

Interactive System
インタラクティブシ
テム特論(6)

Hiroyuki Kajimoto
kajimoto@hc.uec.ac.jp
Twitter ID kajimoto
Hash tag #itsys

Schedule

- 4/5 講義 Lecture
- 4/12 講義 Lecture
- 4/19 講義 Lecture
- 4/26 (Conference)
- 5/3 休日
- 5/10 講義 Lecture
- 5/17 講義 Lecture
- 5/24 (Conference)
- 5/31 講義 Lecture
- 6/7 講義 Lecture / 発表論文選択
- 6/14 講義 Lecture
- 6/21 (Conference)
- 6/28 発表 Presentation
- 7/5 発表 Presentation
- 7/12 発表 Presentation
- 7/19 発表予備日 ←変更
- 7/26 (Conference)
- 8/2 (Conference)

Outline of the lecture

1. 人間計測手法 / Measuring Human
2. 視覚 / Human Vision System
3. 視覚センシング / Visual Sensing
4. 視覚ディスプレイ / Visual Display
5. 聴覚、聴覚インタフェース / Auditory Interface
6. 触覚、触覚インタフェース / Tactile Interface
7. 力覚、力覚インタフェース / Haptic Interface
8. 移動感覚インタフェース / Locomotion Interface



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))

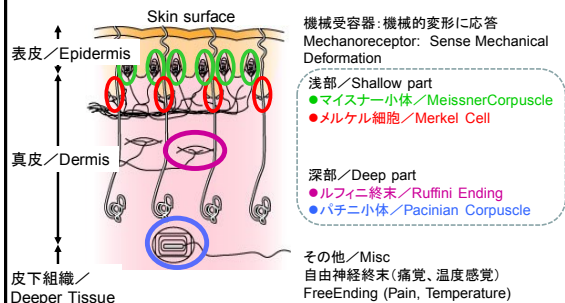
- 皮膚表面の変形 (皮膚感覚 / Cutaneous Sense, Skin Sense)
- 筋肉の伸縮、関節角 (深部感覚・力覚 / Proprioception, Force Sense)

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

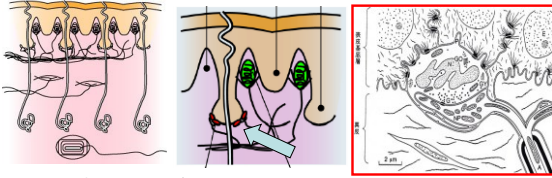
TODAY's TOPIC

1. Skin Sensation Mechanism
2. Tactile Perception & Illusion
3. Tactile Display
4. Tactile AR

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.

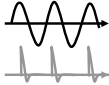
(参考) 蒸気圧覚



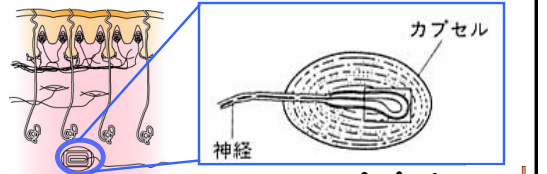
マイスナー小体 / Meissner Corpuscle



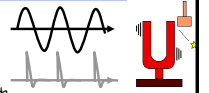
- 皮膚下0.7mmに密に存在。
- 低周波振動(15-100Hz)に反応(共振30Hz)
- 発火周波数 ~ 振動周波数
- 単独の活動では振動感覚、パタパタ感を生じる
- Densely populated at 0.5 - 0.7mm depth.
- Sense Low Frequency Vibration (15-100Hz)
- Has Resonant Frequency (30Hz)
- Pulse Frequency ~ Vibration Frequency
- Single Activity Generates "Flutter" Vibratory Sensation



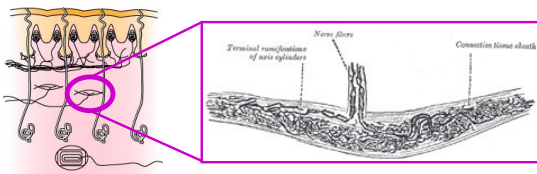
パチニ小体 / Pacinian Corpuscle



- 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

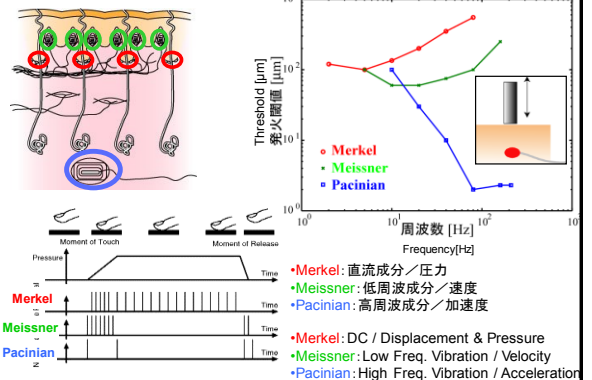


ルフィニ終末 / Ruffini Ending

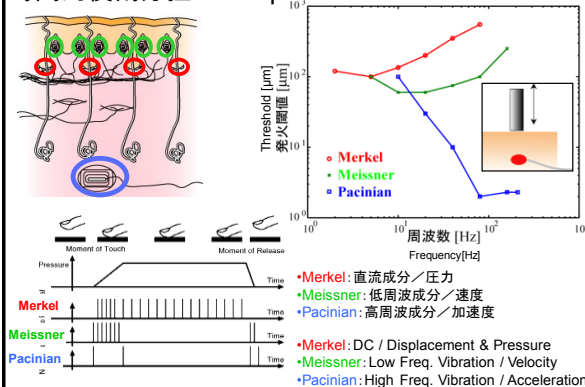


- 皮膚下2mm以上の深部に疎らに存在。
- 静的な横ずれに反応
- 発火頻度は横ずれの大きさに比例
- 単独の活動では感覚を生じない
- Sparsely Populated in a deep region (2mm~ depth)
- Senses Static Horizontal Deformation
- Pulse Frequency is Proportional to Horizontal Deformation.
- Single activation does not generate sensation

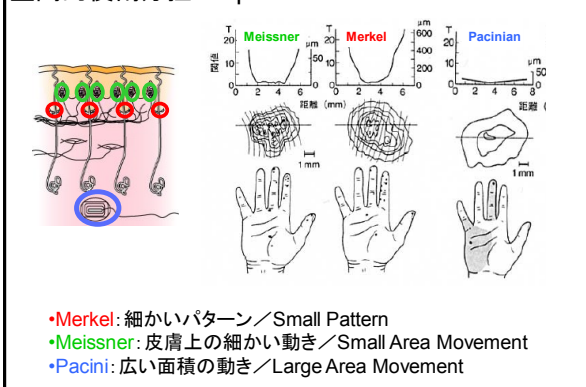
時間的役割分担 / Temporal Roles



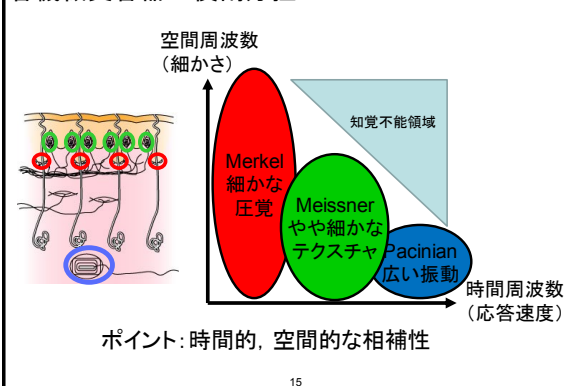
時間的作用分担 / Temporal Roles



空間的作用分担 / Spatial Roles

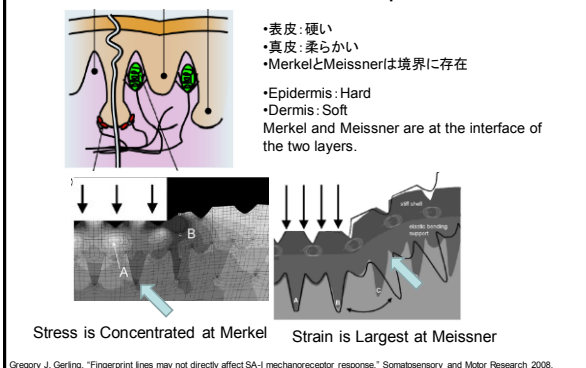


各機械受容器の役割分担

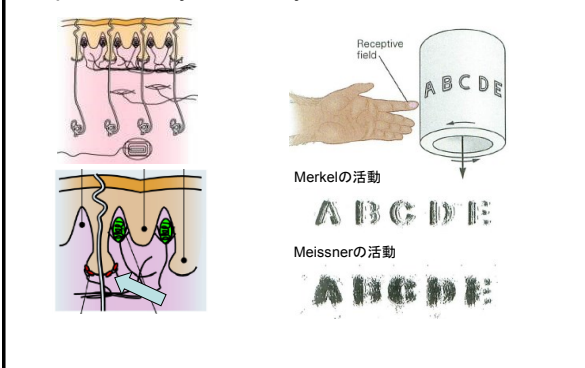


皮膚構造と受容器

Skin Structure and Mechanoreceptors

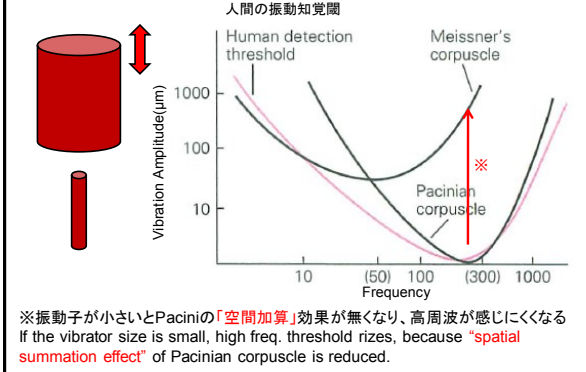


形状は主にMerkelによってコーディングされる

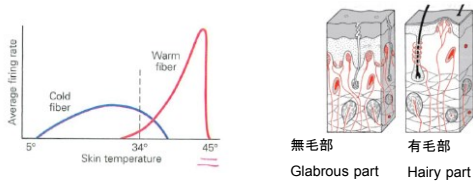


周波数は受容器の活動比率でコーディングされる

Frequency is mainly coded by combination of receptor activities.



その他の触覚 / Other cutaneous sensations



皮膚表面付近の自由神経終末 (C繊維)
Free nerve ending near skin surface (C fiber)
●温度感覚: 冷繊維と温繊維 / Temperature sensation by two fibers.
●痛覚: 鋭痛と鈍痛はA δ 繊維とC繊維が担当 / Pain sensation by two fibers

有毛部 / Hairy skin
●毛包受容器 / Follicle Receptor
毛の根元を取り巻き、毛が曲がる時のみ活動 (速度検出)
ただしこれに代わり、Meissner小体は無い。
Activated by low frequency vibration, substituting Meissner corpuscle

(参考) 温度感覚と神経の種類

Group	Axon	Threshold (°C)	Range (°C)
侵害性冷覚	C fibers, 0.5-2.0 m/sec, rare	26-27	Down to tissue destruction
冷覚	A-delta, 13-15 m/sec, density 50-70 fibers/cm ²	34	34-26
温覚	C fibers, 0.5-2.0 m/sec, density 50-70 fibers/cm ²	36	36-42
侵害性温覚	(1) C fibers, 0.2-2.0 m/sec	42	42-52
	(2) A-delta	42	42-52
Extreme heat	A-delta-II, rare	52	Up to tissue destruction

神経の種類と伝導速度: A δ 神経は13-15m/s, C繊維0.5-2m/s.
C繊維は圧倒的に遅い

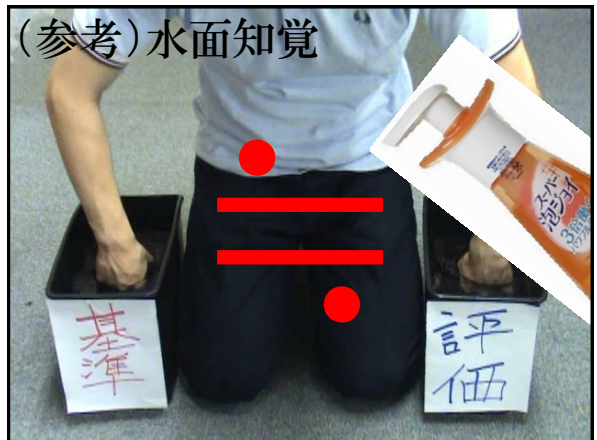
温度感覚神経の伝導速度はなぜそれぞれ異なるのか? 一般的な説明なし。

おそらく可能な説明 (定説ではありません):
●冷覚: 「触った瞬間の温度変化」から、材質感を判定⇒素早いA δ
●侵害性冷覚・温覚: 「環境の温度」から、その場を離れるかどうかを判断⇒遅いC
●侵害性温覚: 熱い火、直射日光等を避ける⇒素早いA δ

(参考) 水面知覚



(参考) 水面知覚



どうやって調べる / How we know?

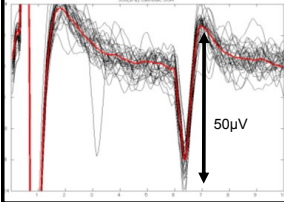
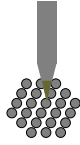


By using needle, we can directly measure nerve activities. Valbo, "Sensations evoked from the glabrous skin of the human hand by electrical stimulation of unitary mechanosensitive afferents," Brain Res., 1981.

Procedure

(Medical Doctor's License Required)

- (0) See where the nerve bundle is. (by ultrasonography)
- (1) Insert a needle ($\phi 0.1\text{mm}$), which is connected to Amp&Speaker
- (2) Identify Location and Type of Receptor by the Sound.
- (3) Do Experiment on that Location.



TODAY's TOPIC

1. Skin Sensation Mechanism
2. Tactile Perception & Illusion
3. Tactile Display
4. Tactile AR

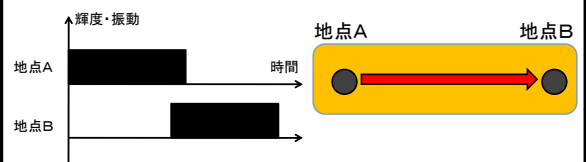
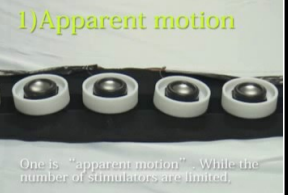
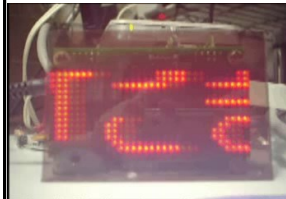
触覚の(狭義の)錯覚: 錯触 Tactile Illusions

- 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 (Funneling)
- 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

視覚で類推できる錯触例: 仮現運動 Tactile Illusion similar to vision: Apparent motion



(参考): 跳躍運動 (cutaneous saltation, rabbit)

Tactor Sites: 1 2 3 4 5 6 7

Stimulus Pattern: Veridical Mode

Stimulus Pattern: Saltatory Mode

Veridical Sensation:

● 小数の場所 (例えば3箇所) を複数回ずつ経時的に叩くと、連続的に移動しながら刺激されたように感じる

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 (Funneling)

地点A 知覚位置 地点B

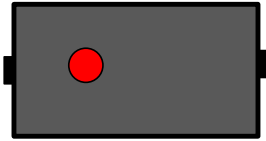
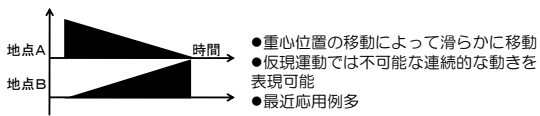
- 短パルス刺激で発生
- 複数刺激子の間に知覚
- 位置は移動できる

● Generated by short pulses

● Image generated between stimulators

● Position can be controlled

(参考)ファントムセンセーションによる移動呈示



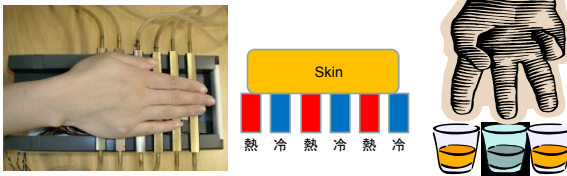
触覚独自の錯触:ベルベットイリュージョン
Tactile Unique Illusion: Velvet Illusion



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、モフ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, smooth surface like velvet is felt.

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.

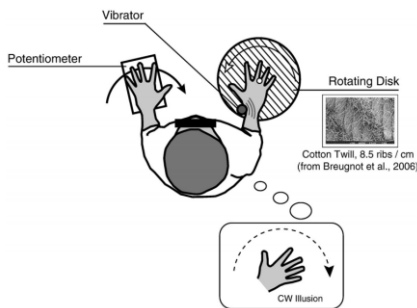
実験上、皮膚を損傷せずに痛みを生成するためによく用いられる
Used for the generation of pain sensation without skin damage.

皮膚感覚による動きの錯覚(1)



力と同時に触覚的な「流れ場」を提示すると、指の「運動（ぬめり・滑り）」を感じる
Okabe et al., Fingertip Slip Illusion with an Electrocuteaneous Display, ICAT2011

(逆)皮膚感覚による動きの錯覚(2)



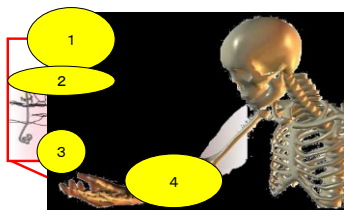
●手のひらへの回転状触刺激+振動による筋活動⇒手首が「回転し続ける」錯覚。

●Blanchard et al., Combined contribution of tactile and proprioceptive feedback to hand movement perception, Brain Res. 2011.

TODAY's TOPIC

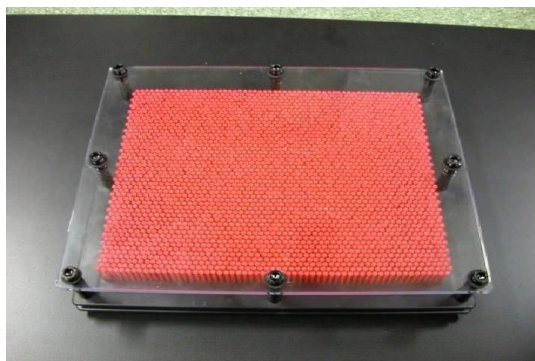
1. Skin Sensation Mechanism
2. Tactile Perception & Illusion
3. Tactile Display
4. Tactile AR

触覚を再構築するには
How to produce Touchable Illusion?



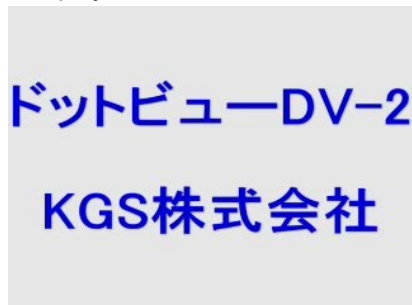
- (1)世界(の表面)を再構築/Reproduce the World Surface
- (2)皮膚の変形を再構築/Reproduce Skin Deformation
- (3)受容器活動を再構築/Reproduce Receptor Activity
- (4)神経活動を再構築/Reproduce Nerve Activity

Reproduce the World (Shape)



インタラクティブシステム特論

Tactile Display for the blind



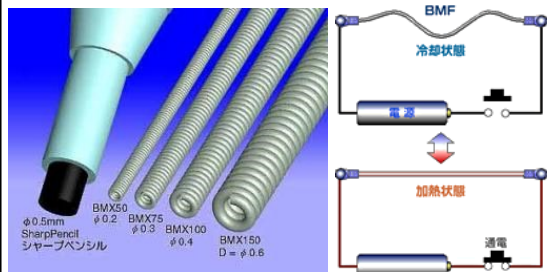
- 大量の高密度実装→アクチュエータの小ささ、安さが鍵
- Numerous, dense arrays→Actuator needs to be small and cheap

Xmen,2000



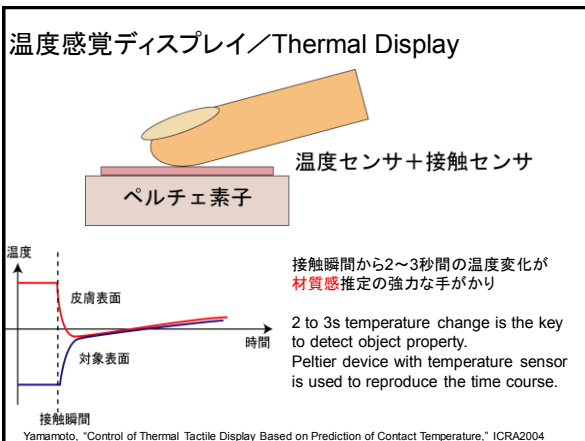
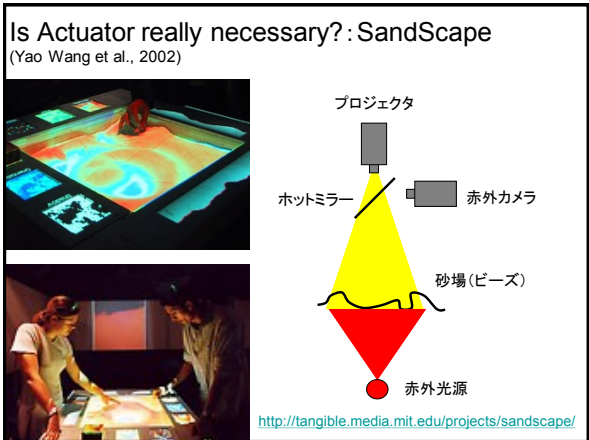
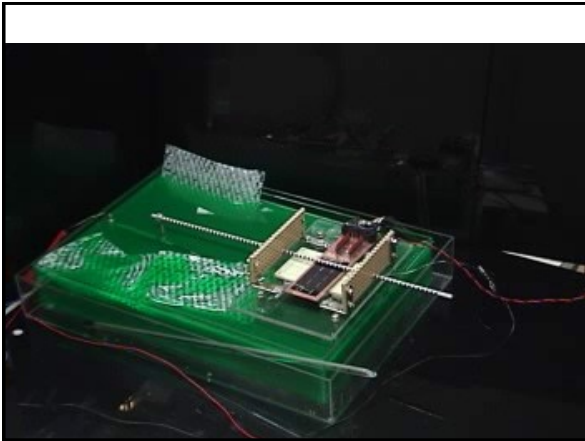
より細いアクチュエータ＝形状記憶合金？
Thinnest actuator = SMA?

Coil-Type SMA (Shape Memory Alloy)
Extremely thin and moves large

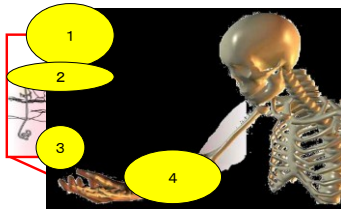


Biometal Demo





How to produce Touchable Illusion?

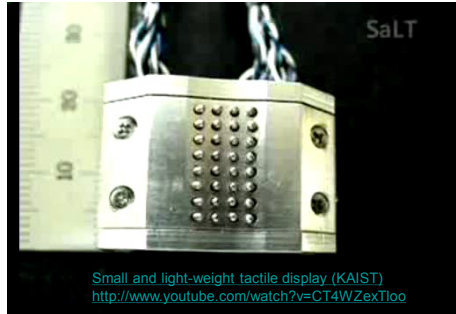


- (1) Reproduce the World (Shape)
- (2) Reproduce Skin Deformation
- (3) Reproduce Receptor Activity
- (4) Reproduce Nerve Activity

インタラクティブシステム特論

Reproduce Skin Deformation

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



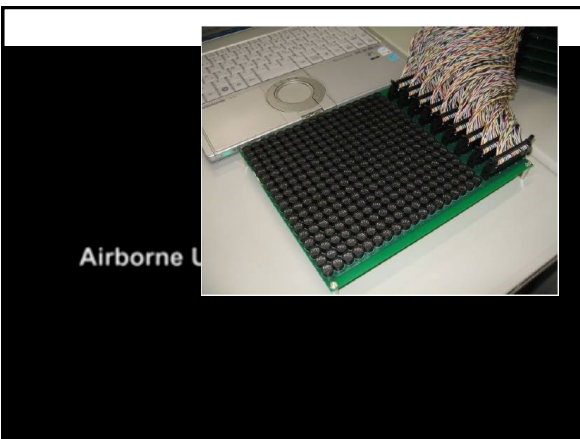
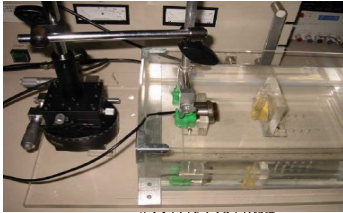
Small and light-weight tactile display (KAIST)
<http://www.youtube.com/watch?v=CT4WZexT1oo>

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

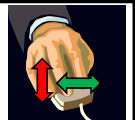
Actuator should disappear?



Ultrasound generates Static Pressure
 Iwamoto "Focused ultrasound for tactile feeling display," In Proc. of ICAT2001.



上下変位とは限らない Vertical Deformation is not Enough



出発点: 触覚ディスプレイ研究者の共通疑問
 「なぜ現行の触覚ディスプレイでザラザラ感が出せないのか？」

Although many researchers made "dense" tactile displays,
 No one succeeded to reproduce "texture" sensation.

皮膚一対象間のすべりが触覚の本質ではないか？
 Horizontal "Slip" is Essential??

凹凸感にとって重要なものは何か(1/2) What is essential for bump sensation?

a. Gaussian surface $y(x)$
 $F_x = -F_y = F_z$
 $F_x = F_y = F_z$
 b. Physical surfaces
 Physical bump (condition 4) Physical hole (condition 5)
 c. Flat surface
 Virtual bump (condition 2) Virtual hole (condition 3)
 d. Force-masked physical surfaces
 $F_x = 0$ Force-masked bump
 $F_x = 0$ Force-masked hole

e. Force-masked bump with control virtual bump (condition 6)
 f. Force-masked hole with control virtual hole (condition 7)
 g. Force-masked bump with aligned virtual hole (condition 8)
 h. Force-masked hole with aligned virtual bump (condition 9)

i. Haptic interface components: Curator, Plate, Haptic surface, Stylus, Fixed reference, Physical surface, Subject's finger, Load cell, Piezoresistive joint, Wheel.

指なぞり時の凹凸⇒横方向の「力(ブレーキ)」と縦方向の「形状」という手がかり。「形状」よりも「力」を優先して形状知覚をしている。

Gabriel Robles-De-La-Torre & Vincent Hayward: Force can overcome object geometry in the perception of shape through active touch Nature 2001.

凹凸感にとって重要なものは何か(2/2) What is essential for bump sensation?

(a) (b) (c) (d) (e)

大域的な凹凸感の手がかり:
 板の「傾き」 >> 板の高さ

Maarten W. A. Wijnjtes, Akihiro Sato, Vincent Hayward, Astrid M. L. Kappers
 Local Surface Orientation Dominates Haptic Curvature Discrimination, Trans. On Haptics, 2009.

水平変位の実現

Moving skin horizontally.

- 能動的手法: 皮膚を水平に駆動
Active type: actively drive skin horizontally.



✓装着型に向く / Good for wear type.

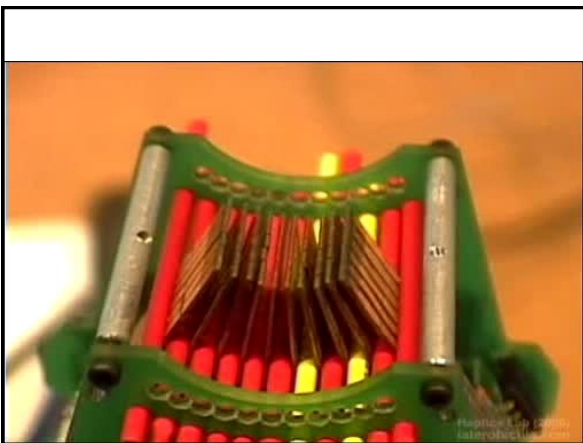
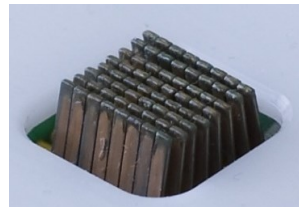
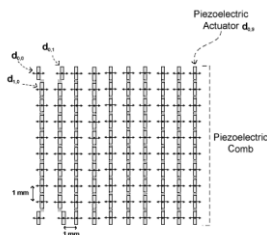
- 受動的手法: 摩擦係数を変化、皮膚が動いて初めて知覚
Passive type: friction coefficient is controlled, and perceived by skin motion.



✓環境型に向く /
Good for environmental type.

Active type Horizontal Display

- Horizontal Vibration is achieved by Micro-Machine
Hayward, "Tactile display device using distributed lateral skin stretch," ASME, DSC, 2000.



Active type Horizontal Display



静電アクチュエータによる皮膚水平方向力の生成
 Horizontal force generated by electro-static actuator

山本「静電気力による摩擦制御とフィルム移動子を用いた薄型皮膚感覚ディスプレイ」日本VR学会大会 2002.

モータによる水平力提示

**Lateral-Force-Bated
2.5 Dimensional
Tactile Display**

Satoshi Gaga, Koichiro Deguchi
Tohoku University, JAPAN

<http://www.youtube.com/watch?v=Prq9-uJSqSE>

碾織他、剪断力を用いた2.5次元触覚ディスプレイにおける定量的凹凸感提示手法、VR学会大会2011

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.

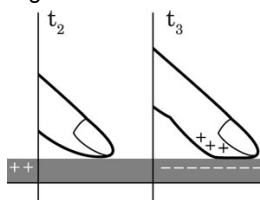
Nara et al., "Surface Acoustic Wave Tactile Display", IEEE CG&A, 2001.
Winfield et al., "TPaD: Tactile Pattern Display Through Variable Friction Reduction", World Haptics Conf. 2007



TPaD(Laura Winfield, 2007)

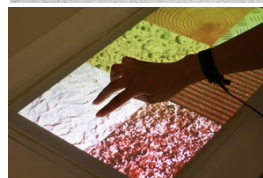
<http://lms.mech.northwestern.edu/projects/TPaD/index.htm>

Passive type Horizontal Display
高压電極と皮膚の電氣的吸引利用
Using adhesion between skin and electrode by high voltage



Kaczmarek et al., "Polarity Effect in Electro-vibration for Tactile Display," IEEE Trans. Biomedical Engineering., 2006.

Olivier Bau et al., "TeslaTouch: Electro-vibration for Touch Surfaces," UIST2010

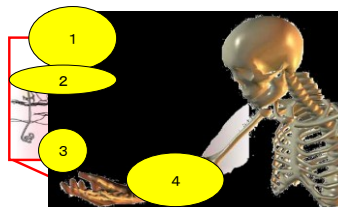


TeslaTouch (2010)

<http://www.teslatouch.com/>

インタラクティブシステム特論

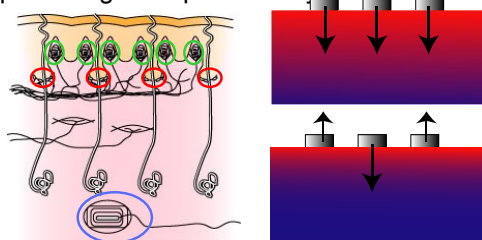
How to produce Touchable Illusion?



- (1) Reproduce the World (Shape)
- (2) Reproduce Skin Deformation
- (3) Reproduce Receptor Activity
- (4) Reproduce Nerve Activity

インタラクティブシステム特論

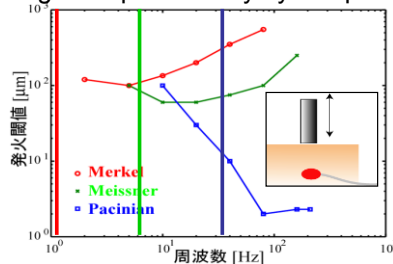
受容器活動再現型ディスプレイ Reproducing Receptor Activity



歪到達深度調整による選択刺激(従来の上下に「引っ張り」付与)
Depth Selective Stimulation by vibrators' paired movement

Asamura, "A method of selective stimulation to epidermal skin receptors for realistic touch feedback," IEEE VR, 1999.

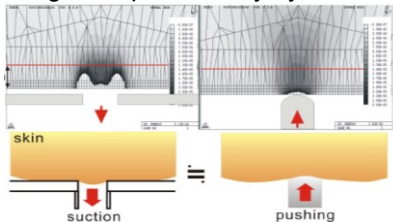
周波数特性に着目した受容器活動再現 Reproducing Receptor Activity by Frequency



受容器の共振周波数を利用
Utilizing each receptor's resonant frequency

Konyo, "Tactile feel display for virtual active touch," IEEE Int. Conf. Intelligent Robotics & Systems, 2003.

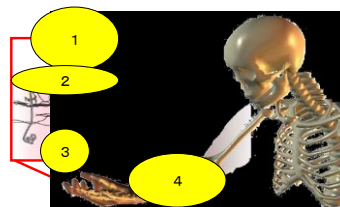
ひずみエネルギー再現に着目した受容器活動再現 Reproducing Receptor Activity by Strain Energy



空気吸引による圧覚生成 / Using air suction
吸引と押下で、受容器位置に生じる歪エネルギーが同じ→人は区別できない
Suction and push produces the same amount of strain energy, so that human cannot distinguish.

Makino "A cutaneous feeling display using suction pressure," SICE Annu. Conf., 2003.

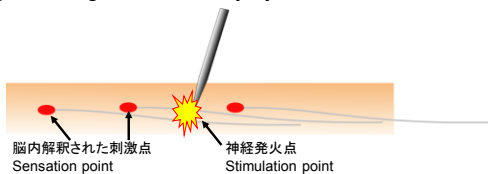
How to produce Touchable Illusion?



- (1) Reproduce the World (Shape)
- (2) Reproduce Skin Deformation
- (3) Reproduce Receptor Activity
- (4) Reproduce Nerve Activity

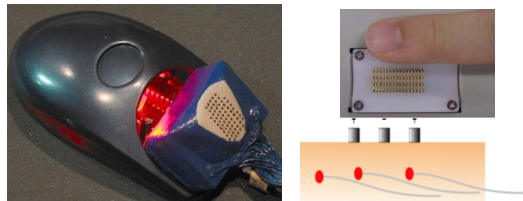
インタラクティブシステム特論

電気刺激により神経活動を再現 Reproducing Nerve Activity by Electrical Stimulation



- 利点: エネルギー効率 / 機械的脆弱性・共振特性から開放
- 課題: 空間的なマッピング・選択刺激の実現
- Good point: Energy efficiently, no mechanical parts so mechanical resonance free.
- Bad point: Stimulation point and Sensation point is different

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



神経末端の刺激され易さから空間マッピング実現
各受容器の神経配置の特徴を利用した選択刺激
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.

梶本「皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ」電子情報通信学会誌, 2001.

神経束への電気刺激
Stimulation to nerve bundle

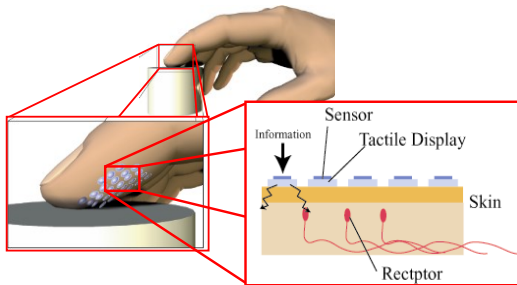


- 埋め込み型マトリクス電極。神経再生時に電極を通過して学習による空間マッピング。
 - 福祉用途
 - Matrix electrodes (holes) are embedded, and nerve will grow into the holes.
- 鈴木「神経再生型電極に関する研究」東京大学博士論文, 1998

TODAY's TOPIC

1. Skin Sensation Mechanism
2. Tactile Perception & Illusion
3. Tactile Display
4. Tactile AR

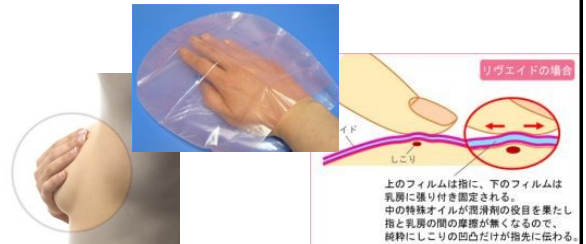
触覚のAR? / Tactile AR?



新しい人工受容器として機能

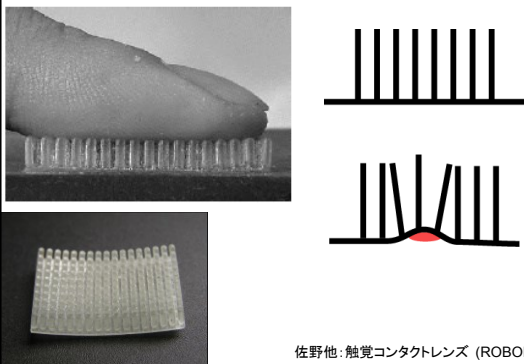
75

触覚ARとしての乳がん診断具 /
Breast Cancer Checker as Tactile AR



乳がん自己診断具 / Checking Breast Cancer
潤滑オイルの入った袋ごしに撫でると、表面のテクスチャに依存せず内部のしこり(腫瘍、tumor)を知覚できる
Rub breast through oil-contained thin plastic bag. The oil reduces surface texture, and internal tumor can be observed

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



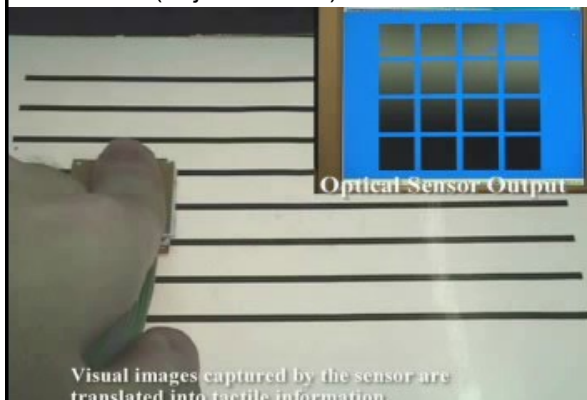
佐野他: 触覚コンタクトレンズ (ROBOMEC'04)

触覚のAR / Tactile AR

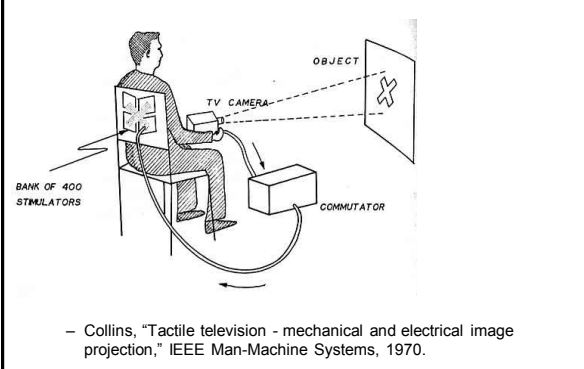


Kajimoto et.al, SmartTouch, SIGGRAPH2003.

SmartTouch(Kajimoto 2003)



視覚-触覚変換
Vision-Tactile Conversion for the blind



事例紹介: Forehead Retina System

2005年夏~(株)アイプラスとの共同研究

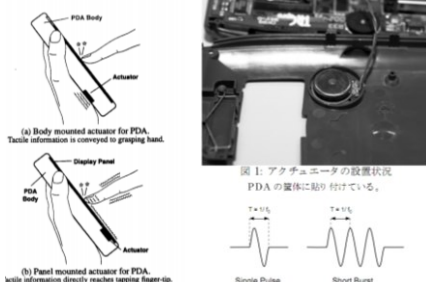
電気刺激: 小型、軽量、低消費電力
→ 携帯型視覚触覚変換装置の開発



使用状況



簡便な触覚AR: クリック感の付与
Simplest Tactile AR: Adding Clicking Sensation



クリック音のかわりに短時間の振動を与える。
接触という元の触覚にクリック触覚が追加されているという意味で触覚AR?
Fukumoto et al., Active click: tactile feedback for touch panels CHI2001

まとめ

- リアルな「さわった感覚」を提示できる皮膚感覚(触覚)ディスプレイは、未だ無い。
- 提示原理そのものが研究段階
- 現在の触覚ディスプレイ研究は、**触覚そのもの**の解明と歩調をあわせて取り組んでいる、アクロバティックな分野である。

Summary

- Until today, reseachers tried to generate realistic tactile sensations. Partially, it was achieved. But not yet enough (Not Hi-Fi enough)
- Tactile sensation itself has many unknown features, especially about psychophysics.
- Todays tactile research is a combination of science (why) and engineering (how). It is ideal for researcher who want to be scientist and engineer at the same time.

小テスト／Mini Test 次回開始まで

以下の全てに100字以内程度で解答せよ／Answer all questions within 50 words

1. メルケル細胞の役割について説明せよ Explain role of Merkel cell
2. マイスナー小体の役割について説明せよ Explain role of Meissner corpuscle.
3. パチニ小体の役割について説明せよ Explain role of Pacini corpuscle.
4. ルフィニ終末の役割について説明せよ Explain role of Ruffini ending
5. 温度感覚の仕組みについて説明せよ Explain mechanism of thermal sensation.
6. 触覚の仮現運動について説明せよ Explain tactile apparent motion
7. ファントムセンセーションについて説明せよ Explain Phantom Sensation
8. ベルベットイリュージョンについて説明せよ Explain velvet illusion
9. サーマルグリルイリュージョンについて説明せよ Explain thermal grill illusion