

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

- 4/7講義(lecture)1
- 4/14 講義(lecture)2
- 4/21講義(lecture)3
- 4/28講義(lecture)4
- 5/5 こどもの日
- 5/12出張のため休講
- 5/19講義(lecture)5
- 5/26講義(lecture)6
- 6/2講義(lecture)7
- 6/3(土)オープンラボ研究室見学(任意)
- 6/9 出張のため休講
- 6/16講義(lecture)8
- 6/23講義(lecture)9
- 6/30出張のため休講
- 7/7プレゼンテーション(presentation)1(テテルコフ先生セミナー  
<https://sites.google.com/site/dzmitrysetserukou/> )
- 7/14 World Haptics Conference報告(梶本)
- 7/21 CHI, UIST, Siggraph報告(梶本)

変更

【最終レポート】

今年は発表してもらう時間がとれないので...

以下の学会からインタラクティブシステムに関連するフルペーパー1本を選び、その内容を5分以下のプレゼンにしてビデオ撮影、自分のアカウントでYoutubeにアップして、リンクアドレスを提出してください。  
(これまでどおりレポート提出のwebページを使用)。

2017年のCHI/IEEE-VR/3DUI/World Haptics,  
2016年のSiggraph, Siggraph Asia

梶本が講義中に紹介したのも良い。  
締め切りは8/4(金)

著作権のあるコンテンツになるので、「リンクを知っている人のみ閲覧可能」のオプションを用いること。

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. 触覚、触覚インタフェース応用/Tactile Interface2
8. 力覚、力覚インタフェース/Haptic Interface
9. 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

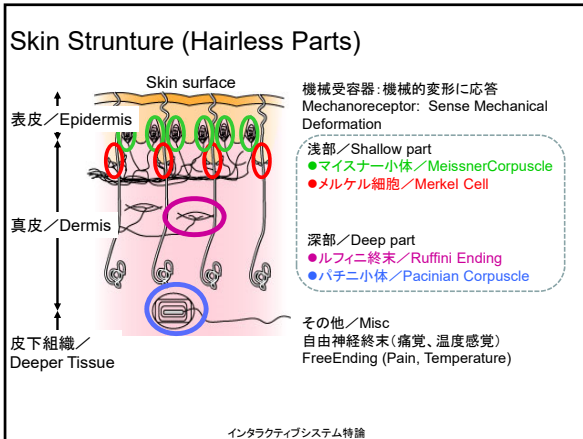
(Haptic＝「接触(Contact)」(ギリシャ語/in Greece))

- 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



### 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
- 静的な歪みに応答
- 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.



### 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

カプセル  
神経

- 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

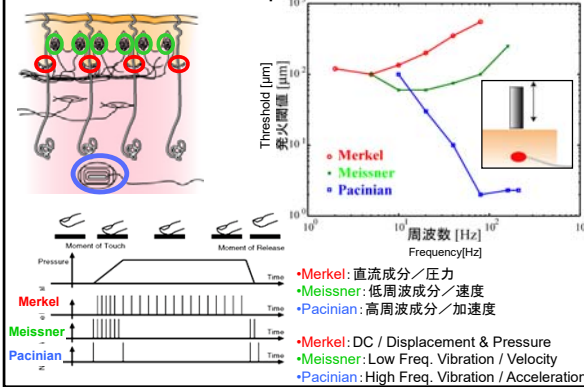
- Sparsely populated at deep region (2mm~)
- Sense High Frequency Vibration (60-800Hz)
- Has Resonant Frequency (250Hz)
- Pulse Frequency ~ Vibration Frequency
- Single Activity Generates "numb" sensation, just like touching a tuning fork or speaker

### ルフィニ終末/Ruffini Ending

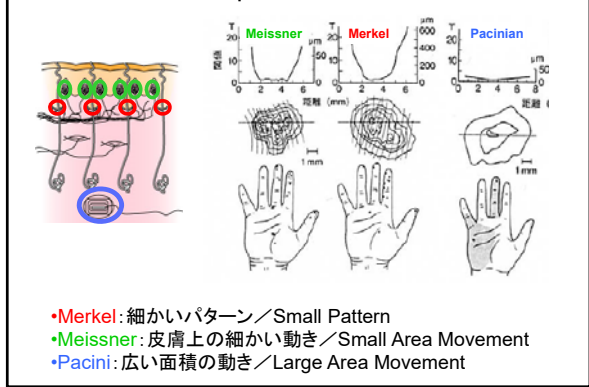
- 皮膚下2mm以上の深部に疎らに存在。
- 静的な横ずれに応答
- 発火頻度は横ずれの大きさに比例
- 単独の活動では感覚を生じない

- 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

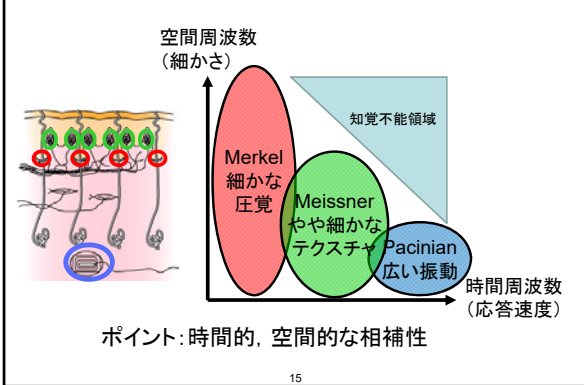
### 時間的役割分担 / Temporal Roles



### 空間的役割分担 / Spatial Roles

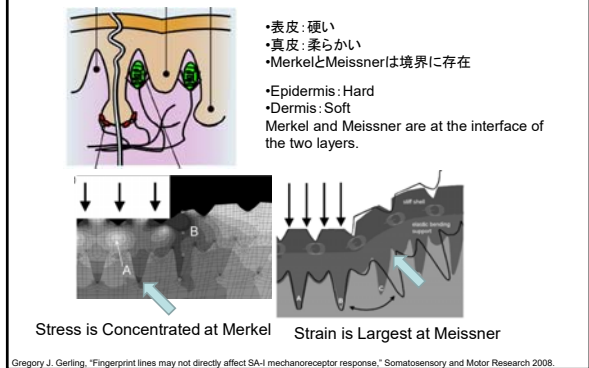


### 各機械受容器の役割分担

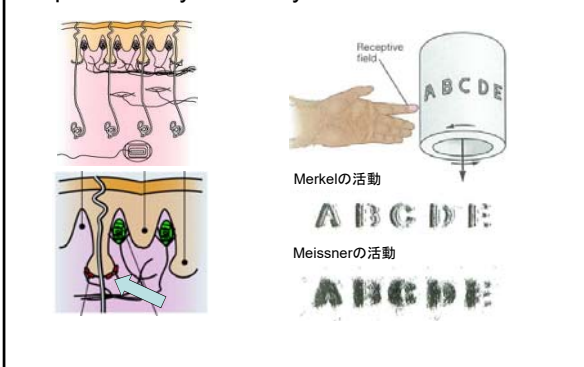


### 皮膚構造と受容器

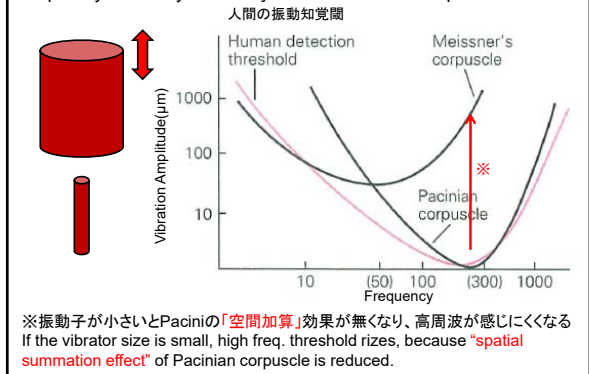
#### Skin Structure and Mechanoreceptors



### 形状は主にMerkelによってコーディングされる Shape is mainly coded by Merkel Cells

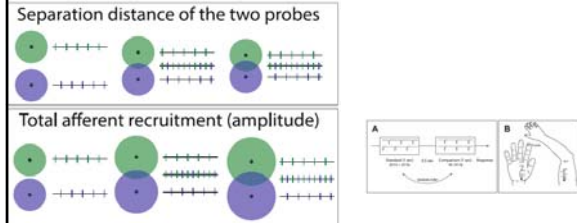


### 周波数は受容器の活動比率でコーディングされる Frequency is mainly coded by combination of receptor activities.



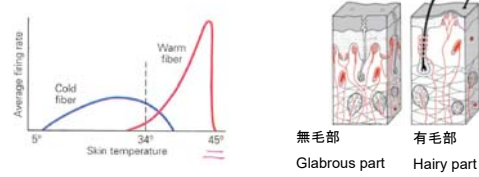
## EuroHaptics2016, Temporal integration of tactile inputs from multiple sites

Sarah McIntyre, Ingvars Birznieks, Robin Andersson, Gabriel Dicander, Paul Breen, Richard Vicky



異なる二箇所に振動を与える。振動の周波数は同じで位相をずらす。これは脳にとっては例えば2倍の周波数に感じられないかという研究→非常に近い時は当然2倍近くに感じる。しかし16cmくらい離れていても結構高い周波数に感じる。これは振幅を小さくしても同じなので機械的に伝わったためとは考えにくい。  
Simultaneously presenting vibration to two sites elicit "doubled" frequency feeling, although the positions are quite separated.

## 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 $\gamma$ 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

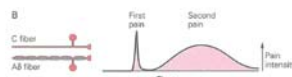
## C繊維とは？

受容器につながる多くの神経: A $\beta$ , A $\gamma$ 繊維  
高速に情報を伝えるMyelinatedな神経線維

C繊維: Unmyelinatedな神経線維。伝達速度が遅い。

温度感覚: C繊維

痛覚: A $\gamma$ 繊維とC繊維(緊急の痛みと鈍痛の違い)



無毛部のMeissner小体に入り込む繊維: 数本C繊維が存在。

有毛部にも機械的変形に反応するC繊維が存在。

- fMRIによる反応: 快感を司る脳の部分が活動  
→愛情や友情によるスキンシップを取っている?

21

## (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 <sup>2</sup>	34	34-26
温覚	C-fibers, 0.5-2.0 m/sec, density 50-70 fibers/cm <sup>2</sup>	36	36-42
侵害性温覚	(1) C-fibers, 0.3-2.0 m/sec (2) A-delta	42	42-52
Extreme heat	A-delta-II, rare	52	Up to tissue destruction

神経の種類と伝達速度: A $\delta$ 神経は13-15m/s, C繊維0.5-2m/s.

C繊維は圧倒的に遅い

温度感覚神経の伝達速度はなぜそれぞれ異なるのか? 一般的な説明なし。

普通に考えると、侵害性の冷覚も温覚も早い応答であるべき。でも侵害性の冷覚は遅いC繊維。

おそらく可能な説明(定説ではありません):

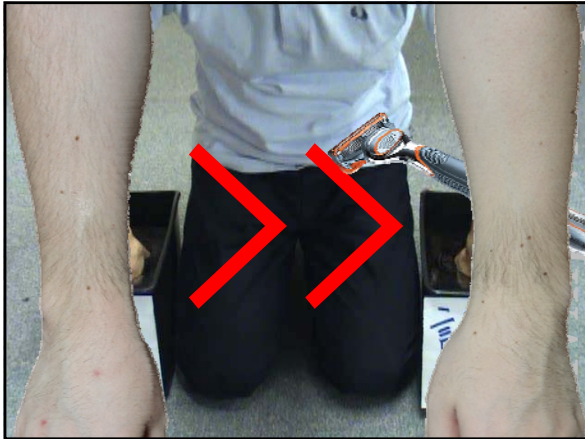
- 冷覚: 「触った瞬間の温度変化」から、材質感を判定⇒素早いA $\delta$
- 侵害性冷覚・温覚: 「環境の温度」から、その場を離れるかどうかを判断⇒遅いC
- 侵害性温覚: 熱い火、直射日光等避ける⇒素早いA $\delta$

## (参考) 水面知覚



## (参考) 水面知覚





どうやって調べる／How we know?

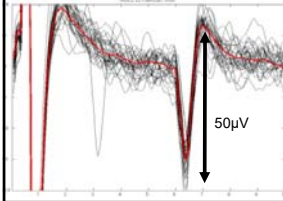
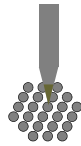


By using needle, we can directly measure nerve activities. Vallbo, "Sensations evoked from the glabrous skin of the human hand by electrical stimulation of unitary mechanosensitive afferents," Brain Res., 1981.

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

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)
- ペ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

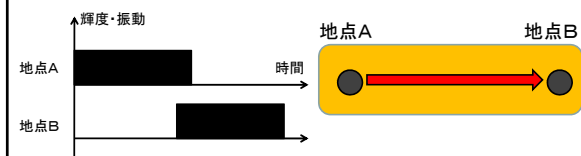


特に近年、触覚研究の発展に伴って増加、  
視覚研究者による研究多。  
Recent works revealed new tactile illusions

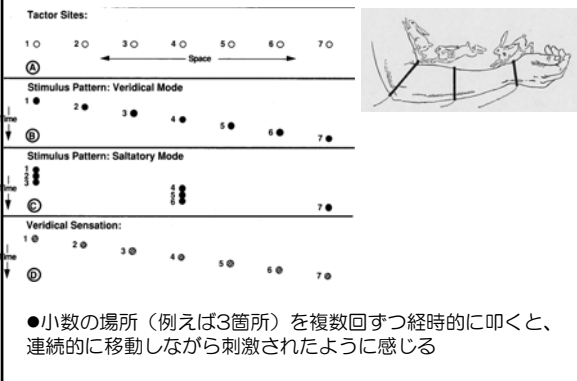
視覚で類推できる錯触例: 仮現運動

Tactile Illusion similar to vision: Apparent motion

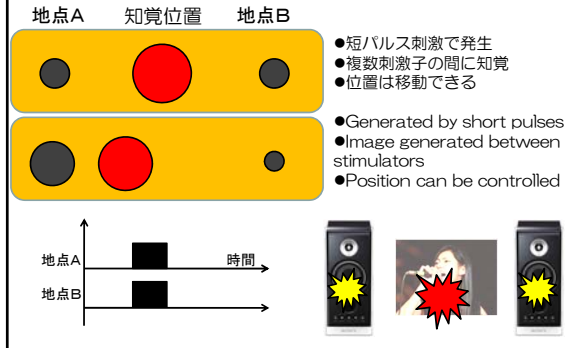
1) Apparent motion



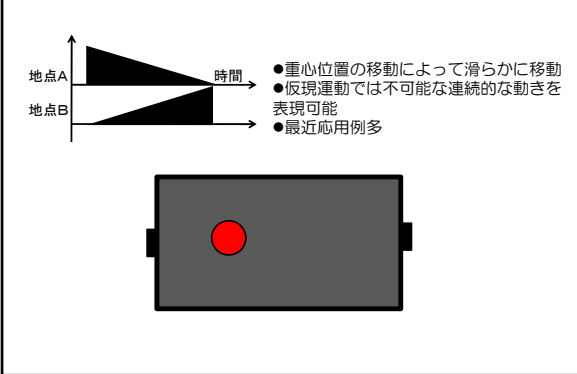
(参考) : 跳躍運動 (cutaneous saltation, rabbit)



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)



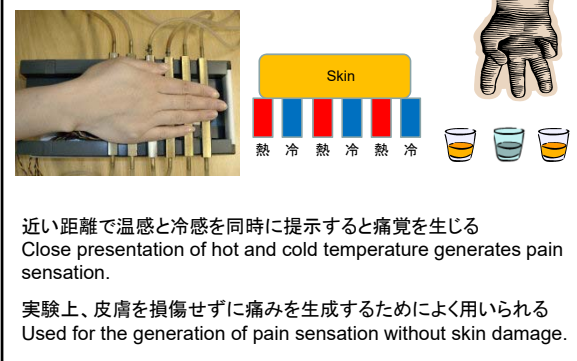
(参考) ファントムセンセーションによる移動呈示



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



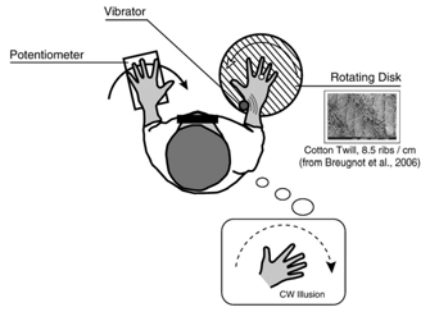
触覚独自の錯触: サーマル・グリル・イリュージョン  
Tactile Unique Illusion: Thermal Grill Illusion



皮膚感覚による動きの錯覚(1)



(逆)皮膚感覚による動きの錯覚(2)

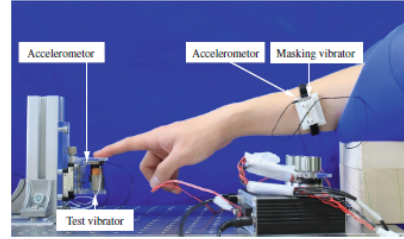


- 手のひらへの回転状触刺激+振動による筋活動⇒手首が「回転し続ける」錯覚。

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

触覚におけるマスキングの例: Frequency-Specific Masking Effect by Vibrotactile Stimulation to the Forearm, EuroHaptics2016

Yoshihiro Tanaka, Shota Matsuoka, Wouter Bergmann Tiest, Astrid Kappers, Kouta Minamizawa, Akihito Sano

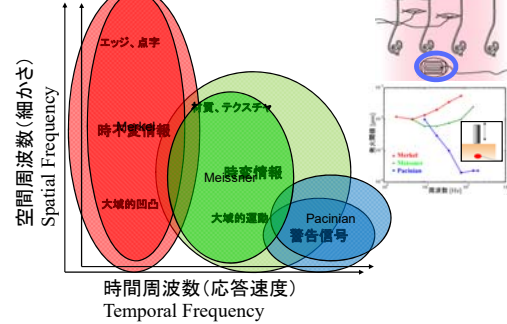


指先に閾値より少し上の振動を与えておき、腕にやや強い振動を与えると指先の感覚が完全に消えてしまう。異なる周波数ではこれは生じない。劇的に消えるので面白い。  
Presentation of vibration to forearm dramatically "mask" vibration feeling at fingertip.

TODAY'S TOPIC

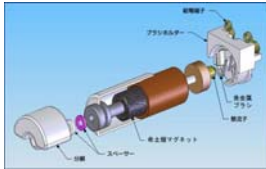
1. Skin Sensation Mechanism
2. Tactile Perception & Illusion
3. Tactile Display

提示したい情報

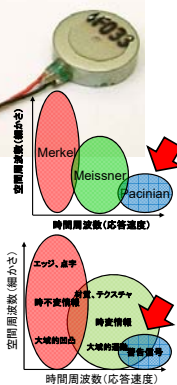


提示したい情報⇒必要なスペック  
ハードウェアと密接な関係(すべての領域を提示できる手法は無い)

振動モータによる警告/Vibration Motor

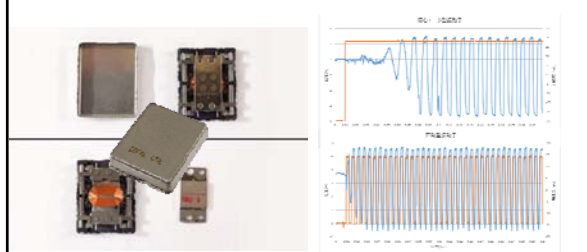


- DCモータ+偏心おもり
  - 電圧を変えると回転速度(振動周波数)と振動振幅が同時に変更。
  - 材質、テクスチャの提示には不向き
  - 定格電圧でPacini小体の周波数領域で振動するように設計
- 警告信号、大域的運動に好適



41

直動共振アクチュエータ/Linear Resonant Actuator



- 偏心おもり: 一定回転速度に達するまでの時間遅れ: 80ms程度
- ボイスコイル振動子に共振特性をもたせたLinear Resonant Actuator: 遅延10ms以下。
- 共振周波数150Hz~200Hz. Pacini領域を扱う
- 現在AppleWatch等にも採用。

42

理想の振動子:スピーカ/ Audio speaker is ideal



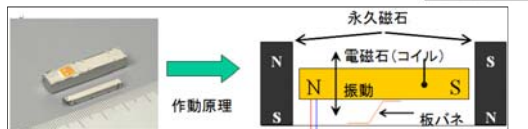
- エネルギー効率は落ちるものの、任意の周波数／振幅を実現。
- 駆動系はほぼオーディオアンプ(場合によっては低周波特性を改善)
- 特に近年、小型でも低周波で駆動できるスピーカが市販されるようになり、入手性も良い。

43

スピーカ型アクチュエータの小型化  
Miniaturizing speaker

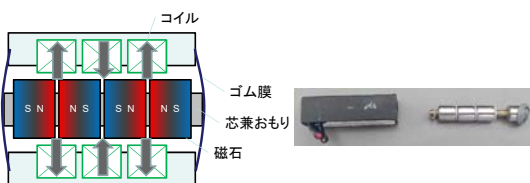
特に携帯電話用の振動子としていくつか開発された

- 音声スピーカとの兼用を念頭においたもの
  - NECトーン、マルチアクター(製造終了)
  - 並木精密宝石、振動スピーカ
- アクチュエータの形状を工夫したもの
  - アルプス電気:ForceReactor
- 触覚提示研究用として販売されているもの
  - Haptuator(Tactile Labs)



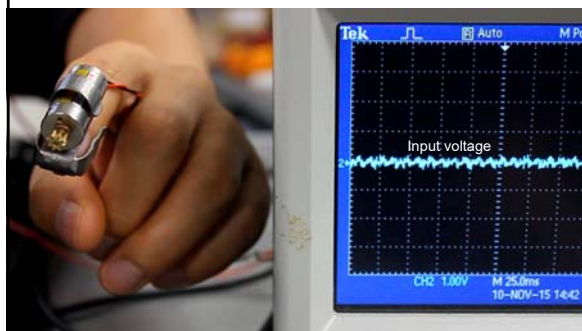
46

Structure of Haptuator mk2



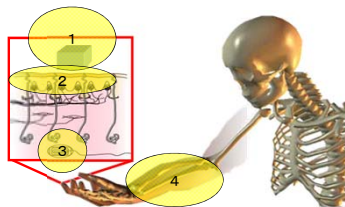
- 磁束がコイルを貫通するために、磁石同士を逆極性で接続
- コイルの広い面積に効率よく磁束が貫通
- 振動体として磁石+芯を用い、コイルが筐体側にくるため、振動体が重量が比が大きい。これは筐体に触れる触覚提示では重要。

DCモータによる振動提示(1000fps)



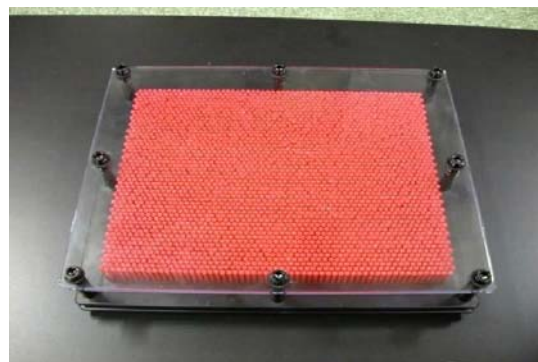
ヤシム、岡崎、橋本: モータ回転加速度を用いた振動触覚提示の周波数特性. 第20回日本バーチャルリアリティ学会(2015年9月 芝浦工業大学), 2015.  
V. Yem, R. Okazaki and H. Kajimoto, "Vibrotactile and Pseudo Force Presentation using Motor Rotational Acceleration." Proc of IEEE Haptics Symposium, Philadelphia April 8-11th, pp. 47-51, 2016.

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

# ドットビューDV-2

## KGS株式会社

- 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

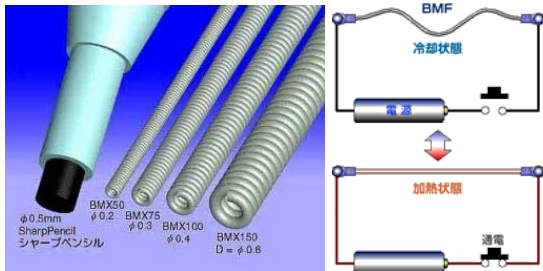
Xmen,2000



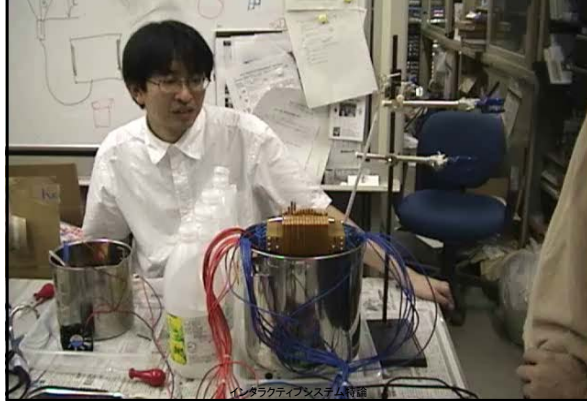
より細かいアクチュエータ=形状記憶合金?

Thinnest actuator = SMA?

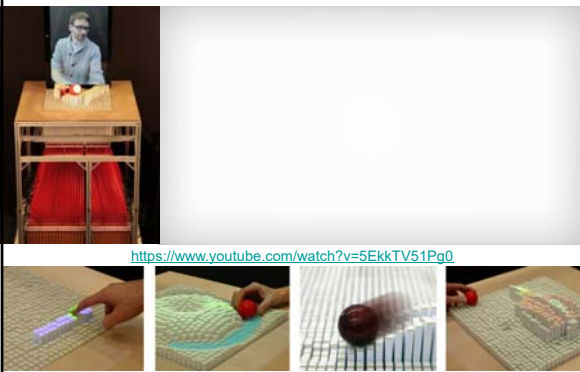
Coil-Type SMA (Shape Memory Alloy)  
Extremely thin and moves large



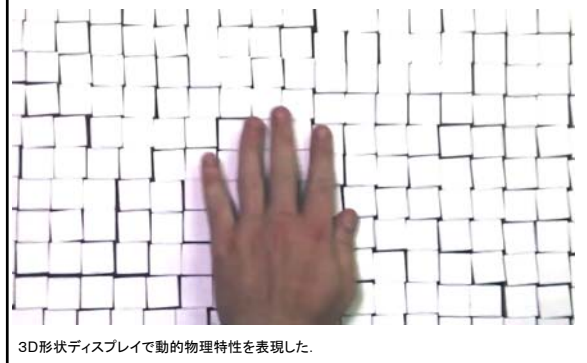
PopUp(Nakatani et al, 2005)



inFORM (Sean Follmer, 2013)

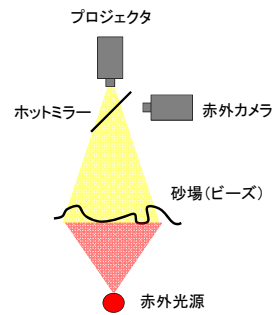
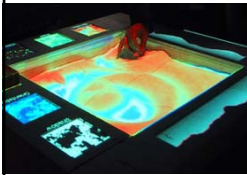


Materiable: Rendering Dynamic Material Properties in Response to Direct Physical Touch with Shape Changing Interfaces  
Ken Nakagaki, Luke Alexander Jozef Vink, Jared Counts, Daniel Windham, Daniel Leithinger, Sean Follmer, Hiroshi Ishii, CHI2016



### Is Actuator really necessary?: SandScape

(Yao Wang et al., 2002)

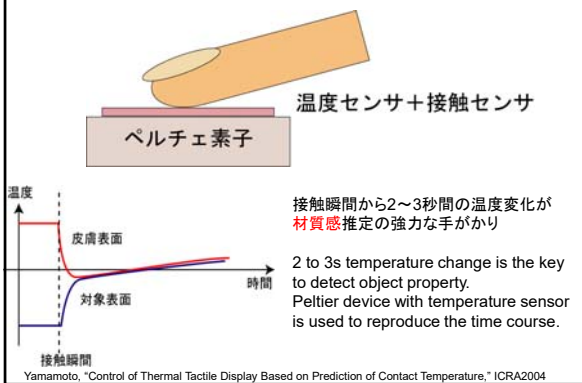


<http://tangible.media.mit.edu/projects/sandscape/>

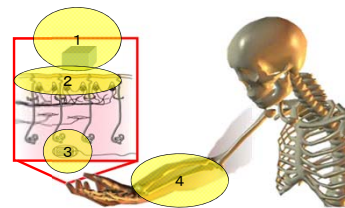
### SEGA えーでるすなば(2015)



### 温度感覚ディスプレイ/Thermal Display



### How to produce Touchable Illusion?

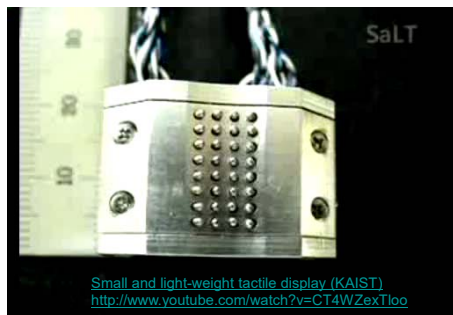


- (1) Reproduce the World (Shape)
- (2) Reproduce Skin Deformation
- (3) Reproduce Receptor Activity
- (4) Reproduce Nerve Activity

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**.

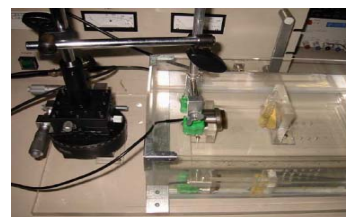


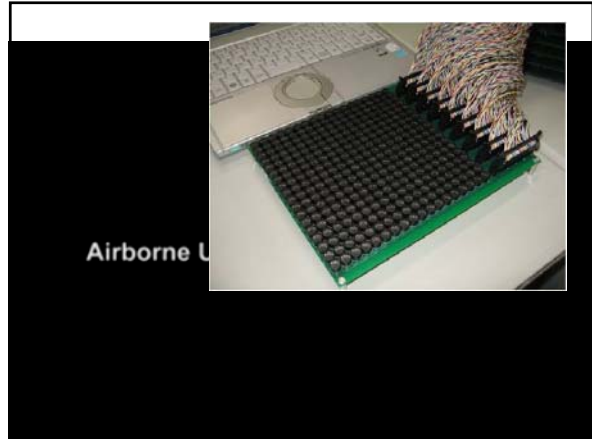
Problem: How can the actuator be so small and dense? (again)

### Actuator should dissappear?



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





### Three-Dimensional Mid-Air Acoustic Manipulation

Yoichi Ochiai, Takayuki Hoshi, Jun Rekimoto: Three-dimensional Mid-air Acoustic Manipulation by Ultrasonic Phased Arrays arXiv:1312.4006 [physics.class-ph]

<https://www.youtube.com/watch?v=odJxJRAxdFU&feature=youtu.be>

### HaptoClone (Hapto-Optical Clone) for Mutual Tele-Environment by Real-time 3D Image Transfer with Midair Force Feedback

Yasutoshi Makino, Yoshikazu Furuyama, Seki Inoue, Hiroyuki Shinoda

**HaptoClone (Hapto-Optical Clone)  
for Mutual Tele-Environment  
by Real-time 3D Image Transfer with Force Feedback**

Yasutoshi Makino, Yoshikazu Furuyama, Seki Inoue and Hiroyuki Shinoda  
The University of Tokyo

<http://www.hapis.k.u-tokyo.ac.jp/>

日本国内ではよく知られた超音波触覚を用いた遠隔触覚。

### レーザー光を用いた触覚提示

超短時間の高エネルギーレーザー光を皮膚表面またはその上の弾性体に当てることでパルス状の衝撃波を生じ、触覚を提示できる。新しい空中触覚提示手法と言える。今のところタップ感のみ

Mid-Air Tactile Stimulation Using Laser-Induced Thermoelastic Effects: The First Study for Indirect Radiation, WHC2015

Hyung-Sik Kim et al., "Evaluation of the Possibility and Response Characteristics of Laser-Induced Tactile Sensation," *Neuroscience Letters*, Vol. 602, pp. 68-72, 2015.

### Cross-Field Aerial Haptics: Rendering Haptic Feedback in Air with Light and Acoustic Fields, Yoichi Ochiai et al. CHI2016

レーザープラスマによる触覚と超音波フェイズドアレイによる触覚を組み合わせることで空間解像度等の異なる2つの手法の長所を取り込む。実験結果として超音波触覚によってレーザーによる触覚がマスクされる。

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

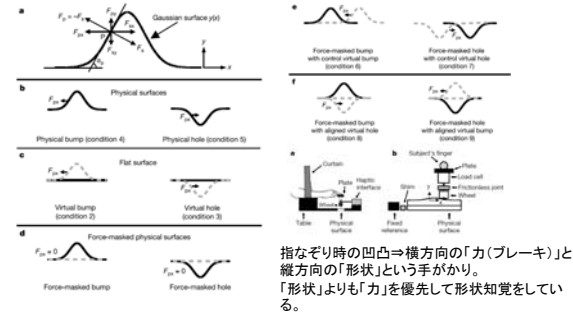


出発点: 触覚ディスプレイ研究者の共通疑問  
「なぜ現行の触覚ディスプレイでザラザラ感が出せないのか？」

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??

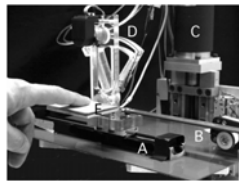
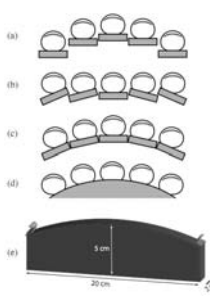
凹凸感にとって重要なものは何か(1/2)  
What is essential for bump sensation?



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?



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.

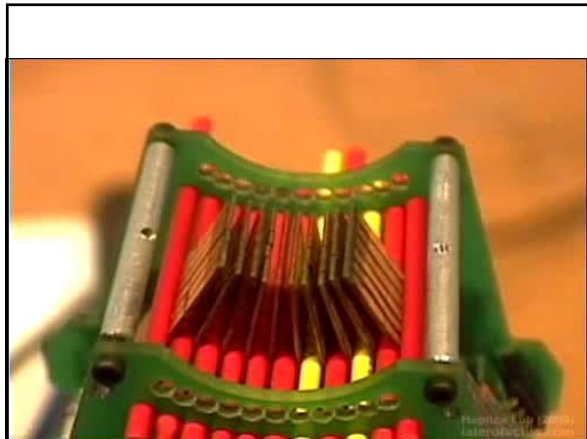
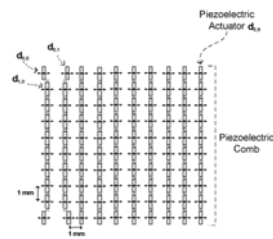


✓環境型に向く／  
Good for environmental type.

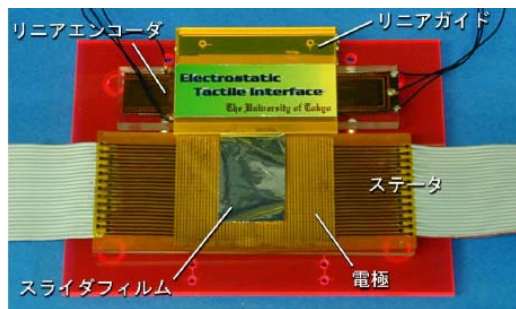
Active type Horizontal Display

●Horizontal Vibration is achieved by Micro-Machine

Hayward, “Tactile display device using distributed lateral skin stretch,” ASME, DSC, 2000.



### Active type Horizontal Display



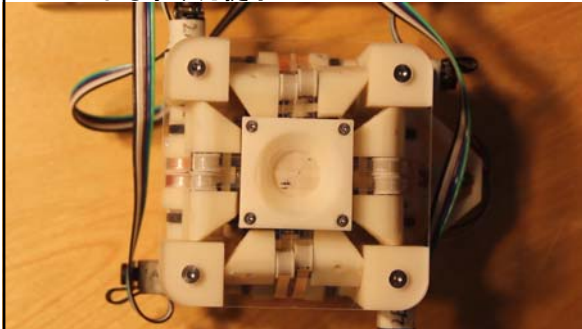
静電アクチュエータによる皮膚水平方向力の生成  
Horizontal force generated by electro-static actuator  
山本「静電気力による摩擦制御とフィルム移動子を用いた薄型皮膚感覚ディスプレイ」日本VR学会大会 2002.

### モータによる水平力提示



<http://www.youtube.com/watch?v=Prq9-uJsqSE>  
磯崎他、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

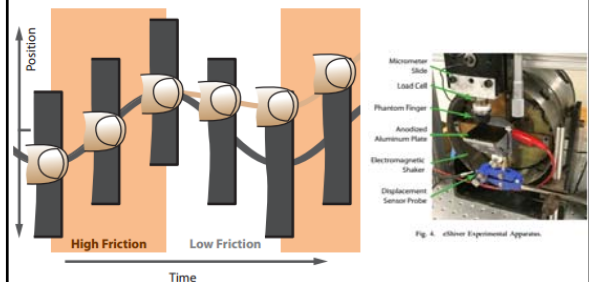
### ベルトによる水平力提示



ベルトでスリップ感を提示する装置をXY2自由度で作成した。さらに工夫としてベルトに多数の穴を開けて触覚を感じやすくしている。  
The Slip-Pad: A Haptic Display Using Interleaved Belts to Simulate Lateral and Rotational Slip. WHC2015

### [OS6-5] eShiver: Force Feedback on Fingertips through Oscillatory Motion of an Electroadhesive Surface

Joe Mullenbach, Michael Peshkin, Ed Colgate



静電型の触覚ディスプレイを水平振動させ、振動と同期して摩擦係数を変化させることで、一方向に力を生じさせる。つまりタッチパネルでの力覚提示。

### 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  
 高圧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 Electrovisbration for Tactile Display," IEEE Trans. Biomedical Engineering., 2006.  
 Olivier Bau et al., "TeslaTouch: Electrovisbration for Touch Surfaces," UIST2010

TeslaTouch (2010)

<http://www.teslatouch.com/>  
 インタラクティブシステム特論

[HapticsSympo2016] Extension of an Electrostatic Visuo-Haptic Display to Provide Softness Sensation  
 Taku Nakamura, Akio Yamamoto

Conceptual image  
 Softness Pressing motion  
 Lat. force Sliding motion  
 Friction by Electroadhesion

静電氣型触力覚提示装置で柔らかさ感をなるべく簡単な機構で出す手法を考案

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

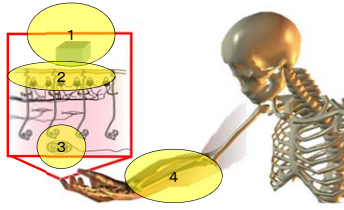
Asamura, "A method of selective stimulation to epidermal skin receptors for realistic touch feedback," IEEE VR, 1999.

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.

## How to produce Touchable Illusion?

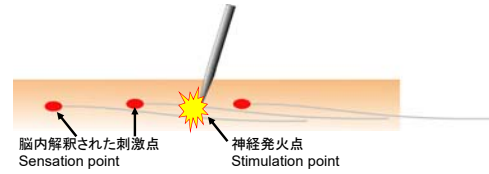


- (1)Reproduce the World (Shape)
- (2)Reproduce Skin Deformation
- (3)Reproduce Receptor Activity
- (4)Reproduce Nerve Activity

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

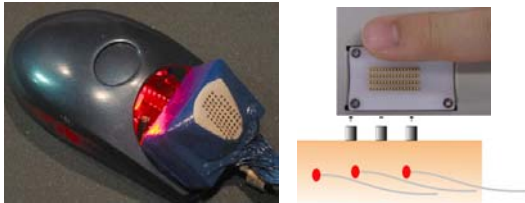
### Reproducing Nerve Activity by Electrical Stimulation



- 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

## 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, researchers 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.

•Today's 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