと回転体を用いることで、指先と対象物の間で滑りが発生しない滑り感覚が提示可能な触覚インタフェースを開発した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the high-speed controllable thermal display was developed. I showed that information communication is possible to present high-speed temperature change. The application system which combined with the thermal display and an image display was developed. When touching a virtual object, the contact sense was reinforced with to present temperature change. Using film and rotor, slip sense display without direct slip on a finger tip was developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：バーチャルリアリティ、ヒューマンインタフェース

科研費の分科・細目：

キーワード：ヒューマンインタフェース、温度ディスプレイ、触覚提示、情報ディスプレイ、バーチャルリアリティ

## 1. 研究開始当初の背景

大量な情報の利用、いつでもどこでも情報を利用するためのユビキタス社会を実現するために、人間が情報を受け取るディスプレイやヒューマンインタフェース技術が課題となっている。人間は、視覚や聴覚から重要

な情報を多く取得しており、様々なディスプレイやインタフェースの研究開発やデバイス開発が進んでいる。一方で、五感インタフェースなど、その他の感覚を用いた研究開発も行われており、特に力覚や触覚を用いたヒューマンインタフェースは注目分野の一つ

である。

触覚は五感の一つであるが、その中には圧覚、振動覚、温覚、冷覚、痛覚といった複数の感覚が含まれる。これまでに様々な刺激を用いた数多くの触覚ディスプレイの開発が行われている。一方、温覚や冷覚などの温度感覚もまた触覚の一種である。大変身近な感覚であり、冷暖房や調理等に用いる加熱冷却機器は多く存在するが、ヒューマンインタフェースとしての研究は少なく実用的には用いられていない。その原因の一つとして、温度変化の応答の遅さが上げられる。

そこで、本研究ではこれまでにない高速な温度提示が可能な温度ディスプレイを開発する。高速に制御可能な温度ディスプレイを開発することは、人の温度知覚の検証や新しいヒューマンインタフェース開発の可能性につながるものであり、非常に重要な位置づけとなっている。また、熱を情報伝達手段の媒体としてとらえ、触感の支援のみでなく、警告や信号などの機能的情報の伝達や、情緒的情報の伝達に応用する。

## 2. 研究の目的

本研究は、高速に温度制御が可能な温度ディスプレイの開発、開発した高速温度ディスプレイを用いた人間の温度知覚特性の検証、そして温度ディスプレイを用いた触覚インタフェースの開発を目的としている。この目標を達成するために、研究期間内に次のことを明らかにする。

(1)温度提示面積の拡大を図ると共に箔ヒータとペルチェ素子を組み合わせて用いることで、高速な温度提示が可能な温度ディスプレイを開発する。指先を想定したディスプレイでは、提示面積数  $\text{cm}^2$ 、提示温度は 20 度から 45 度の範囲、応答速度は 1Hz を実現する。また、手のひら等他の部位への提示を行うために、更に大面積のディスプレイ開発についても検討する。効率的な加熱・冷却を実現するために、温度ディスプレイ表面の温度分布についても検証する。

(2)高速な温度制御が可能な温度ディスプレイを用いて、人の温度変化に対する知覚特性を明らかにする。特に、日常生活では体験する機械がほとんどない、局所的で高速な温度変化に対する感覚について検証する。特に従来検証が困難であった、触覚刺激を伴わない純粋な温度変化に対する特性を明らかにする。この他、提示部位、提示面積、温度の変化速度の温度知覚特性に対する影響を調べる。

(3)熱の移動による温度変化を利用した触覚インタフェースシステムを開発する。携帯電話の着信信号等の警告などを伝達する機能的情報の伝達や、音楽や映像、ゲーム等と連動させることで、感情などの情緒的信号の伝

達を行うシステムを開発し、その有効性を明らかにする。また、温度変化を利用した接触感覚の提示やネットワークと組み合わせた温度変化に基づく遠隔コミュニケーションシステムを開発する。

## 3. 研究の方法

(1) 高速温度ディスプレイを開発する。このディスプレイは、温度提示部の上に指を接触させて人間に温度を提示する。加熱用に薄い箔ヒータを、冷却用にペルチェ素子を用いており、熱伝対で温度提示部と指との境界温度を計測し、目標温度に対しフィードバック制御を行う。高速な温度制御を実現すると共に温度提示面積を増加させ、温度変化を確実に知覚できるようにする。

(2) 開発した高速温度ディスプレイを用いて、人間の温度知覚特性を検証する。従来は温度の異なる物体を指先等に接触させることで温度知覚に関する実験が行われていたが、この場合温度知覚と接触刺激が混在してしまう。これに対し、本研究では接触感覚を伴わない純粋な温度変化に対する知覚特性を明らかにすることができる。

(3) 温度変化を利用した接触感覚の提示を行う。温度ディスプレイの温度を変化させることで、ディスプレイの裏側に温かい物体が接触した感覚を提示する。

(4) 温度変化と合わせて触覚情報を提示するために、フィルムと回転体を用いた滑り感覚ディスプレイの開発を行う。指先と対象物の間で滑りを発生させることなく、滑り感覚が提示可能なディスプレイを開発する。

## 4. 研究成果

(1) 本研究では、箔ヒータの高速加熱特性及びペルチェ素子の冷却機能を組み合わせ、箔ヒータ・ペルチェ素子複合デバイスを開発した。開発した温度ディスプレイの構造を図 1 に示す。アルミ製ヒートシンクに放熱用両面テープを用いてペルチェ素子を固定し、ペルチェ素子の上に厚さ 0.08mm の上質紙を 1 枚挟んで箔ヒータを設置した。また、熱電対は、ペルチェ素子の下面と上面及び箔ヒータの上部の 3 カ所に設置した。この複合型温度デ

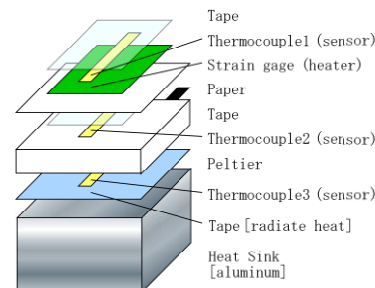


図 1 箔ヒータ・ペルチェ素子複合型温度ディスプレイ

ディスプレイでは、箔ヒータで加熱し温度を上昇させ、ペルチェ素子で冷却し温度を低下させる。

複合型デバイスでは、加熱と冷却を別のデバイスを用いて行うが、本研究ではその制御方式として、統合型制御方式と分離型制御方式の二種類について検討を行った。なお、複合型温度ディスプレイの指と接触する面の温度を  $T$ 、目標温度を  $T_{ref}$  と呼ぶ。

統合型制御方式とは、目標温度の高低にかかわらず常に同じ制御方式を用いる。温度ディスプレイの指と接触する温度提示面の温度  $T$  を計測し目標温度  $T_{ref}$  との比較を行い、 $T$  が  $T_{ref}$  より低いときには箔ヒータを駆動し加熱、 $T$  が  $T_{ref}$  より高いときにはペルチェ素子を駆動し冷却する。

分離型制御方式は、温度提示面を加熱したい場合（加熱期）と冷却したい場合（冷却期）で別の制御方式を用いる。加熱期では、 $T$  が  $T_{ref}$  より低いときには箔ヒータを駆動し加熱するが、 $T$  が  $T_{ref}$  を超えてもペルチェ素子は駆動しない。また、冷却期では、 $T$  が  $T_{ref}$  より低いときにペルチェ素子を駆動し冷却を行うが、 $T$  が  $T_{ref}$  より低くなくても箔ヒータは駆動しない。

複合型デバイスを用いて温度制御を行った結果を図 2 に示す。 $T_{int}$  は統合型制御方式の温度変化を、 $T_{sep}$  は分離型制御方式の温度変化を示す。温度ディスプレイの上に人差し指をのせて実験を行った。押しつけ力は約 4N で、制御前の初期状態での温度  $T$  は 30.1°C であった。時刻 3 秒において  $T_{ref}$  を 43°C に設定し制御を開始した。また時刻 6 秒で  $T_{ref}$  を初期温度と同じ 30.1°C に設定した。分離制御方式では、時刻 3 秒から 6 秒までが加熱期、時刻 6 秒から 9 秒までが冷却期である。加熱時に目標温度に到達するまでの時間は、統合制御方式の場合 0.23 秒、分離制御方式の場合 0.24 秒であった。また冷却時に目標温度まで到達する時間は、統合制御方式の場合 1.26 秒、分離制御方式の場合 1.50 秒であった。多少の差はあるものの、統合型制御方

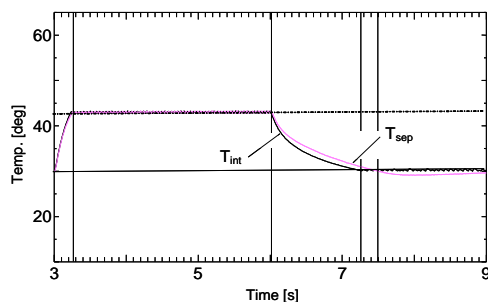


図 2 複合型ディスプレイ温度制御実験

式と分離型制御方式において温度制御特性に大きな差は見られなかった。

以上の結果から、開発した箔ヒータ・ペルチェ素子複合型温度ディスプレイを用いることで、ディスプレイに指を接触させた状態において、10°C以上の温度差を 0.5 秒以内に上昇させ、10°C以上の温度差を 1.5 秒で低下させることに成功した。

(2) 開発した複合型温度ディスプレイでは、加熱用の箔ヒータとしてひずみゲージを 1 枚使用していた。本研究で使用したひずみゲージは、グリッド部の寸法が 10×3mm である。人間の温度知覚特性は提示面積にも大きく影響を受けるが、1 枚のひずみゲージは人間の指先に対し決して大きな面積とはいえない。また、もっと大きなひずみゲージも存在するが、大きなひずみゲージを用いてもグリッド部が均一に同じ温度になるわけではない。このため、より確実に温度が変化させた感覚を提示するためには、使用するひずみゲージの枚数を増加させて温度提示面積を増加させる必要がある。そこで箔ヒータを 6 枚使用した改良複合型温度ディスプレイを開発した。熱電対もまた箔ゲージごとに設置し、加熱時の温度制御は箔ゲージごとに行った。ただし、箔ヒータの下に設置されている冷却用のペルチェ素子は従来と同じ物を 1 枚使用した。

開発した改良複合型温度ディスプレイを用いて、箔ヒータを 1 枚、3 枚、及び 6 枚加熱した場合の温度提示面積を計測した。この計測では、温度ディスプレイの上には指をおいていないため、指をおいた場合と全く同じ状態ではない。NEC 三栄製のサーモトレーサ TH6200H を用いて温度提示部の温度を計測した。この結果から、40°C以上に加熱された面積を求めたところ、1 枚加熱した場合は 6.1mm<sup>2</sup>、3 枚加熱した場合は 13.5mm<sup>2</sup>、6 枚加熱した場合は 29.7mm<sup>2</sup> であった。厳密にヒータの枚数に比例しているわけではないが、ヒータの枚数が増加することで温度提示面積も増加していることが確認できる。また、ヒータの枚数を増加させた場合における温度制御特性も計測したが、提示面積が増加しても応答速度への影響はなかった。

改良複合型温度ディスプレイを用いて温度変化を知覚させる実験を行った。被験者の利き手の人差し指を温度ディスプレイの上に載せ、反対の手には押しボタンスイッチを持たせた。実験開始後 3 秒間は温度制御は行わず、時刻 3 秒から 8 秒までの間では目標温度を 43°C に設定し分離型制御方式を用いた温度制御を行った。被験者には、指先の温度

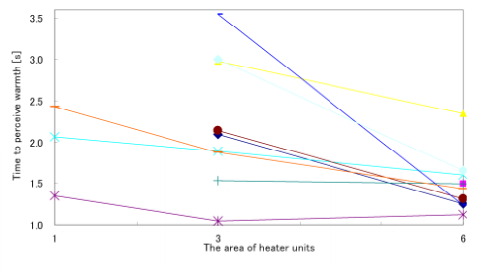


図3 温度提示面積と温度変化知覚

が変化（上昇）したことを知覚したら押しボタンスイッチを押すように指示し、温度提示面の温度変化と併せてボタンが押された時刻も記録した。押しつけ力は約 4N とし、大きく異なった場合は再実験とした。22 歳から 25 歳までの男子学生 10 名に対し実験を行った。各被験者には、加熱するヒータの枚数が 1 枚の場合、3 枚の場合、そして 6 枚の場合の 3 通りの実験を行った。ただし、被験者には目標温度や温度制御が始まるタイミング、加熱するヒータの枚数等の情報は一切知らせなかった。本実験では、指先での温度変化以外に実験の様子が分かるような情報はないため、目隠しやヘッドホン等を用いなかった。

実験結果を図 3 に示す。図の横軸は加熱したヒータの枚数を表し、縦軸は温度制御を開始してから押しボタンが押されるまでの時間を示している。図中の同じマークが同じ被験者による実験結果を表し、同じ被験者のデータを折れ線で結んで示している。ヒータを 1 枚しか加熱しなかった場合、10 人中 3 人しか温度変化に気づかなかった。これに対し、3 枚のヒータを加熱した場合は 9 名、6 枚のヒータを加熱した場合は 10 名すべてが温度変化を知覚することができた。また、加熱したヒータの枚数が 3 枚の場合と 6 枚の場合を比較すると、ほとんどの被験者において温度変化を知覚するまでの時間が短くなっている。以上の結果から、温度提示面積を増加させることで、高速な温度制御を実現すると共に被験者に対し温度変化の情報を提示できることが確認できた。

(3) 温度変化と視覚情報を合わせて提示することで、指先に力学的な刺激を与えずに物体との接触感覚を提示するための基礎実験を行った。温度提示のみ、映像提示のみ、及び映像提示と温度提示を組み合わせた実験を行い、映像提示と温度提示を組み合わせて行うことで、接触を判断するまでの遅れ時間に変化が見られること及び温度提示のみ行った場合とは異なる感触が指先に感じられることを確認した。



図4 フィルムと回転体を用いた滑り感覚ディスプレイ

(4) 本研究では、触覚運動の一つである滑り感覚の提示を目的とし、特に滑りやすい物体に直接指で触れて滑らせている感覚を提示するために、フィルムと回転体を用いた滑り感覚ディスプレイを提案した。

受動的に動かすことのできる台車に回転体として円筒ローラを装着し、台車の移動速度に応じて回転速度を制御し、フィルムを介して回転体に触れる触覚ディスプレイを開発した。開発した滑り感覚ディスプレイの写真を図 4 に示す。

幅 80mm、奥行き 105mm、高さ 51mm、重量は 478g である。4 つの車輪を有する台車型で、車軸はベアリングで保持されており、移動させる時の抵抗は非常に小さい。車軸にはロータリエンコーダ (COPAL, RE12D-300, 分解能 300p/r) が設置されており、台車の移動速度が計測できる。台車には、直径 30mm、幅 30mm のウレタン樹脂製回転体が設置されている。回転体の回転軸と台車の車軸は平行である。回転体には DC ギヤードモータ (キヤノンプレジジョン, DG16, 24V, 減速比 1/62) が接続されていて、台車の移動速度に応じて回転体の回転速度を制御できる。台車の上面には 30mm×44mm の穴が空いており、その穴の中央に回転体が設置されている。フィルムは、回転体の上部に弛みなく接するように台車の天板に固定した。フィルムは厚さ 0.01mm のポリエチレンフィルム (以下 PE フィルム) と、厚さ 0.1mm の天然ゴムシートを用いた。PE フィルムは伸縮性が小さいが、天然ゴムシートは柔らかく伸縮性が大きい。潤滑剤は ISO 粘度グレード 7 の鉱物油を使用した。被験者は、台車の天板の上に手をのせ、穴の部分からフィルムを介して回転体に指を押し付け、台車を移動させる。指の方向は、回転軸と平行、垂直のいずれも可能である。この装置を用いて、抵抗力計測実験や触覚評価実験を行った。

回転体の回転により指先に加えられる抵抗力について、計測システムを用いて実験的に検証した。伸縮性のあるフィルムを介して

回転体に接触することで、直接接触した場合と類似した抵抗力が提示可能であり、回転体の回転速度により提示できる抵抗力を変化させることができることを確認した。

開発した触覚ディスプレイを用いて触覚評価実験を行った。伸縮性のあるフィルムを介して回転体に触れ、台車の移動速度に応じてローラを回転させ抵抗力を提示することで、潤滑剤を塗布したウレタン樹脂プレートを手袋をしてなぞった場合に似た滑り感覚を提示できることを確認した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① 坂口正道, 岡本尚也, 荒田純平, 藤本英雄: フィルムと回転体を用いた滑り感覚の提示に関する研究, 豊田研究報告, 査読無, No. 62, pp. 165-170 (2009).
- ② 坂口正道, 横井悟, 荒田純平, 藤本英雄: 高速制御が可能な温度ディスプレイの開発, 豊田研究報告, 査読無, No. 61, pp. 211-217 (2008).

〔学会発表〕（計 3 件）

- ① 坂口正道, 岡本尚也, 荒田純平, 藤本英雄: 滑らない滑り感覚ディスプレイの開発に関する研究, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2B2-4, pp. 475-476 (2008. 9. 25, 奈良先端科学技術大学院大学).
- ② 古村正偉, 坂口正道, 荒田純平, 藤本英雄: 温度変化と映像提示を用いた接触感覚の提示に関する研究, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3B2-6, pp. 977-978 (2008. 12. 7, 長良川国際会議場).
- ③ 岡本尚也, 坂口正道, 荒田純平, 藤本英雄: 回転体とフィルムを用いた滑り感覚ディスプレイの開発に関する研究, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3B1-6, pp. 963-964 (2008. 12. 7, 長良川国際会議場).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坂口 正道 (SAKAGUCHI MASAMICHI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 60283727

### (2) 研究分担者 なし

### (3) 連携研究者

藤本 英雄 (FUJIMOTO HIDEO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 60024345