

## I—2 触って楽しい！遊べる“視触覚ディスプレイ” —科学技術と表現の新しいかたちを考える

首都大学東京システムデザイン研究科  
インダストリアルアート学域  
串山 久美子

講演会 : 「触って楽しい！遊べる“視触覚ディスプレイ”」  
講 師 : 串山 久美子 氏  
開催日 : 2012年7月9日  
開催場所 : 首都大学東京日野キャンパス（東京都日野市）  
参加者 : 13名  
記 : 渡辺 督\*

### 1. はじめに

ICTの進歩に伴い、人と人との直接的なコミュニケーションのあり方が注目されるようになってきている。

本講演会では、人とユビキタス情報社会を結ぶやわらかなインターフェイスとして、直接人が触れ、反応する、感触表現の制作支援を目的とした触覚ディスプレイ技術の研究開発をされている首都大学東京教授串山 久美子様の研究室がある豊田キャンパス（東京）（Fig. 1）を訪問し、「触って楽しい！遊べる“視触覚ディスプレイ”—科学技術と表現の新しいかたちを考える」と題したご講演を頂くとともに、実際にスタジオや研究室で、視触覚ディスプレイを始めとした串山研究室の作品群に触れてみてその魅力を体感した。



Fig. 1 首都大学東京 豊田キャンパス

### 2. 講演内容

講演会では、視触覚ディスプレイを開発するまでの背景や、技術内容、課題等についてお話しいただいた。その内容は、以下のような構成であった。

- ・科学技術と表現—メディア・アート&デザイン

\* 技術調査小委員会委員

- ・視触覚ディスプレイの開発
- ・研究室のインタラクティブ・インターフェイス
- ・今後の課題

### 2.1. 科学技術と表現—メディア・アート&デザイン

今回の講演は科学技術とデザイン（芸術表現）の融合領域に関する研究についての内容となっている。古来、科学技術と表現については、例えばレオナルド・ダ・ヴィンチの工学・医学・天文学・流体力学・幾何学・音楽等のアイデアは芸術的な図で表現されている。また、日本では、からくり人形やアニメーション、ロボット、ゲームといった分野にも科学技術と表現の融合が見られる。

申山様は1981年より数々の作品を発表されている。2001年に発表された「LifeDrops」は磁気センサを用いた体験型でインタラクティブな壁画であり、科学館などの公共施設に常設されている。このような作品は「場をつくる」ことを目的としていた。

### 2.2. 視触覚ディスプレイの開発

視触覚ディスプレイの開発は、視覚によるコミュニケーションが主体の現代の社会において、多様な人々が楽しみ、共有できる触覚インターフェイスの開発の実現により、「誰もが楽しめる共有できる社会構築」を目指しており、それが波及する分野は、建築・環境、ゲームエンターテインメント、アート&デザイン、通信、医療・福祉と多岐にわたっている。

触覚とは体性感覚と皮膚感覚の両者を示している。皮膚への接触により感じる感覚としては触圧覚、温覚、冷覚、痛覚があるが、それらを受容する感覚点は皮膚内の深度、数量などそれぞれ異なる特性を持つ。また、触覚は視覚と同様、いくつかの錯覚を有する。このような触覚の特性を応用して視触覚コミュニケーションがなされている。

また、これまでもいくつかの触覚ディスプレイが発表、発売されている。これらに期待される効果は、高齢化社会・バリアフリーが求められる環境における生活の質の応用や、高度情報伝達を実現した社会におけ

るサイネージ・ゲーム用途のマルチ感覚ディスプレイとしての応用が模索されている。

冷温視触覚ディスプレイ「Thermoesthesia」(Fig.2)は、プロジェクタによりスクリーンに映し出された画像に合わせて、スクリーンそのものの温度が変化するディスプレイ装置である。裏面側から表示部材を冷却・加熱する手段としてペルチェ素子を用いている。ペルチェ素子は熱電冷却素子を複数接続したもので、ペルチェ素子に直流電流を流すことにより、片面が冷却され、他面が加熱される。また、電流の向きを変えて冷却、加熱面の切り替えが可能である。以上のような構成を取ることで、例えばディスプレイに北欧の氷河の様子が映し出された場合に、氷河の氷の「冷たさ」をディスプレイに触ることで実感できる。



Fig.2 冷温視触覚ディスプレイ「Thermoesthesia」

また、硬軟感覚ディスプレイ「Magnetospheres」は電磁石と小粒スチールボールを使用して砂場のような触圧覚を表現できる。

さらに生物感覚ディスプレイ (Fig.3) は、接触した位置の情報からアクチュエータを制御して生き物のような触感を表現している。



Fig. 3 生物感覚ディスプレイ

### 2.3. 研究室のインタラクティブ・インターフェイス

当研究室においては、前述した視触覚ディスプレイ以外にも、音と触覚を融合させたゲームや楽器、インタラクティブ絵本などの作品も開発しており、これらの中には市販されているものもある。

視触覚ディスプレイも含め、これらの作品は人間工学的なデータを収集することで評価を行っている。

### 2.4. 今後の課題

「誰もが楽しめる、共有できる社会の構築」を目指して、今後これらの成果が、①高齢化社会、バリアフリーへの適用、②生活の質、楽しみ、豊かさの向上、③高度情報通信化へ効果を波及されることが今後期待されている。このために、体験型デジタルサイネージや介護機器に関する業界や、新素材の開発をしている企業との連携が模索されている。

### 3. おわりに

最後になりますが、串山様にはお忙しい中、時間を割いていただき、また非常にわかりやすい講演をしていただきましたこと、この場を借りて厚く御礼申し上げます。また、講演会開催にあたって、お骨折り頂いた首都大学東京産学公連携センター 國政様、濱口様、研究成果のデモをして頂きました串山研究室の皆様にも厚く御礼申し上げます。

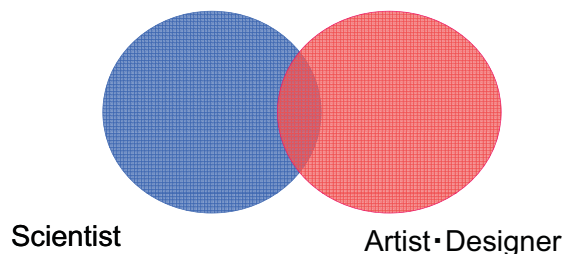
以下参考に、講演資料の一部を掲載する。

触って楽しい！ 遊べる“視触覚ディスプレイ”  
— 科学技術と表現の新しいかたちを考える

首都大学東京 システムデザイン研究科  
インダストリアルアート学域 串山久美子

## 科学技術と表現の融合領域

### Artist-Scientist Relationship



## 本日の内容

1. 科学技術と表現—メディア・アート&デザイン
2. 視触覚ディスプレイの開発
3. 研究室のインタラクティブ・インタフェース
4. 今後の課題

## 1. 科学技術と表現

●レオナルド・ダ・ヴィンチ(1452-1519年)  
イタリア・ルネッサンスを代表する画家。



モナリザ

受胎告知

彼の残したノートには、おびただしい量の工学、医学、天文学、流体力学、幾何学、音楽などのアイデアが、芸術的な図とともに記されている。

## 1. Media Art in Japan - History



## 1. Media Art in Japan - NOW





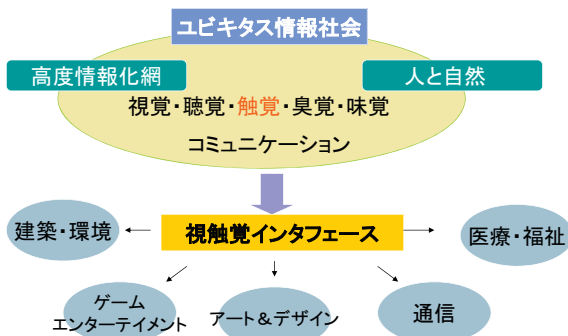
2005 Transparent Blue SIGGRAPH 2005



## 2. 触覚のコミュニケーションを考える



## 研究の背景と必要性・意義



## 目指すところ

多様な人々が(ダイバーシティ)楽しめる、共有できる  
触覚インタフェースの開発の実現により

「誰もが楽しめる 共有できる社会構築」

## 触覚とは

### 触覚＝皮膚感覚＋体性感覚

触覚＝体性感覚＋皮膚感覚

Haptic Sense = Proprioception + Cutaneous Sense



触覚＝接触によって生じる感覚

(Haptic=「接触(Contact)」(ギリシャ語/In Greece))

●皮膚表面の変形(皮膚感覚/Cutaneous Sense, Skin Sense)

●筋肉の伸縮, 関節角(深部感覚・力覚/Proprioception, Force Sense)

今日の話: 狭義の皮膚感覚/Today's Talk focuses on skin

## 感覚点

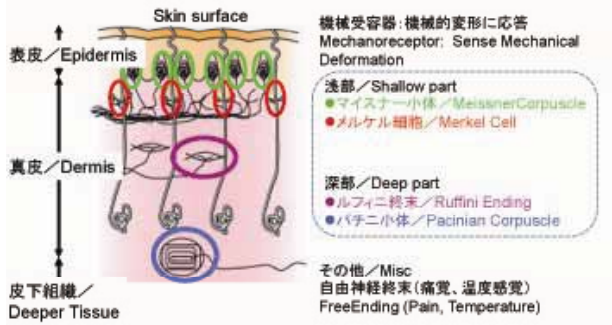
皮膚表在感覚—触圧覚, 温覚, 冷覚, 痛覚

感覚点—

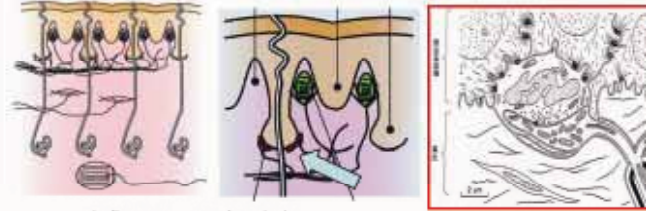
- ・触圧覚: 指先や鼻で100以上/ 1cm<sup>2</sup>  
体幹部, 四肢近位例えば大腿部11~13 / 1cm<sup>2</sup>
- ・温度感覚: 温点と冷点  
冷点は, 3~15個/ 1cm<sup>2</sup>, 温点は1~4個/ 1cm<sup>2</sup>
- ・痛点: 50~350個 / 1cm<sup>2</sup>  
手指や鼻に劣らず, 四肢近位や体幹でも密度が高い。

# 触圧覚の受容器

## Skin Structure (Hairless Parts)

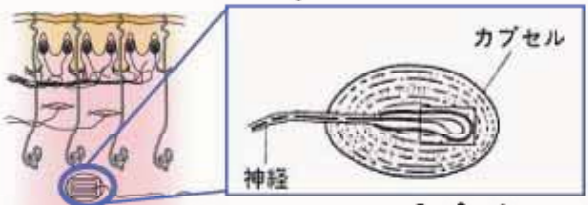


# メルケル細胞/Merkel Cell



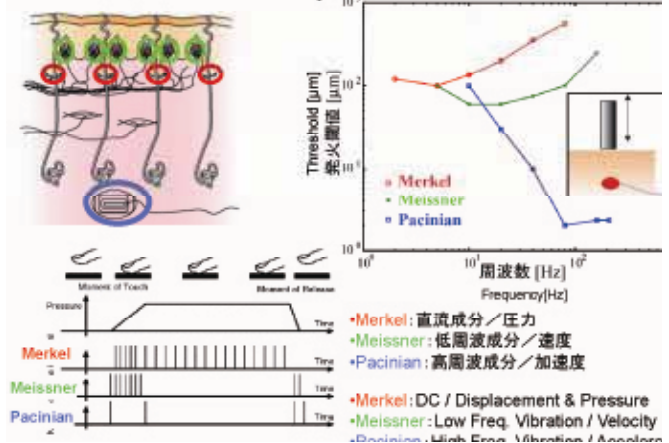
- 皮膚下0.9mmに密に存在.
  - 唯一の細胞性受容器. 神経とシナプス接合
  - 静的な歪に反応
  - 発火頻度は歪の大きさに比例
  - 単独の活動では純粋な圧覚を生成
- Densely Populated at 0.7 - 0.9mm depth.
  - Sense Static Deformation.
  - Pulse Frequency is Proportional to Deformation.
  - When activated, Pure Pressure Sensation is generated.

# パチニ小体/Pacinian Corpuscle



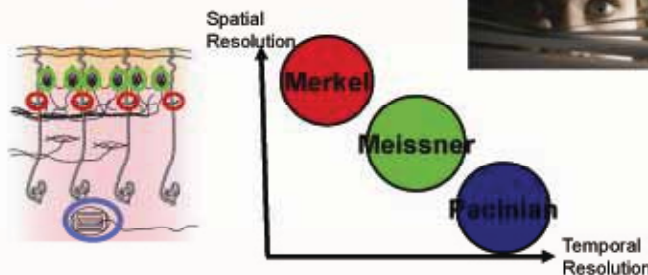
- 皮膚下2mm以上の深部にまばらに存在.
  - 高周波振動に反応(60-800Hz)(共振250Hz)
  - 発火周波数~振動周波数
  - 単独の活動では音叉に触れたような振動感覚, 指全体の痺れ
- Sparsely populated at deep region (2mm~)
  - Sense High Frequency Vibration (60-800Hz)
  - Has Resonant Frequency (250Hz)
  - Pulse Frequency ~ Vibration Frequency
  - Single Activity Generates "numb" sensation, just like touching a tuning fork or speaker

# 時間的役割分担/Temporal Roles



# 各機械受容器の役割分担

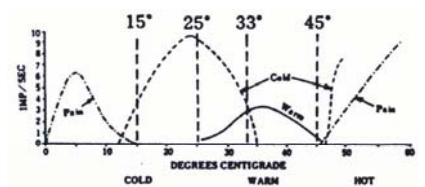
We only see through narrow slit



ポイント: 時間的, 空間的な相補性

We combine "Spatially Fine, but Temporally Rough" sensation and "Spatially Rough, but Temporally Fine" sensation.  
In other words, we "see" the world through very narrow slit.

# 温度受容器と痛覚受容器



温受容器は皮膚温約32℃以上, 45℃以下で興奮  
冷受容器は10℃以上, 30℃以下で興奮する. 皮膚温約32℃付近では外界温を感じない. この付近の温度を不感温度という.  
冷, 温受容器が興奮しない10℃以下の低温, あるいは45℃以上の高温では痛覚が起こる.

## 触覚の錯覚

触覚の(狭義の)錯覚: 錯触  
Tactile Illusions

- アリストテレスの錯覚
- Barber Pole Illusion
- 滝の残効 (Motion Aftereffect)
- 仮現運動
- ファントムセンセーション (Funnelling)
- ベルベットイリュージョン
- ラバーハンドイリュージョン
- ...etc



特に近年、触覚研究の発展に伴って増加。  
視覚研究者による研究多。  
Recent works revealed new tactile illusions

## 聴覚で類推できる錯触例: ファントムセンセーション Tactile Illusion similar to audio: Phantom Sensation (Funnelling)

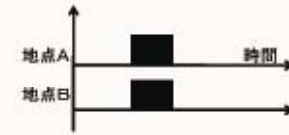
地点A 知覚位置 地点B



- 短パルス刺激で発生
- 複数刺激子の間に知覚
- 位置は移動できる



- Generated by short pulses
- Image generated between stimulators
- Position can be controlled



## 触覚独自の錯触: ベルベットイリュージョン Tactile Unique Illusion: Velvet Illusion



荒い網の目 (テニスラケットなど) を両手で挟み、前後に動かすと、**モワッとしたベルベット感**を生じる。

Sandwiching coarse mesh of a net, such as tennis racket by two hands, and moves. Then,

## 触覚独自の錯触: サーマル・グリル・イリュージョン Tactile Unique Illusion: Thermal Grill Illusion



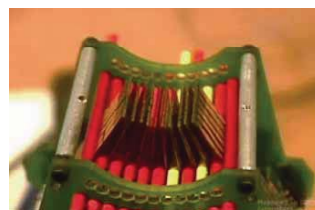
近い距離で温感と冷感を同時に提示すると痛覚を生じる  
Close presentation of hot and cold temperature generates pain sensation.

実験上、皮膚を損傷せずに痛みを生成するためによく用いられる  
Used for the generation of pain sensation without skin damage

## 触覚ディスプレイの例ードットビュー



ドット数 32 × 48 = 1,536  
ドット点間ピッチ 2.4 [mm]



Reproduce Skin Deformation

"Carpet is expensive. Shoes are enough!" Lets Wear.



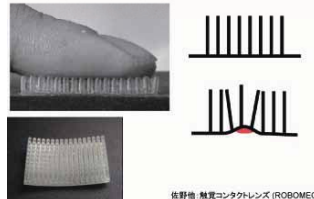
Problem: How can the actuator be so small and dense? (again)

モータによる水平力提示



横野他、高解力を用いた3次元触覚ディスプレイにおける高集積的微小駆動機構. VISA 学術大会 2011

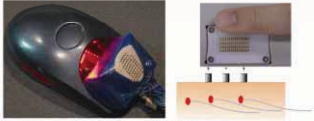
触覚のAR: 触覚コンタクトレンズ  
Tactile Contact Lens as Tactile AR



横野他、触覚コンタクトレンズ (ROBOMECH 04)

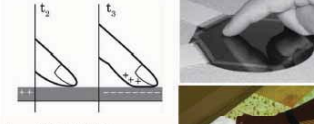


皮膚表面からの電気刺激  
Electrical Stimulation from Skin Surface



神経束の刺激され高さから空間マッピング実現  
各神経束の神経配置の特徴を利用し、選択刺激  
Electrical Stimulation from Surface: Stimulate Nerves directly.  
If we can "Selectively" Stimulate the Nerves, we can generate ANY tactile Sensations.  
Just Like we make colors by mixing primary colors.

電圧と皮膚の電気的吸引利用  
Using adhesion between skin and electrode by high voltage



Maczankowski et al., "Polarity Effect in Electrovisitation for Tactile Display," IEEE Trans. Biomedical Engineering, 2006  
Choi et al., "Tactile/Thermal Electrovisitation for Touch Surfaces," UIST2010

Passive type Horizontal Display  
超音波振動による摩擦係数変化の利用  
Controlling friction coefficient by ultrasonic vibration

- スクイズ効果: 高周波振動で摩擦係数が減少する  
Squeeze effect: friction is reduced by high freq. vibration
- 指位置計測と組み合わせ、摩擦係数の提示が可能  
Combined with pos. sensing, friction distribution is displayed



事例紹介: Forehead Retina System

2005年夏~(株)アイプラスとの共同研究



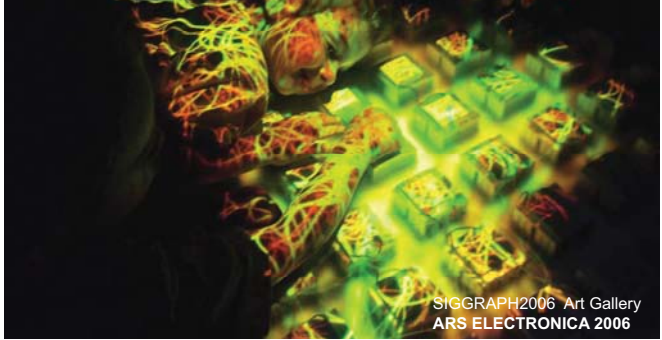
電気刺激・小型、軽量、低消費電力  
→携帯型視覚触覚変換装置の開発

Forehead Retina System

2. 冷温視触覚ディスプレイの開発 2006-2009

特許登録 4171771号

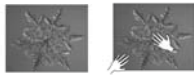
ペルチェ素子と光学式センサーによるインタラクティブ  
冷温感覚視触覚ディスプレイ「Thermoesthesia」



SIGGRAPH2006 Art Gallery  
ARS ELECTRONICA 2006

発明の概要 1 冷温ディスプレイ

「表示面に視覚または触覚により感受できる表現を表示する表現発現手段を備えたディスプレイ装置」



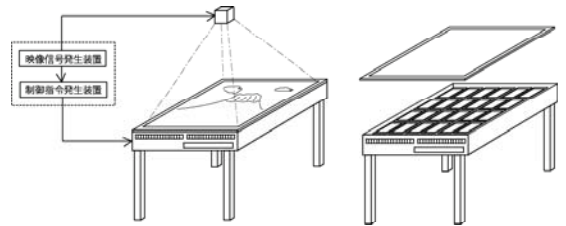
ディスプレイに北欧の氷河の様子が映し出された場合に、氷河の水の「冷たさ」をディスプレイを触ることで実感したい



従来は視覚で表現を感受できるものが大半  
従来は冷感感覚により表現を感受できるものがない

本発明によって簡単に実現可能

システム構成



本発明の冷温感型ディスプレイ装置の基本構造。

プロジェクターによりスクリーンに映し出された画像に合わせて、スクリーンそのものの温度が変化するディスプレイ装置である。タッチパネルにより、スクリーンに触れた位置、時間を検出しそれに合わせて画像及び温度が変化する

冷温ディスプレイの構造



タッチパネル

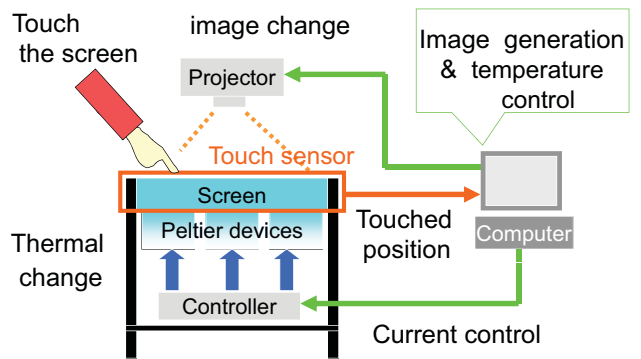


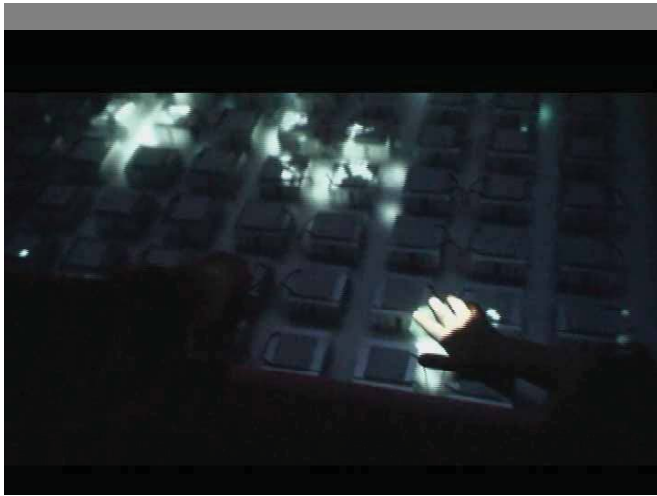
ペルチェ素子

裏面側から表示部材を全面的または部分的に冷却及び/または加熱することができるペルチェ素子を用いる

ペルチェ素子は熱電冷却素子を複数接続したもので、ペルチェ素子に直流電流を流すことにより、一方の面が冷却し、もう一方の面が加熱する。また、電流の向きを変えることで、冷却、加熱面の切り替えが可能である

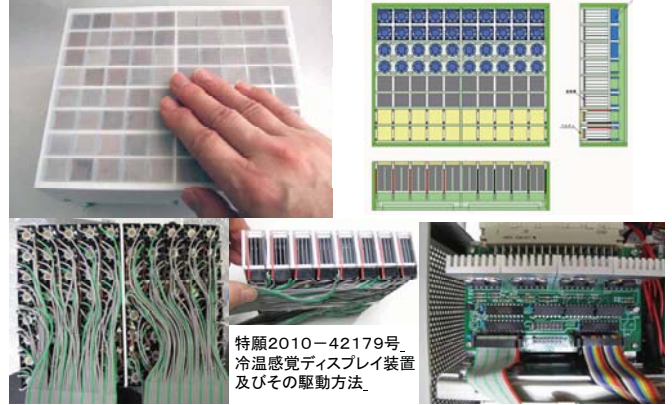
①冷温感型ディスプレイの技術開発研究





## 冷温感覚小型ディスプレイ

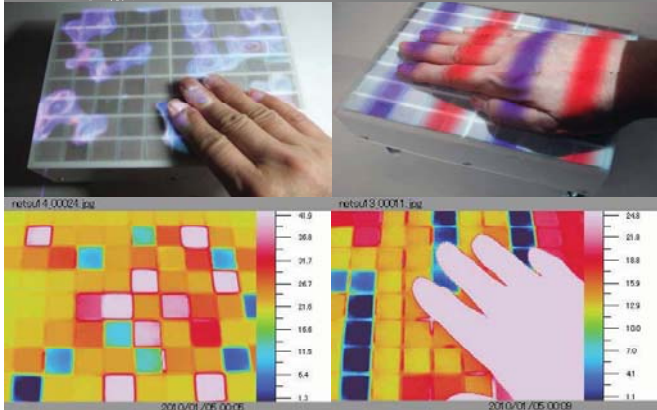
特願 2010-42179号



特願2010-42179号  
冷温感覚ディスプレイ装置  
及びその駆動方法

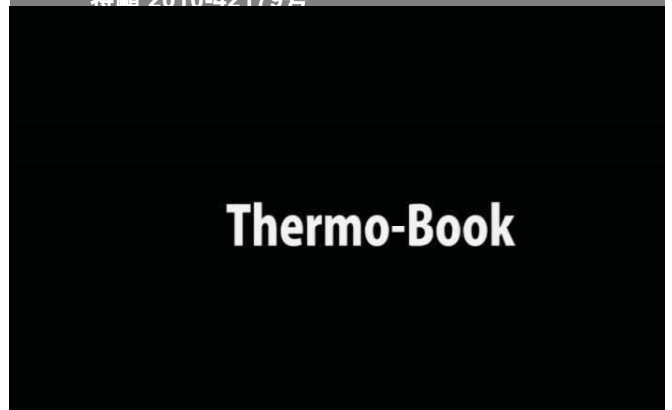
## 冷温感覚小型ディスプレイ

特願 2010-42179号



## 冷温感覚小型ディスプレイ

特願 2010-42179号



## 冷温感覚ゲーム ディバイス

【Thermo Game】の開発



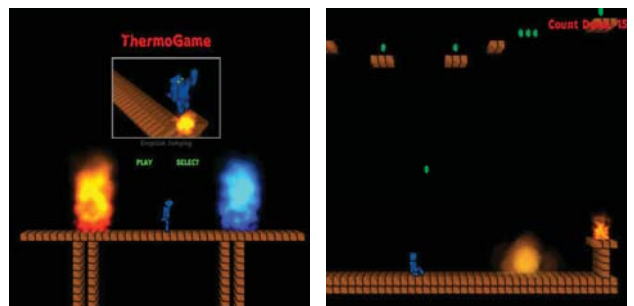
コントローラ前面

コントローラ背面

側面に配したペルチェ素子

## 冷温感覚ゲーム ディバイス

Thermo Game



ゲーム選択画面

試作したゲーム「Eruption Jumping」

## 人間工学的データ検証



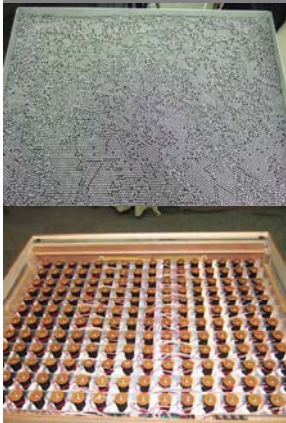
冷温感覚ディスプレイの検証



## ② 電磁石と極小スチールボールによる硬軟感覚ディスプレイ「Magnetospheres」



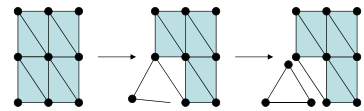
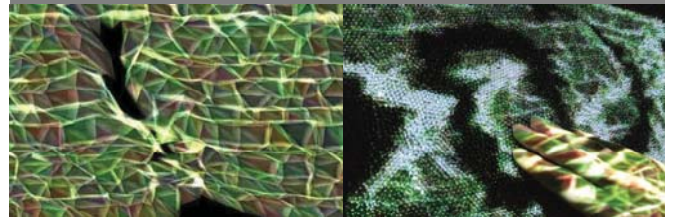
## ②硬軟感覚ディスプレイの技術開発研究実験



電磁石と小粒スチールボールを使用した触圧覚ディスプレイ制作



## ディスプレイのインタラクションに対応した画像生成ソフトウェアの開発

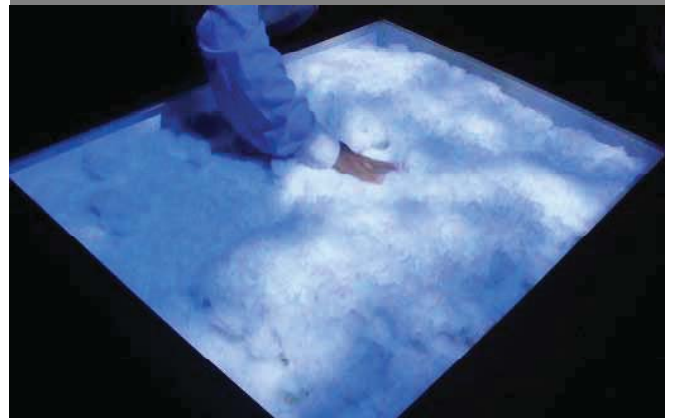


バネのシミュレーションを基礎にしたアルゴリズムを開発

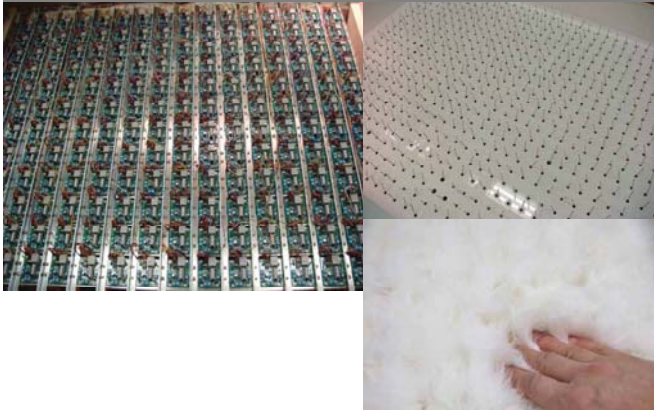
## ② 電磁石と極小スチールボールによる硬軟感覚ディスプレイ「Magnetospheres」



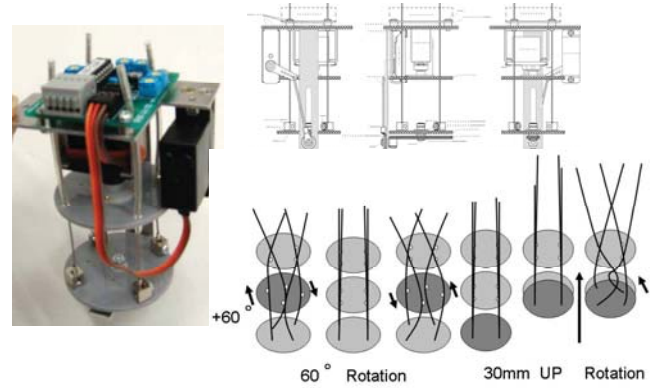
## ③生物感覚ディスプレイの技術開発研究



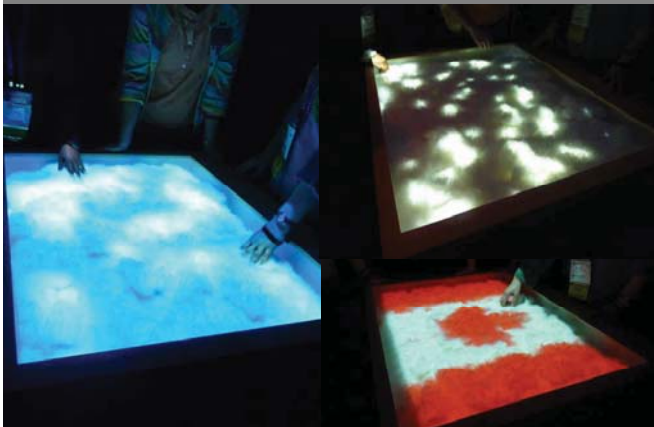
### ③生物感覚ディスプレイの技術開発研究



### ③生物感覚ディスプレイの技術開発研究



### SIGGRAPH2009 Art Gallery



### 0.生物感覚ディスプレイの技術開発研究 特願 2009-82669号



### 人間工学的データ検証— 触視覚ディスプレイに関する

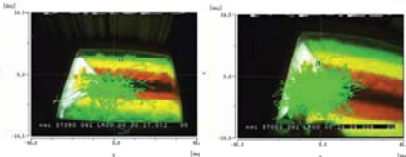
#### 実験条件:

- 条件①: 触視覚ディスプレイを視覚のみで体験する。
- 条件②: 触視覚ディスプレイを触覚と視覚の両感覚により体験する。

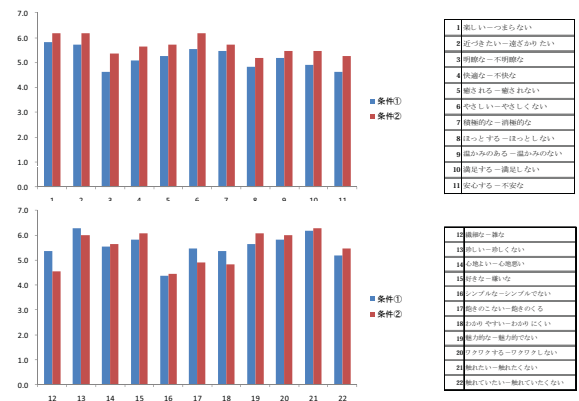
測定指標: 視線軌跡、心拍数、唾液アミラーゼ活性、インタビュー

#### 測定機器:

- アイマークレコーダ (視線軌跡記録装置): EMR9, nacイメージテクノロジー
- 心拍測定計: SUUNTO t6d, SUUNTO
- 唾液アミラーゼ活性測定装置: 唾液アミラーゼモニタ、ニプロ
- 実験状況記録: ビデオカメラ



### 感性評価—生物感覚触視覚ディスプレイに関して



## 音と触覚

フレクトリックドラム



特許出願番号2007-175669  
特許出願番号2006-237038

## 音と触覚 フレクトリックドラム



グッドデザイン賞2009

NHK教育フェア2009

【取材、報道】21件

## 音と触覚

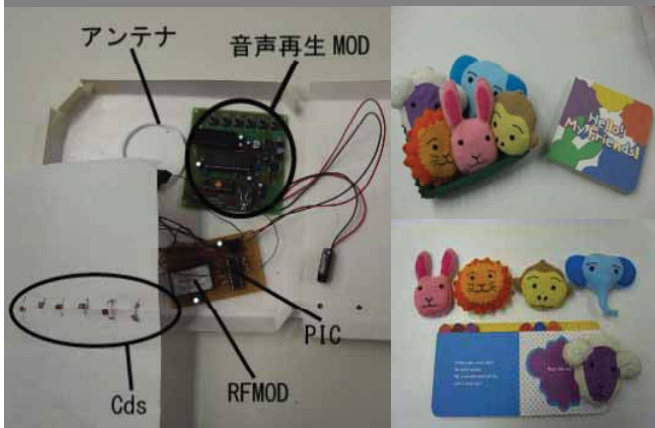


<http://ia.sd.tmu.ac.jp/pocopoco/introduction.html>

## ICカードを用いたインタラクティブ絵本



## ICカードを用いたインタラクティブ絵本



## 非接触給電玩具



人間工学的データ — 障害者、子供  
共同研究：国立特別支援教育総合研究所



4.サイエンスキッズ ワークショップ



4. 東京理系女子探検隊  
—首都大学東京ダイバーシティ推進室



常設展示 大阪科学技術館 2007,2009  
つくばエキスポセンター 2010



5年後の生活環境 期待される効果

視触覚感覚ディスプレイ  
インタラクションデザイン

- ①冷温感覚ディスプレイ
- ②硬軟感覚ディスプレイ
- ③生物感覚ディスプレイ

高齢化社会  
バリアフリー

生活の質  
楽しみ、豊かさ

福祉機器、癒し

高度情報通信化

アート&エンターテ  
イメント  
玩具、インテリア

マルチ触覚ディスプレイ  
情報を共有できる  
触視覚伝達システム

5年後の生活環境 遠隔地の触覚通信



## 5年後の生活環境 家庭の中に



## 5年後の生活環境 都市の中に

2003 WAVES SIGGRAPH 2003



### 今後の期待

障害の有無の関わらず楽しめる、共有できる  
触覚インタフェースの開発の実現により

「誰もが楽しめる、共有できる社会の構築」



- ・体験型広告
- ・アクセシブル 玩具、教材開発
- ・高齢者リハビリ、介護
- ・リラクゼーション、治療
- ・新素材の開発をしている企業

禁 無 断 転 載

2012 年度「ビジネス機器関連技術調査報告書」 “I - 2” 部

発行 2013 年 4 月

一般社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会 (JBMIA)

技術委員会 技術調査小委員会

〒105-0003 東京都港区西新橋三丁目 25 番 33 号 NP 御成門ビル

電話 03-5472-1101(代表) / FAX 03-5472-2511