

Interactive System  
インタラクティブシス  
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 • 講義(lecture)
- 5/10 • 休講
- 5/17 • 講義(lecture)(休講の可能性あり)
- 5/24 • 講義(lecture)
- 5/31 • 講義(lecture)
- 6/7 • 休講 (6/1 オープンラボ研究室見学(任意))
- 6/14 • 講義(lecture)
- 6/21 • 講義(lecture)
- 6/28 • 講義(lecture)
- 7/5 • プレゼンテーション(presentation)1
- 7/12 • 休講 (6/15 オープンラボ研究室見学(任意))
- 7/19 • プレゼンテーション(presentation)2
- 7/26 • 休講

## 【最終レポート】

今年は人数が多く発表時間がとれないので...

7/5,7/19は梶本の講義とします.

以下の学会からインタラクティブシステムに関連する**8ページ以上のフルペーパー**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).

現時点で最新のCHI/UIST/IEEE-VR/Siggraph/Siggraph Asia/World Haptics/Haptics Symposium/EuroHaptics

締め切りは2019年**7/26(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. 友人と相互にそのリンクが見れることを確認しましょう.

ビデオへの変換: 「ナレーションモード」で音を入れたあとで「自動再生モード」で確認し, ファイル→エクスポート→動画

もちろんビデオカメラで撮影しても構いません.

## 【Final Report】

As there are too many participation in this class,

7/5,7/19 are changed to my lectures.

Choose one “Full-paper” from conferences below, and prepare less-than-5 minutes presentation. Take a movie and upload it to Youtube, and submit the link (submission is done by ordinary report page)

Most recent CHI/UIST/IEEE-VR/ 3DUI/Siggraph/Siggraph Asia/  
World Haptics/Haptics Symposium/EuroHaptics

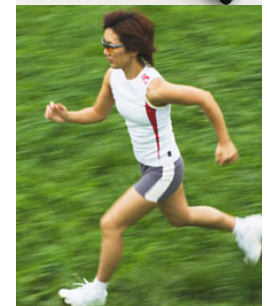
Deadline: 2019/7/26

As the contents contains copyright materials, set the option “viewable only by who knows the link”. Check with your friends if the link is active.

Conversion from pptx to video: Use “narration mode” and “auto play mode”. Then File – Export – Movie. You can also take movie by videocam.

# 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))

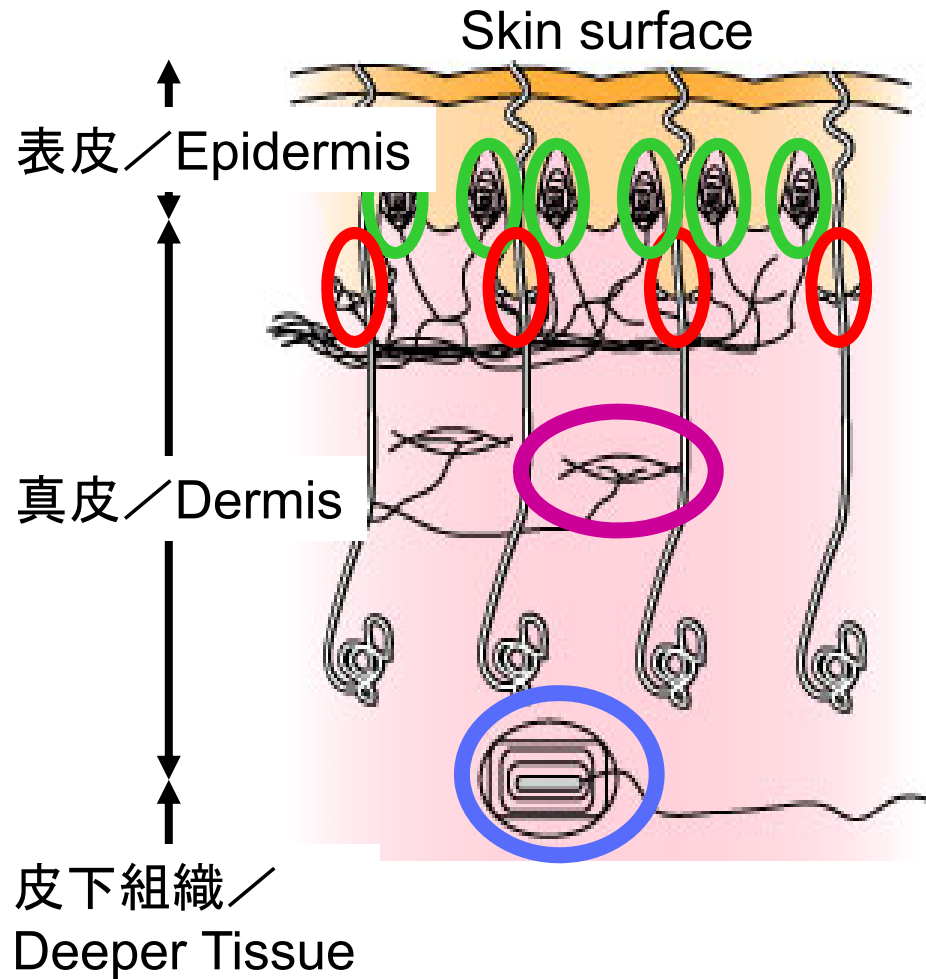
- 皮膚表面の変形 (皮膚感覚/Cutaneous Sense, Skin Sense)
- 筋肉の伸縮, 関節角 (深部感覚・力覚/Proprioception, Force Sense)

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

# Skin Strunture (Hairless Parts)



機械受容器: 機械的変形に応答  
Mechanoreceptor: Sense Mechanical Deformation

浅部 / Shallow part

- マイスナー小体 / Meissner Corpuscle
- マルケル細胞 / Merkel Cell

深部 / Deep part

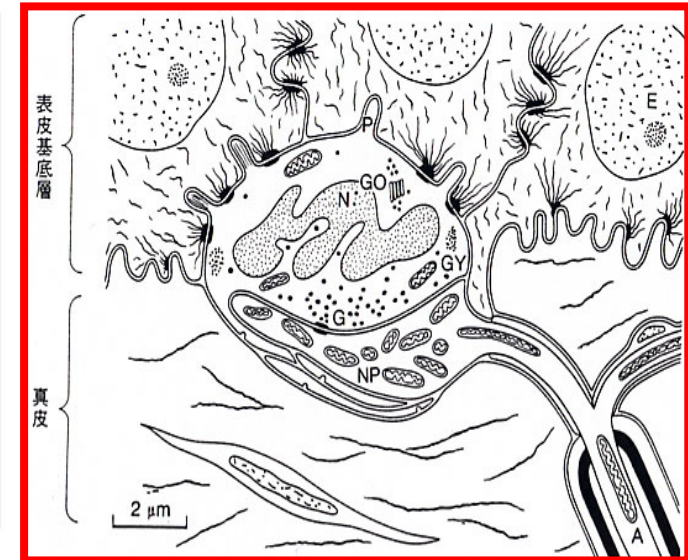
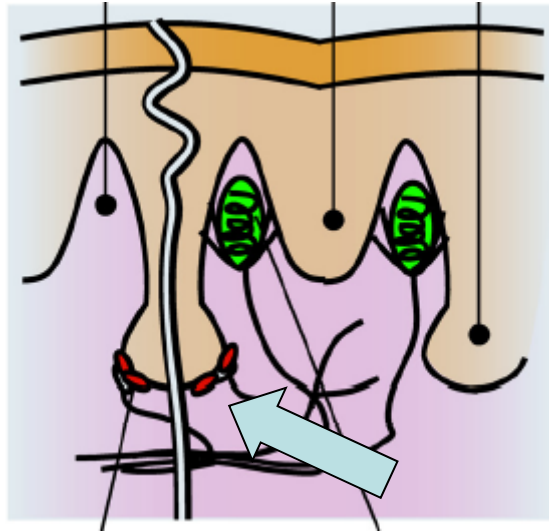
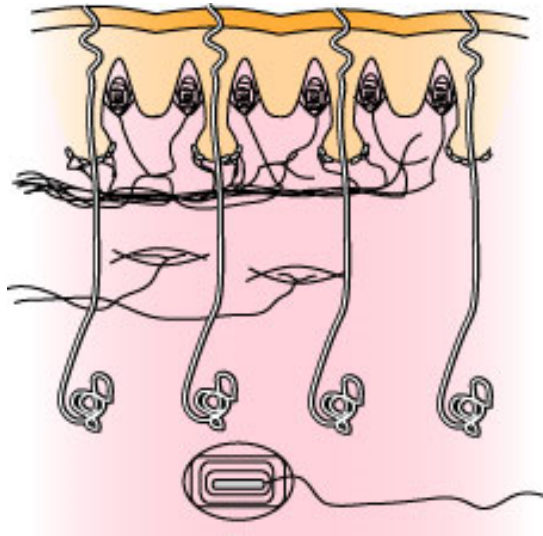
- ルフィニ終末 / Ruffini Ending
- パチニ小体 / Pacinian Corpuscle

その他 / Misc

自由神経終末 (痛覚、温度感覚)  
Free Ending (Pain, Temperature)

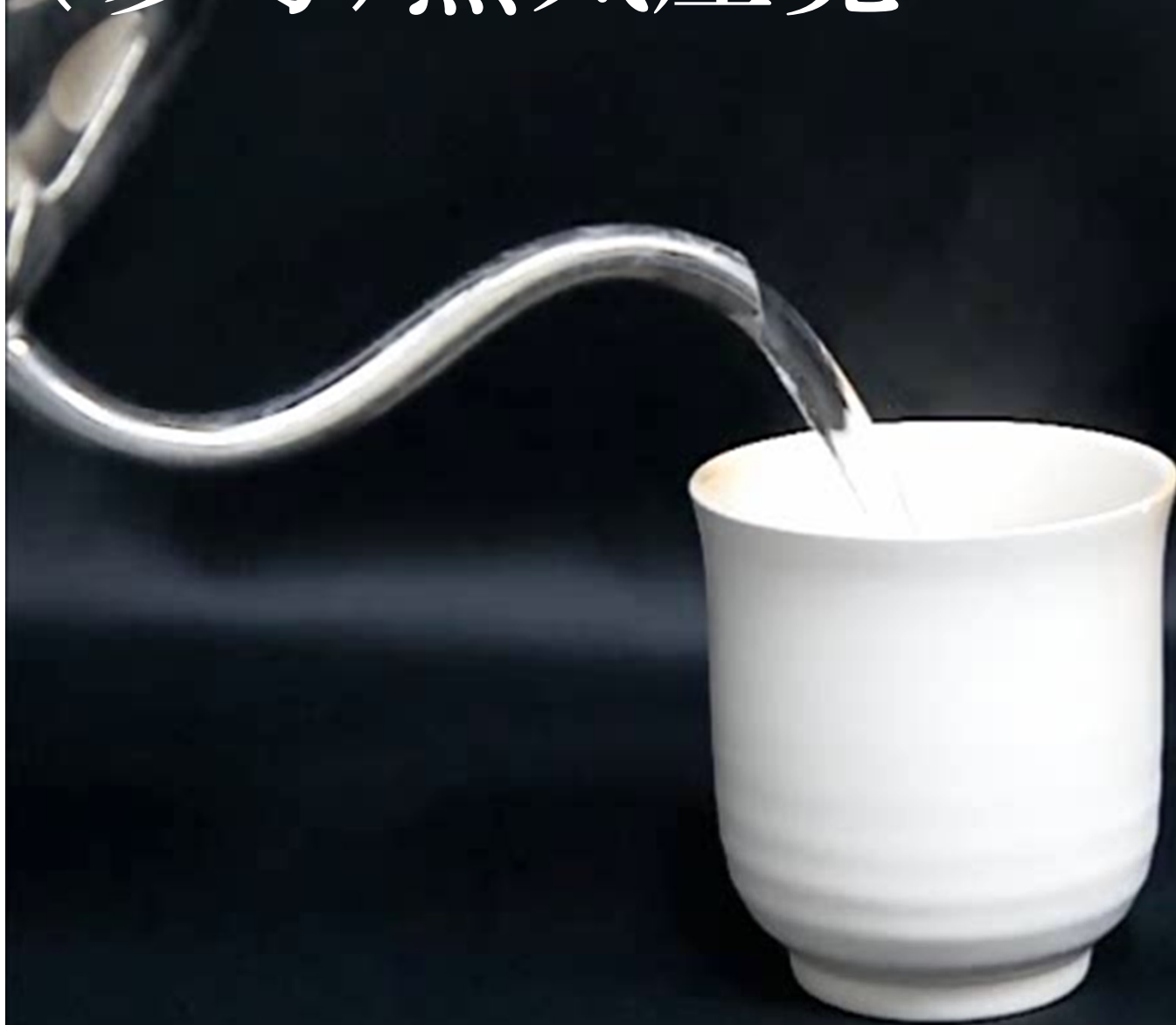


# メルケル細胞／Merkel Cell

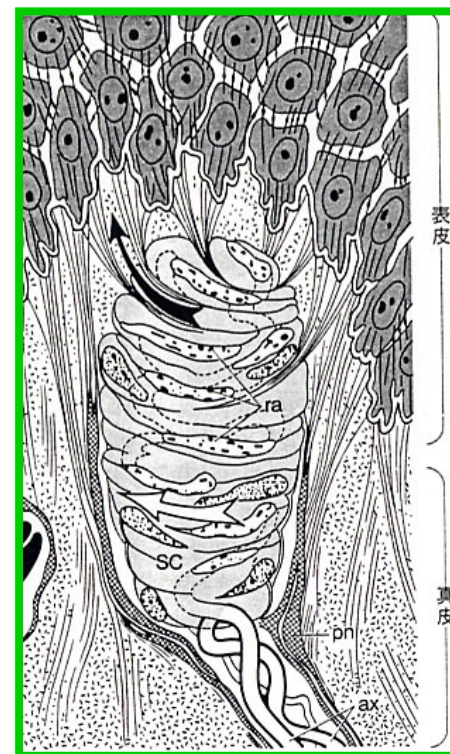
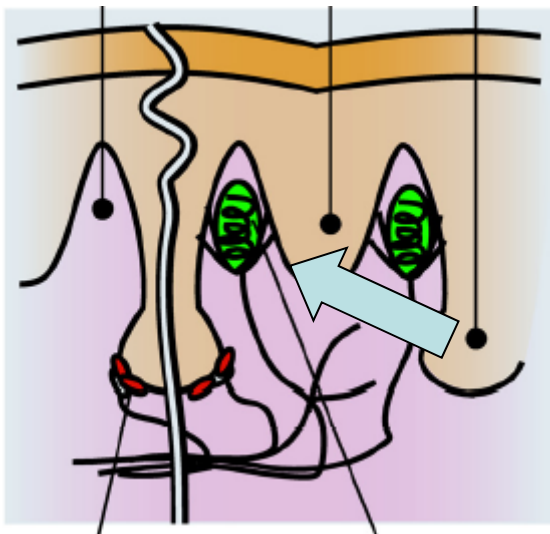
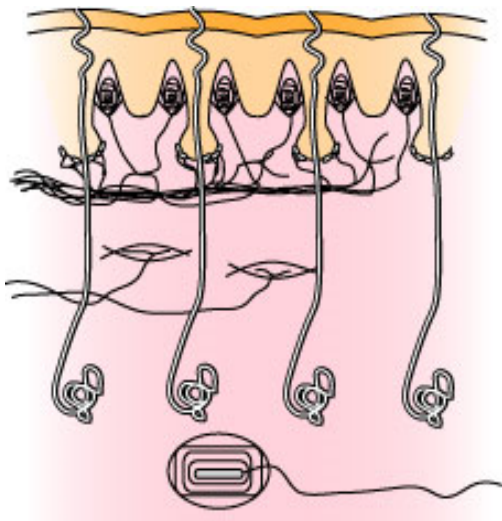


- 皮膚下0.9mmに密に存在.
- 唯一の細胞性受容器. 神経とシナプス接合
- 静的な歪に応答
- 発火頻度は歪の大きさに比例
- 単独の活動では**純粋な圧覚**を生成
  
- Densely Populated at 0.7 - 0.9mm depth.
- Sense Static Deformation.
- Pulse Frequency is Proportional to Deformation.**
- When activated, **Pure Pressure Sensation** is generated.

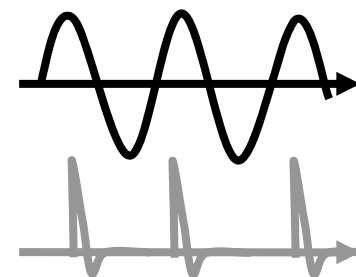
# (参考)蒸気圧覚



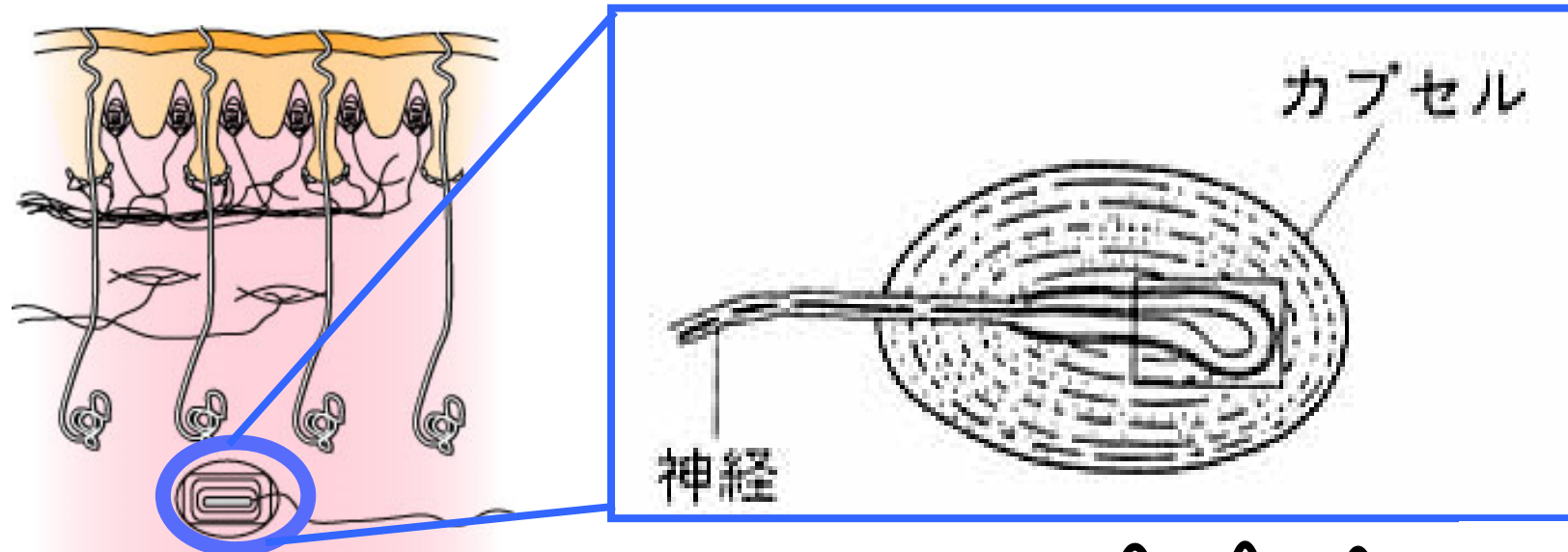
# マイスナー小体 / Meissner Corpuscle



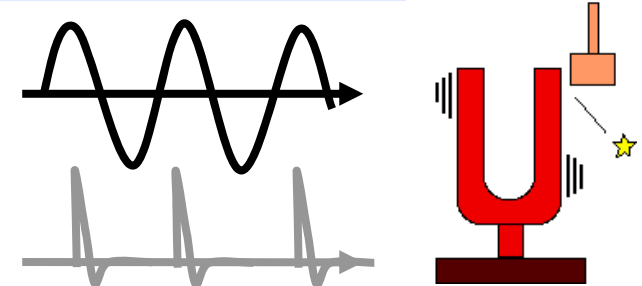
- 皮膚下0.7mmに密に存在.
- 低周波振動(15-100Hz)に応答(共振30Hz)
- 発火周波数～振動周波数
- 単独の活動では振動感覚, パタパタ感を生じる
- Densely populated at 0.5 – 0.7mm depth.
- Sense Low Frequency Vibration (15-100Hz)
- Has Resonant Frequency (30Hz)
- Pulse Frequency ~ Vibration Frequency
- Single Activity Generates “Flutter” Vibratory Sensation



# パチニ小体 / Pacinian Corpuscle

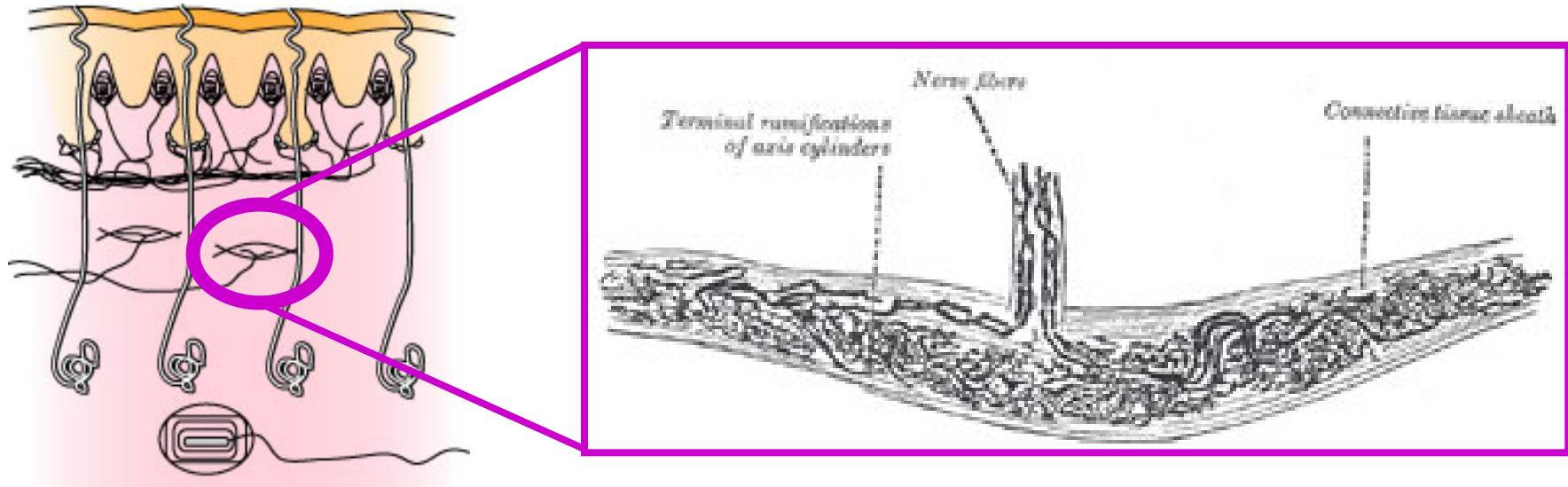


- 皮膚下2mm以上の深部にまばらに存在.
- 高周波振動に応答(60-800Hz)(共振250Hz)
- **発火周波数 ~ 振動周波数**
- 単独の活動では音叉に触れたような**振動感覚**, 指全体の痺れ



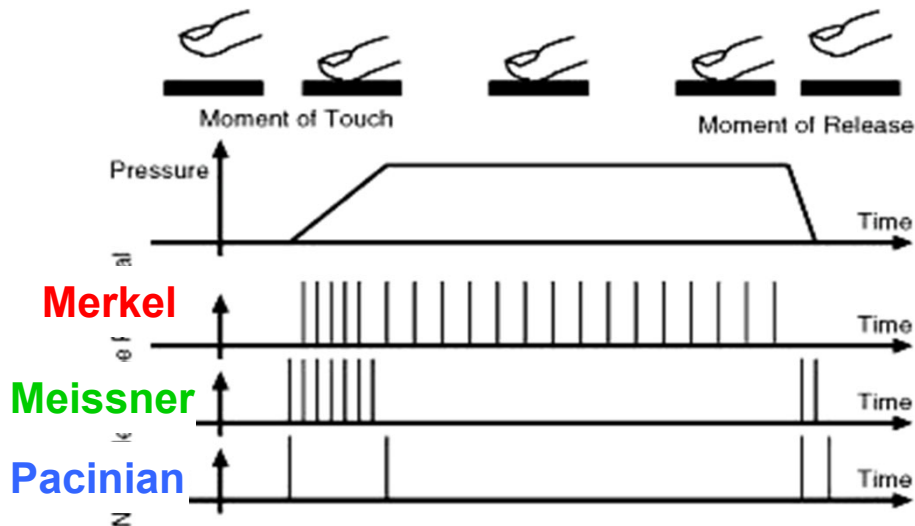
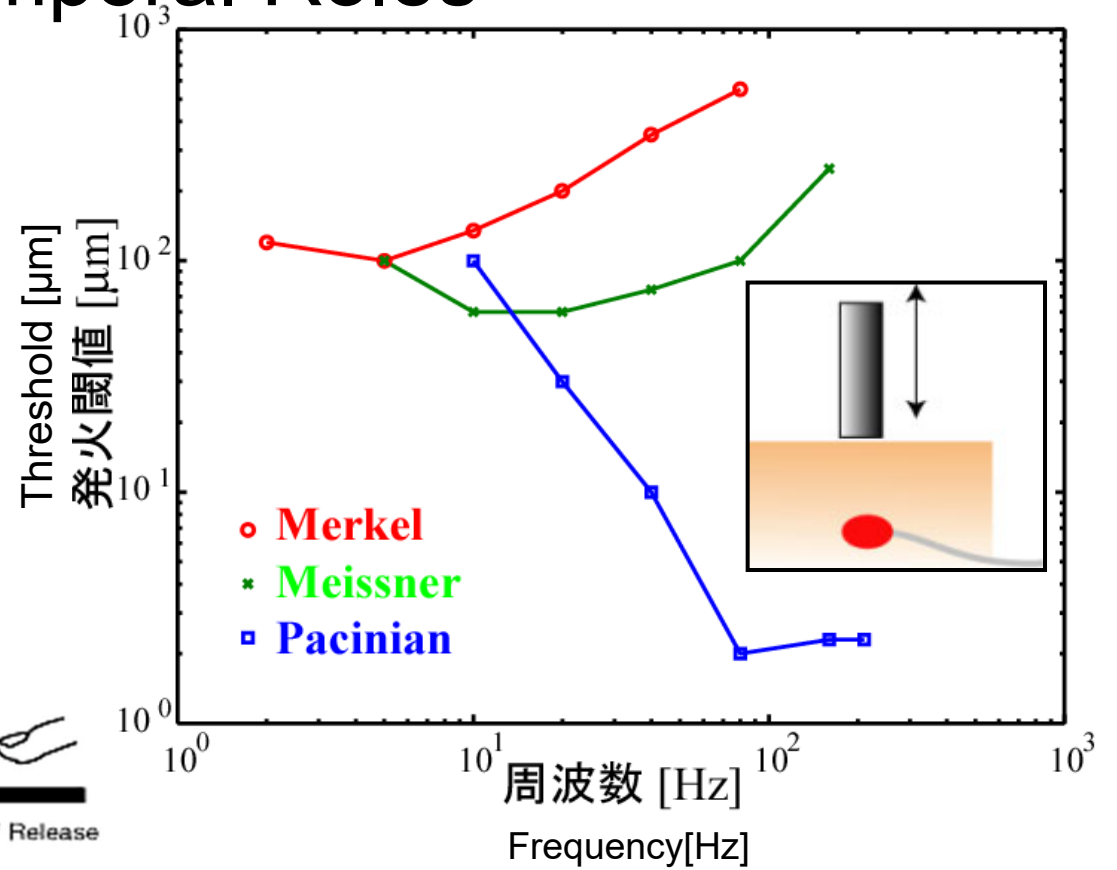
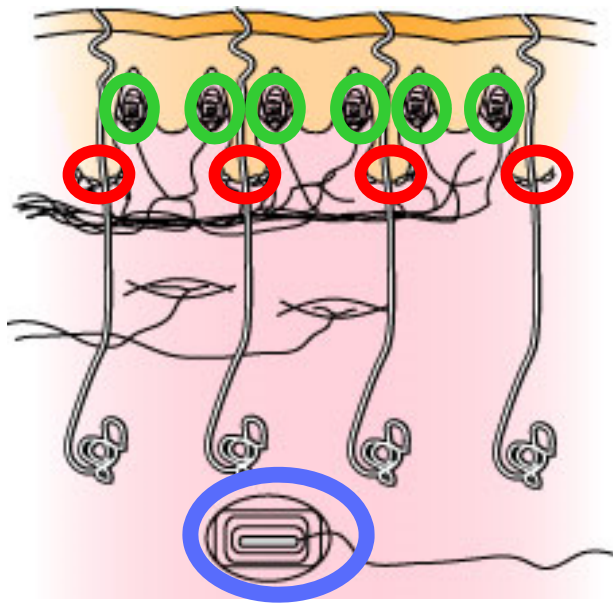
- Sparsely populated at deep region (2mm~)
- Sense High Frequency Vibration (60-800Hz)
- Has Resonant Frequency (250Hz)
- **Pulse Frequency ~ Vibration Frequency**
- Single Activity Generates “numb” sensation, just like touching a tuning fork or speaker

# ルフィニ終末／Ruffini Ending



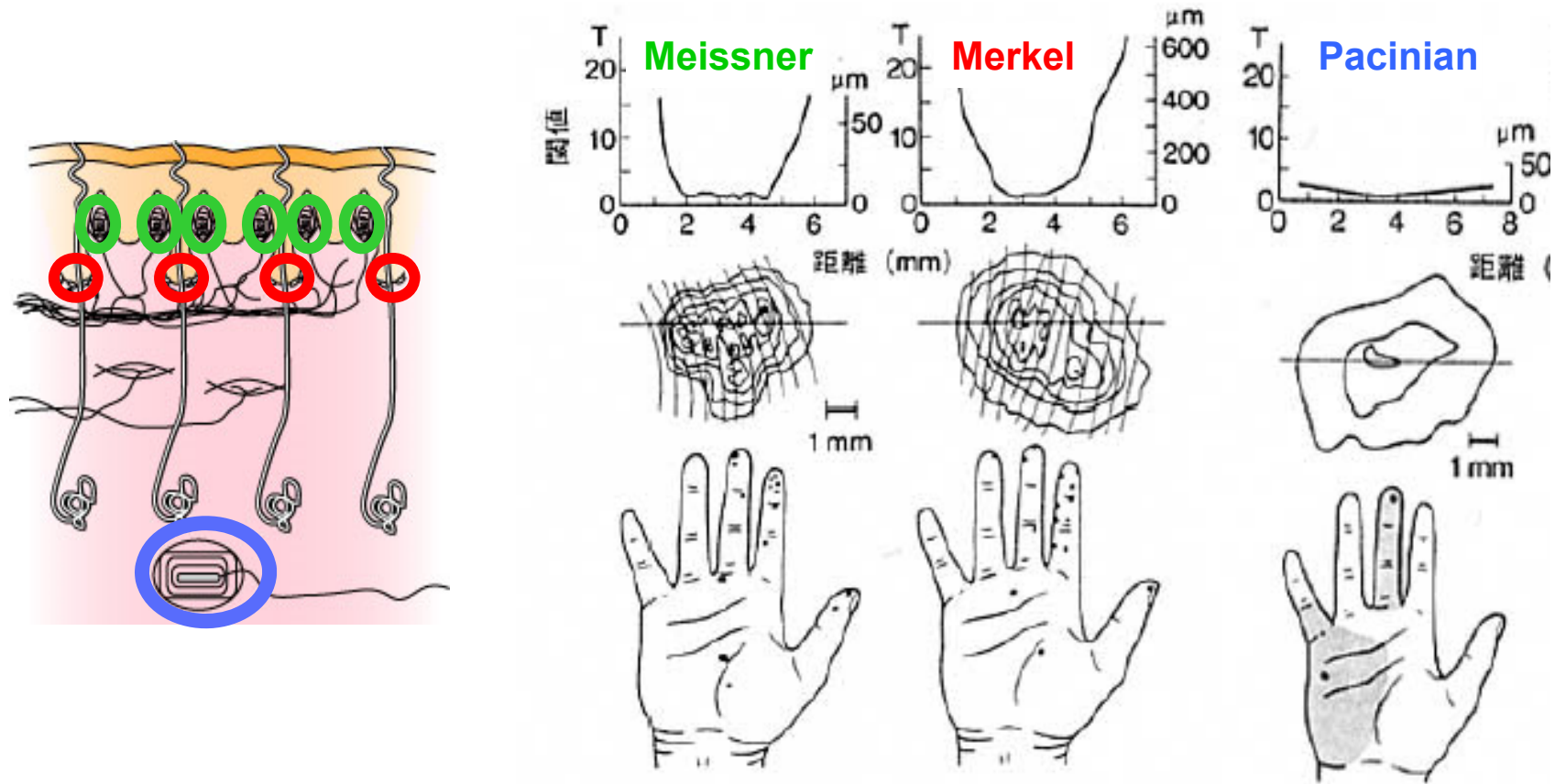
- 皮膚下2mm以上の深部に疎らに存在.
- 静的な横ずれに応答
- 発火頻度は横ずれの大きさに比例
- 単独の活動では**感覚を生じない**
  
- Sparsely Populated in a deep region (2mm ~ depth)
- Senses Static **Horizontal** Deformation
- Pulse Frequency is Proportional to Horizontal Deformation.
- Single activation does not generate sensation**

# 時間的役割分担 / Temporal Roles



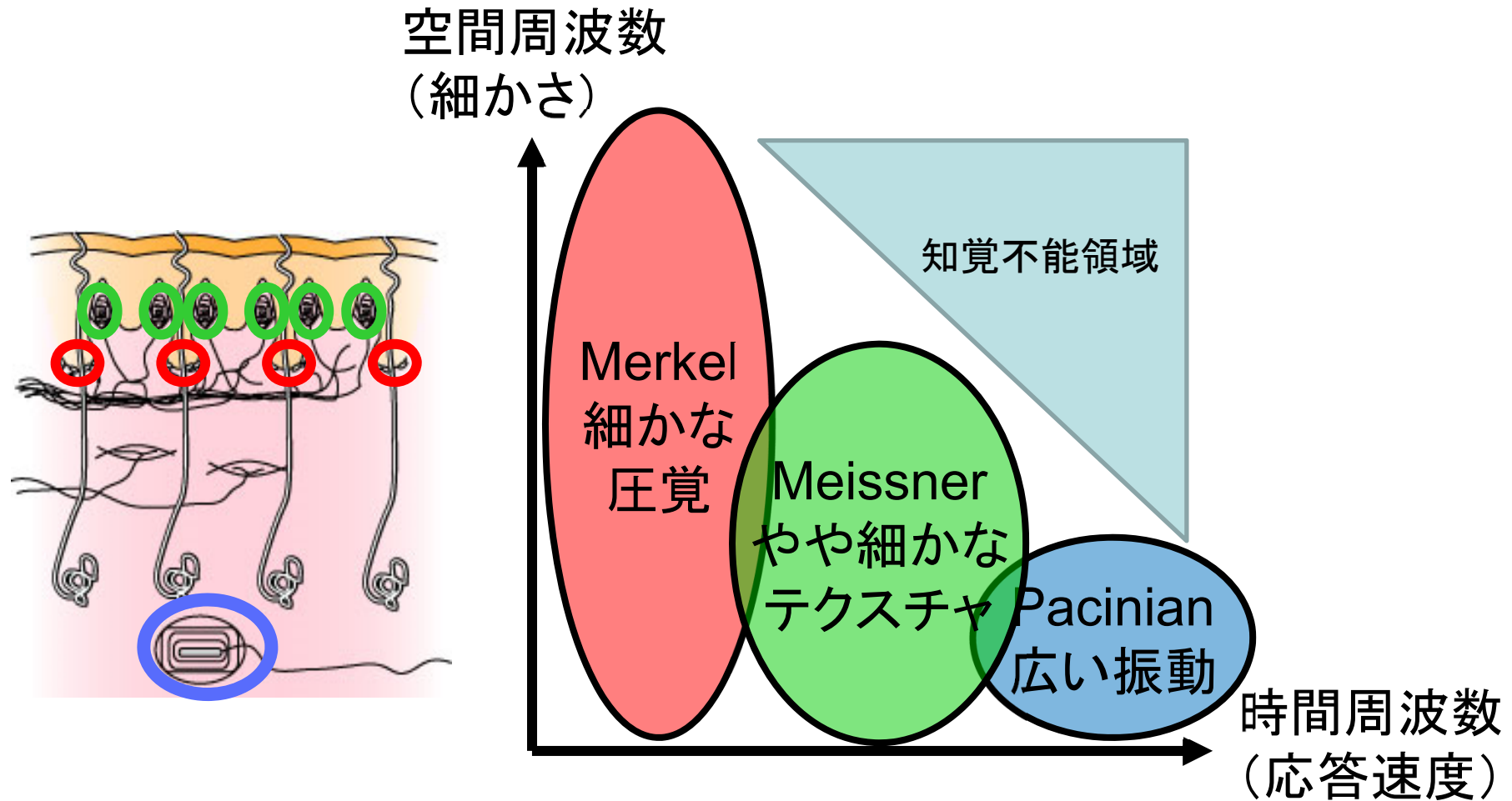
- **Merkel**: 直流成分 / 压力
  - **Meissner**: 低周波成分 / 速度
  - **Pacinian**: 高周波成分 / 加速度
- 
- **Merkel**: DC / Displacement & Pressure
  - **Meissner**: Low Freq. Vibration / Velocity
  - **Pacinian**: High Freq. Vibration / Acceleration

# 空間的役割分担／Spatial Roles



- Merkel: 細かいパターン／Small Pattern
- Meissner: 皮膚上の細かい動き／Small Area Movement
- Pacini: 広い面積の動き／Large Area Movement

# 各機械受容器の役割分担

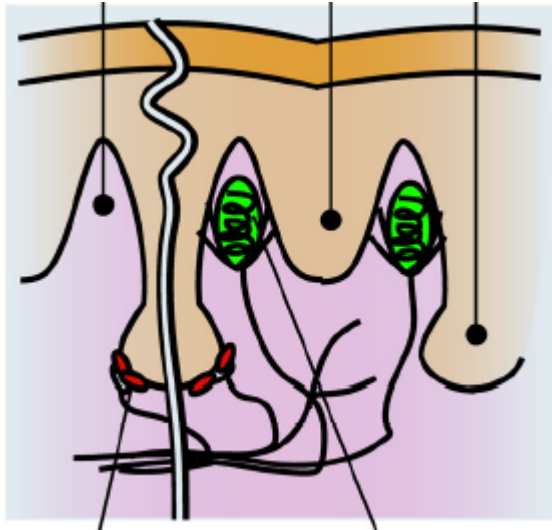


ポイント: 時間的, 空間的な相補性



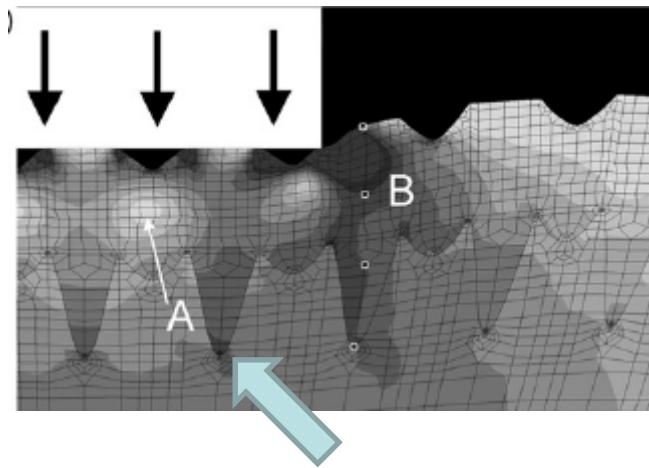
# 皮膚構造と受容器

## Skin Structure and Mechanoreceptors

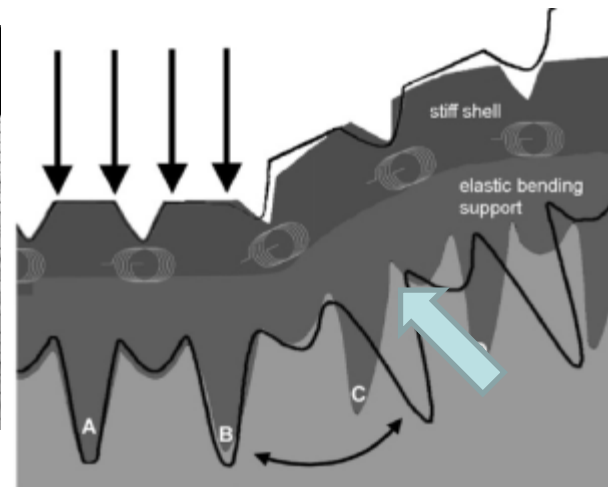


- 表皮: 硬い
- 真皮: 柔らかい
- MerkelとMeissnerは境界に存在

- Epidermis: Hard
  - Dermis: Soft
- Merkel and Meissner are at the interface of the two layers.

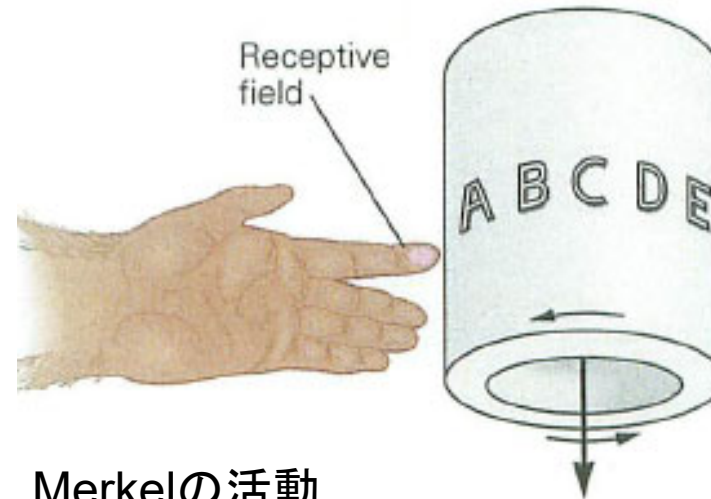
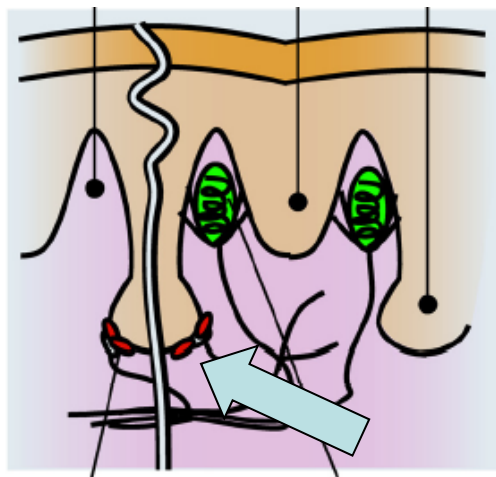
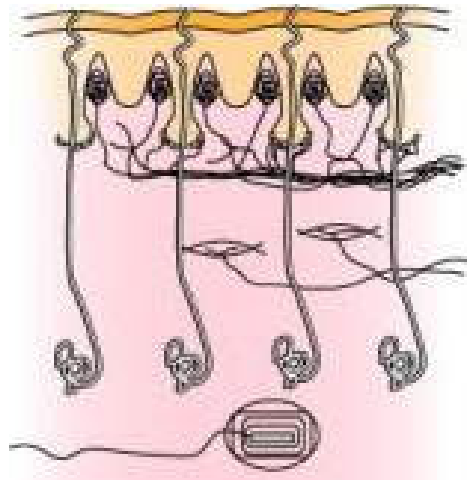


Stress is Concentrated at Merkel



Strain is Largest at Meissner

# 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



Merkelの活動



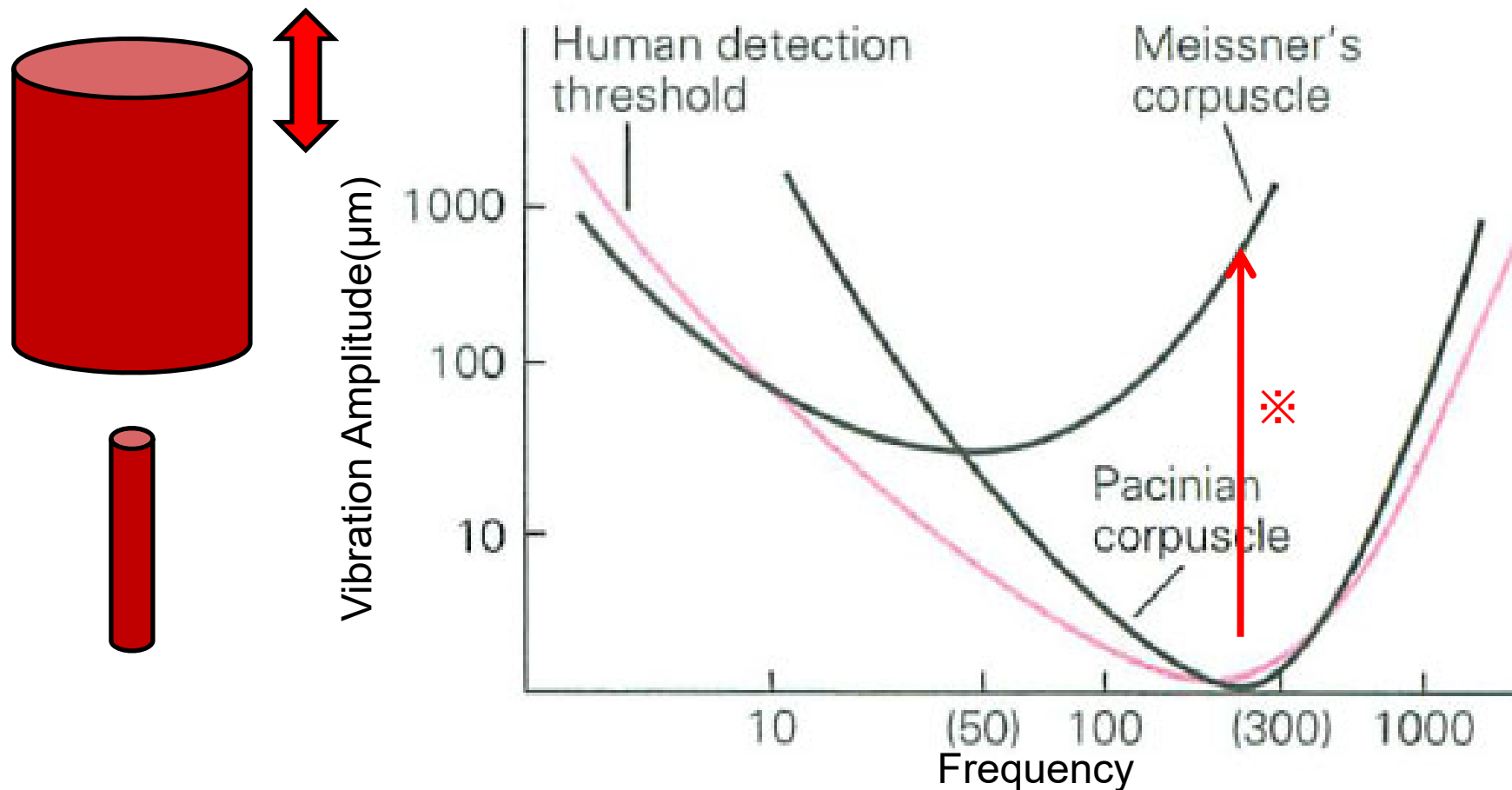
Meissnerの活動



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.

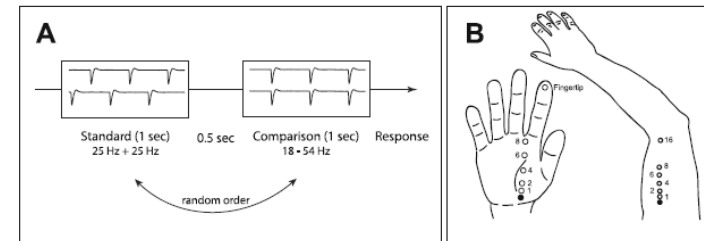
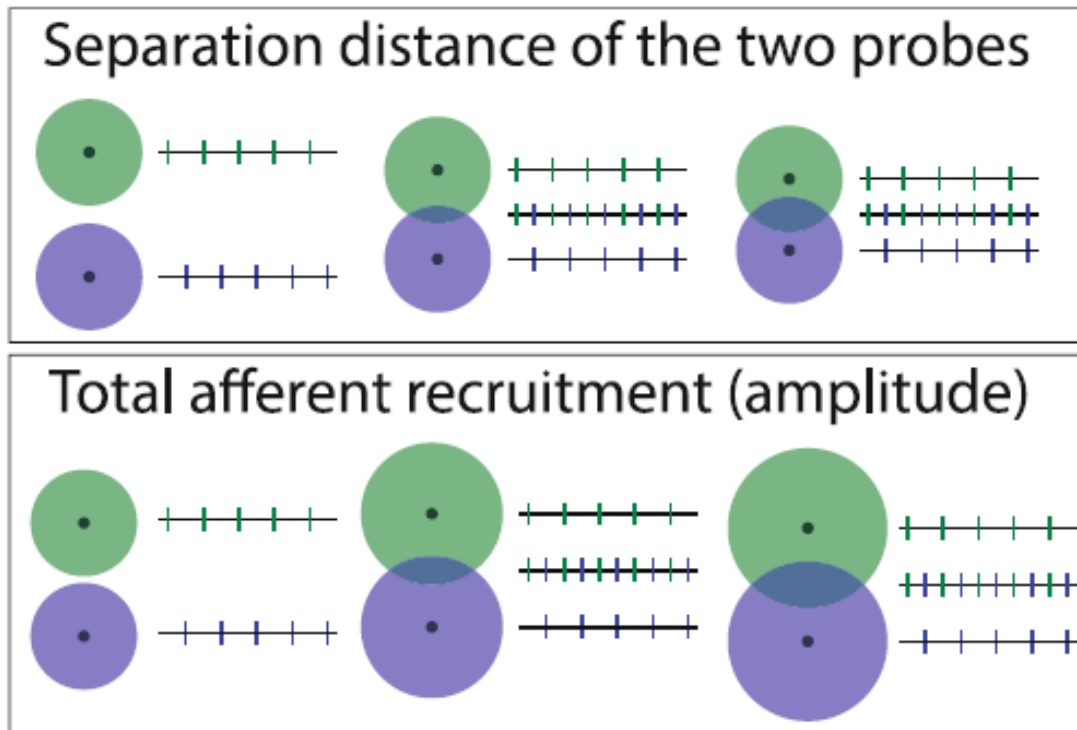
人間の振動知覚閾



※振動子が小さいとPaciniの「空間加算」効果が無くなり、高周波が感じにくくなる  
If the vibrator size is small, high freq. threshold rizes, because “**spatial summation effect**” of Pacinian corpuscle is reduced.

# EuroHaptics2016, Temporal integration of tactile inputs from multiple sites

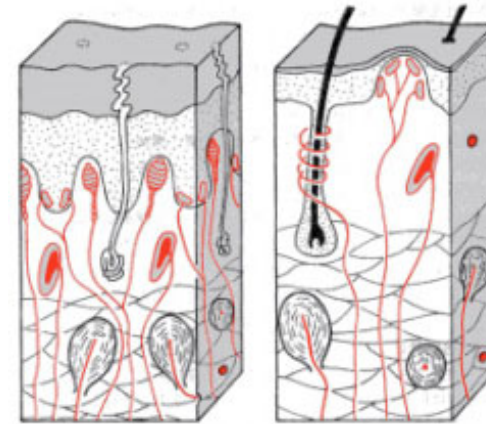
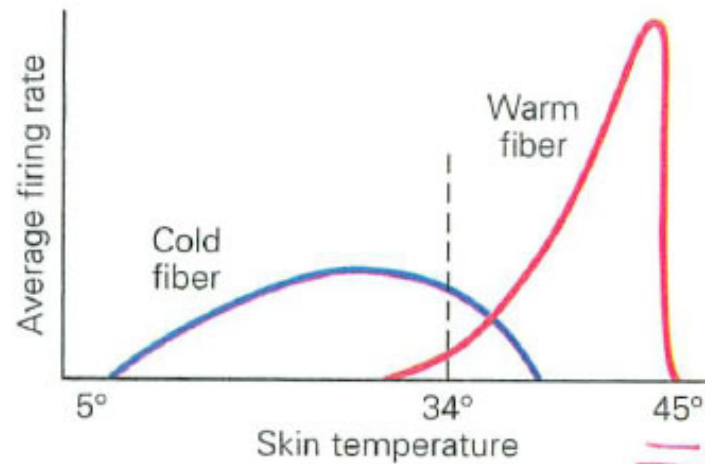
Sarah McIntyre, Ingvars Birznieks, Robin Andersson, Gabriel Dicander, Paul Breen, Richard Vickery



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



無毛部

有毛部

Glabrous part

Hairy part

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

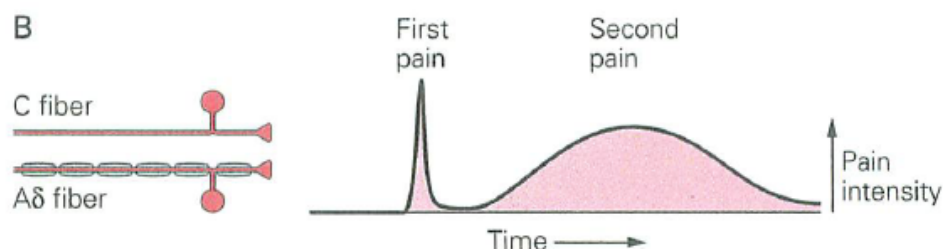
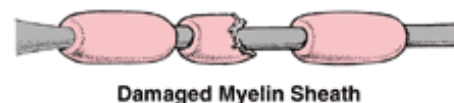
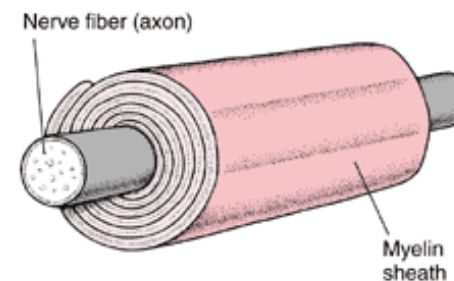
# C繊維とは？

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)



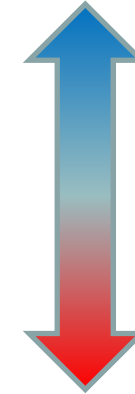
無毛部のMeissner小体に入り込む繊維: 数本C繊維が存在.  
有毛部にも機械的変形に応答するC繊維が存在.

- 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?

# (参考) 温度感覚と神経の種類

Table 7-2 Sets of Afferents Sensitive to Temperature

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



神経の種類と伝導速度: Aδ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Aδ
- 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Aδ

# (参考)水面知覚

水銀に指を入れると  
線を感じる(1859)

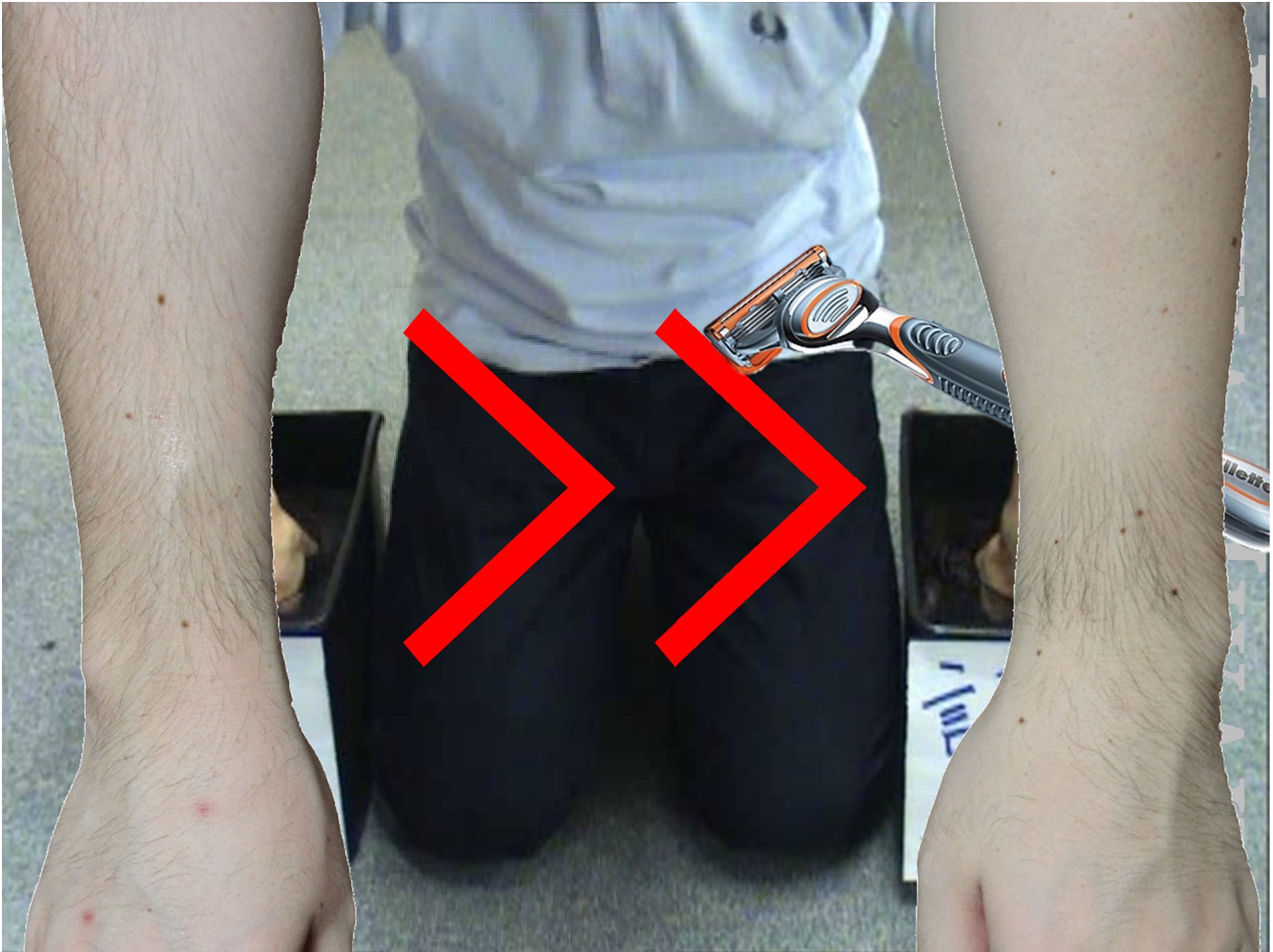


Meissner



# (参考) 水面知覚





# どうやって調べる／How we know?

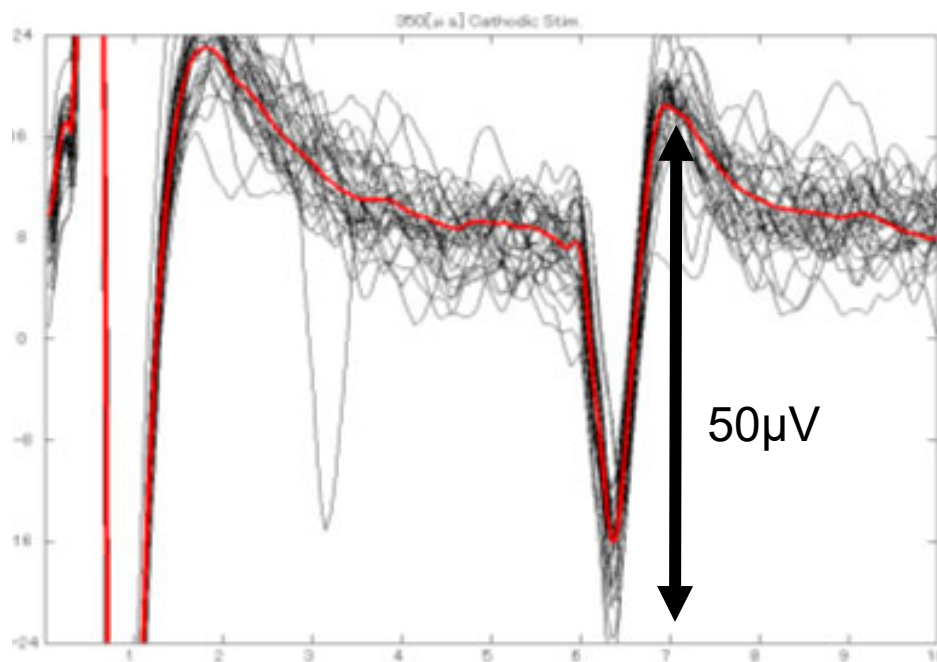
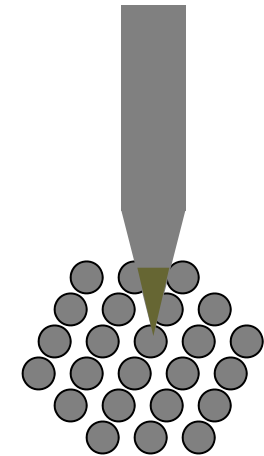


By using needle, we can directly measure nerve **activities**. Vallbo, "Sensations evoked from the glabrous skin of the human hand by electrical stimulation of unitary mechanosensitive afferents," Brain Res., 1981.

# 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)
- 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

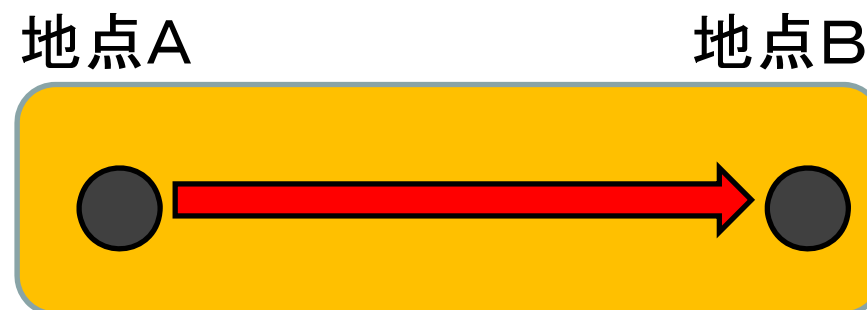
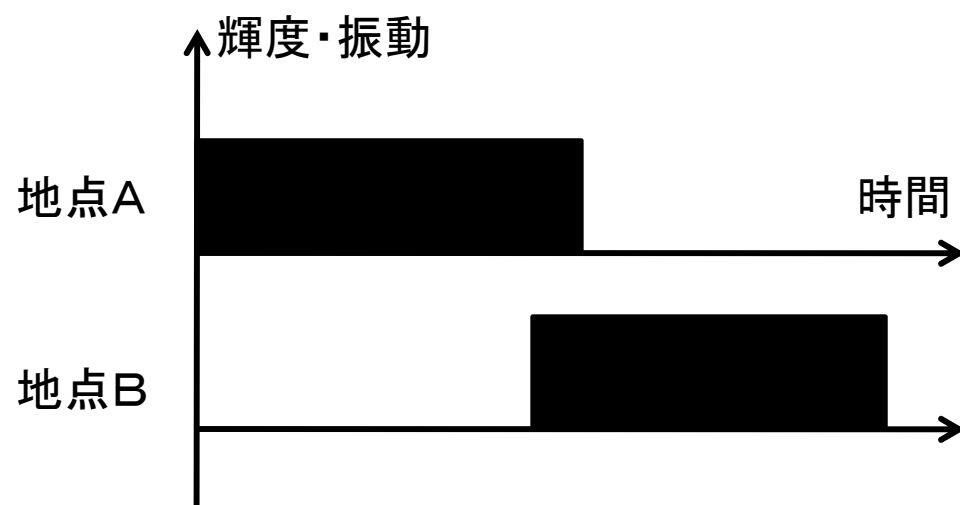
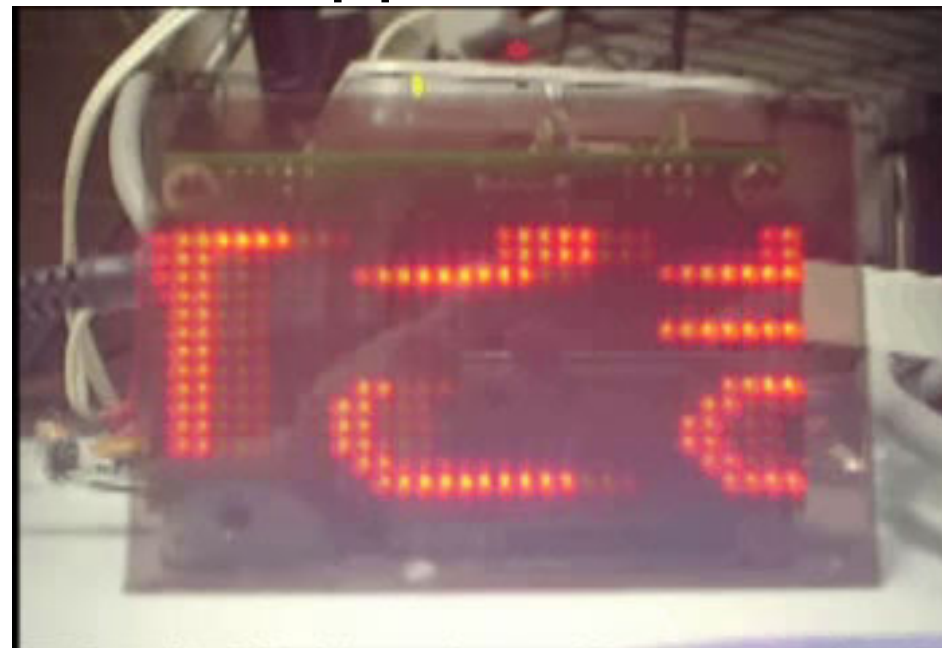


特に近年、触覚研究の発展に伴って増加。  
視覚研究者による研究多。

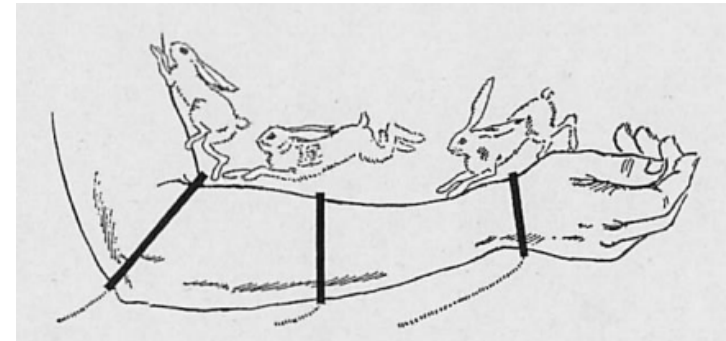
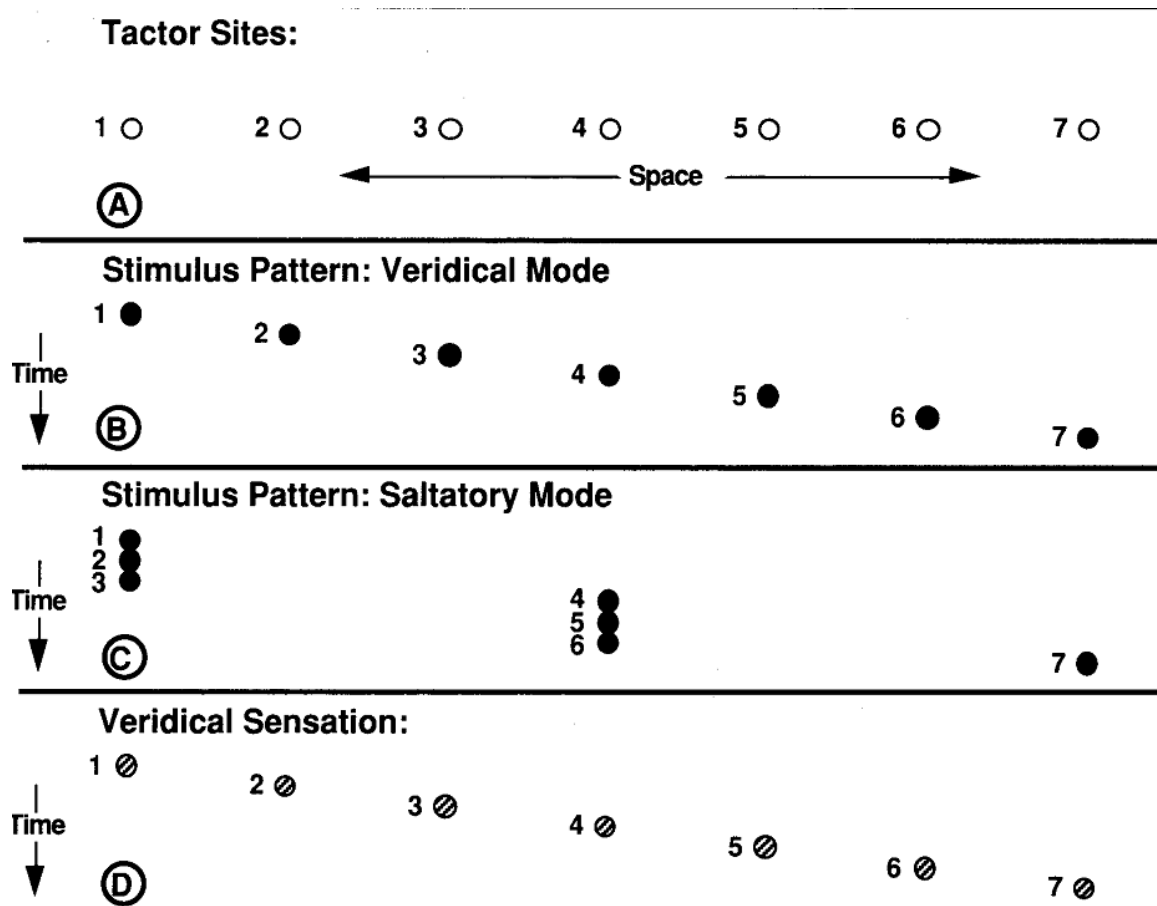
Recent works revealed new tactile illusions

# 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)



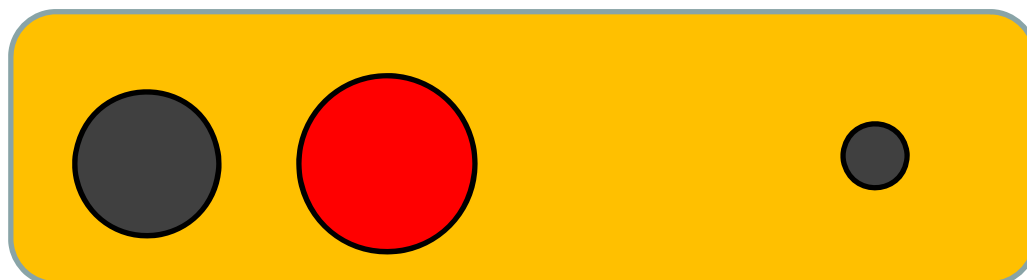
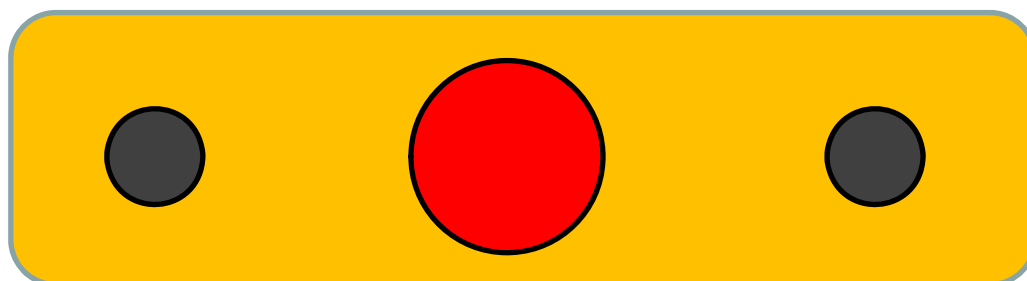
● 小数の場所（例えば3箇所）を複数回ずつ経時的に叩くと、連続的に移動しながら刺激されたように感じる



# 聴覚で類推できる錯触例：ファントムセンセーション

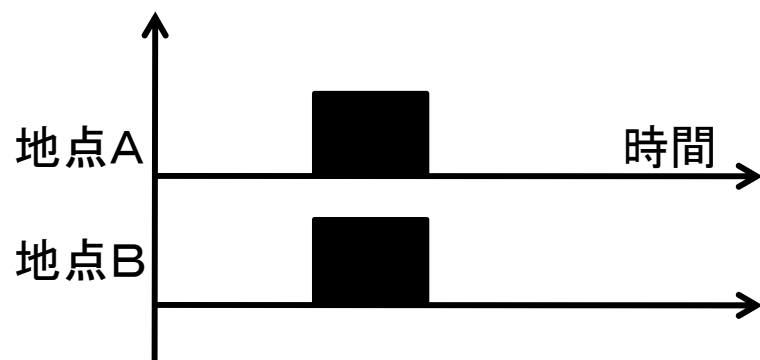
Tactile Illusion similar to audio: Phantom Sensation (Funneling)

地点A      知覚位置      地点B

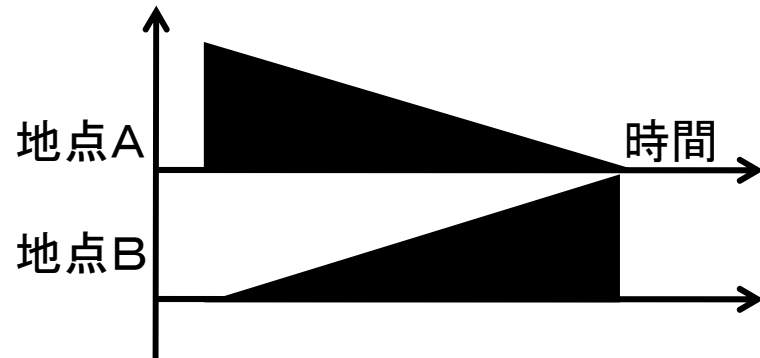


- 短パルス刺激で発生
- 複数刺激子の中に知覚
- 位置は移動できる

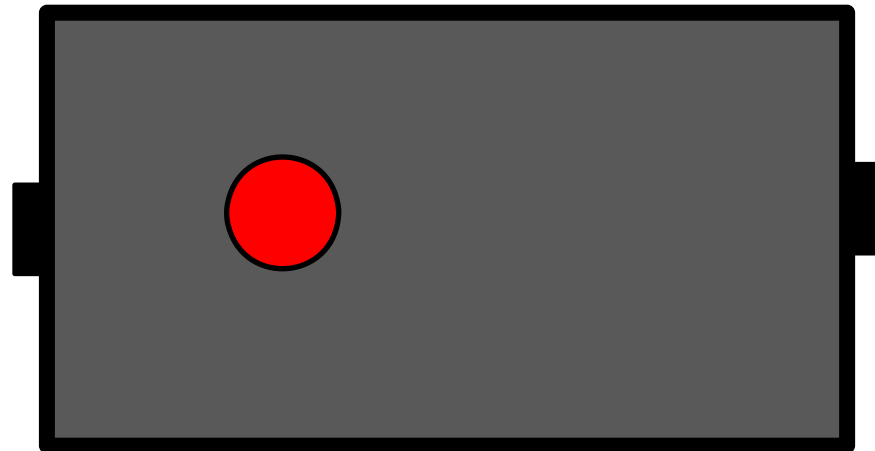
- Generated by short pulses
- Image generated between stimulators
- Position can be controlled



# (参考)ファントムセンセーションによる移動呈示



- 重心位置の移動によって滑らかに移動
- 仮現運動では不可能な連続的な動きを表現可能
- 最近応用例多



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

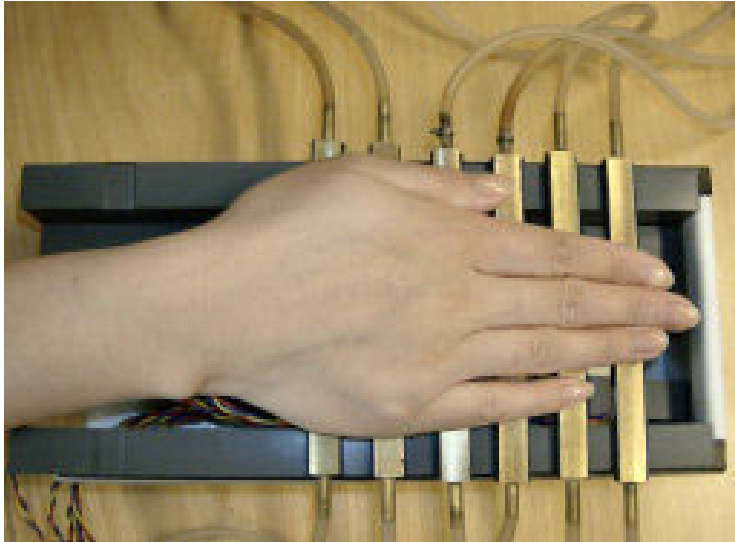


荒い網の目（テニスラケットなど）を両手で挟み、前後に動かすと、モワツとしたベルベット感を生じる。

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



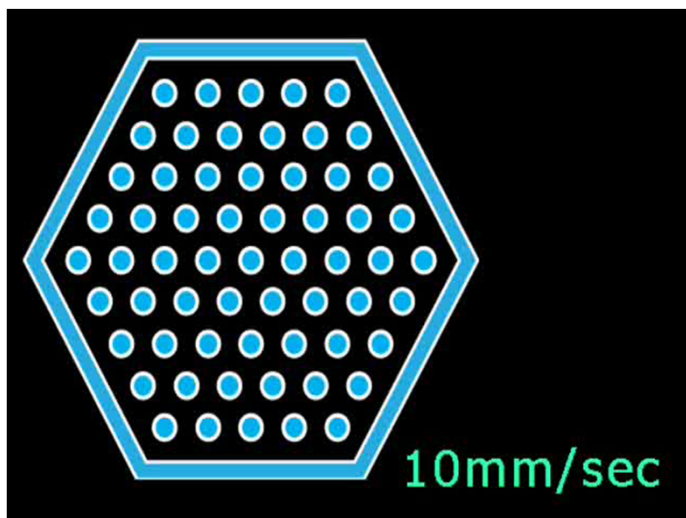
近い距離で温感と冷感を同時に提示すると痛覚を生じる

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.

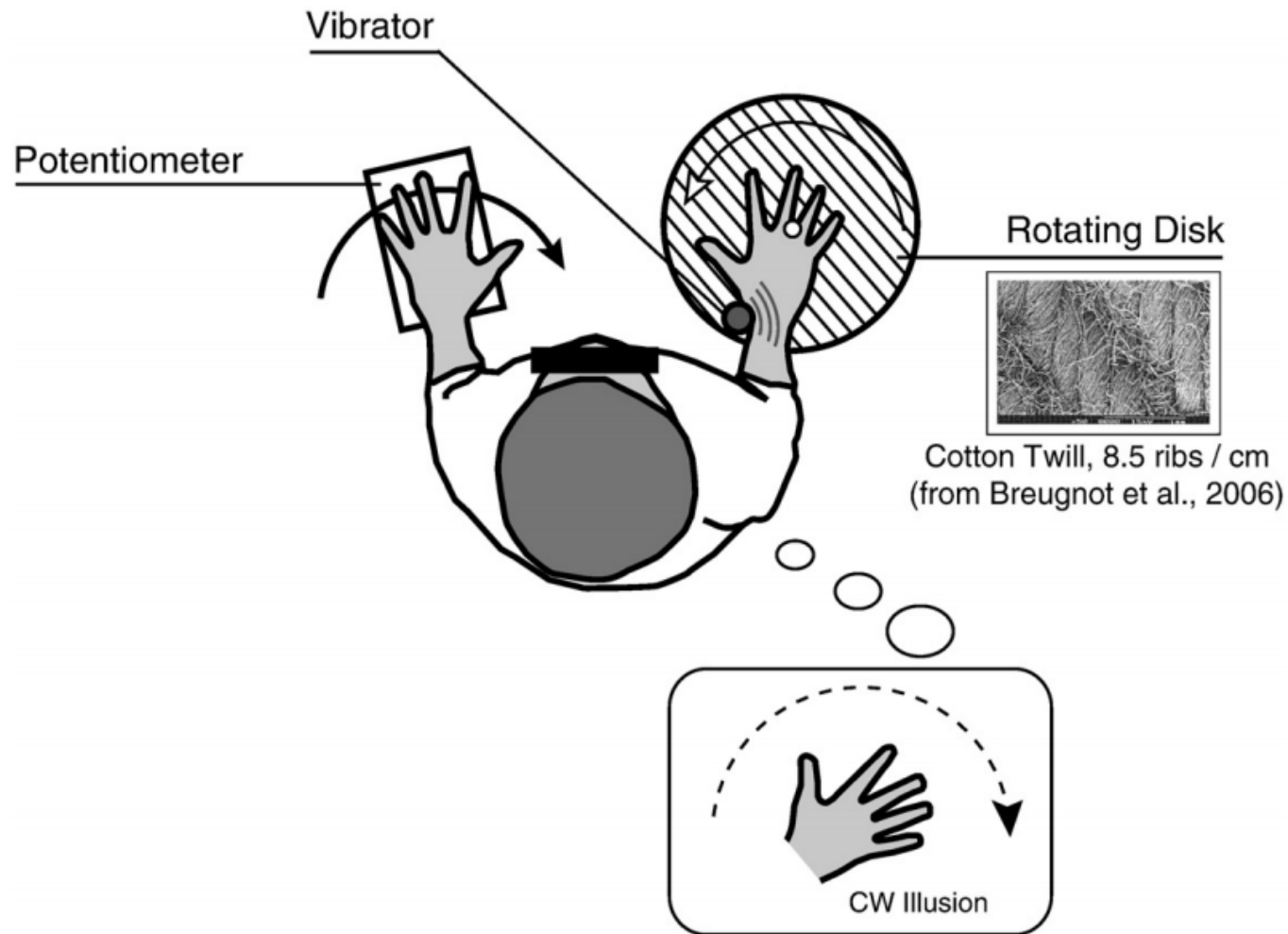
# 皮膚感覚による動きの錯覚(1)



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 Electrocutaneous Display, ICAT2011

## (逆)皮膚感覚による動きの錯覚(2)

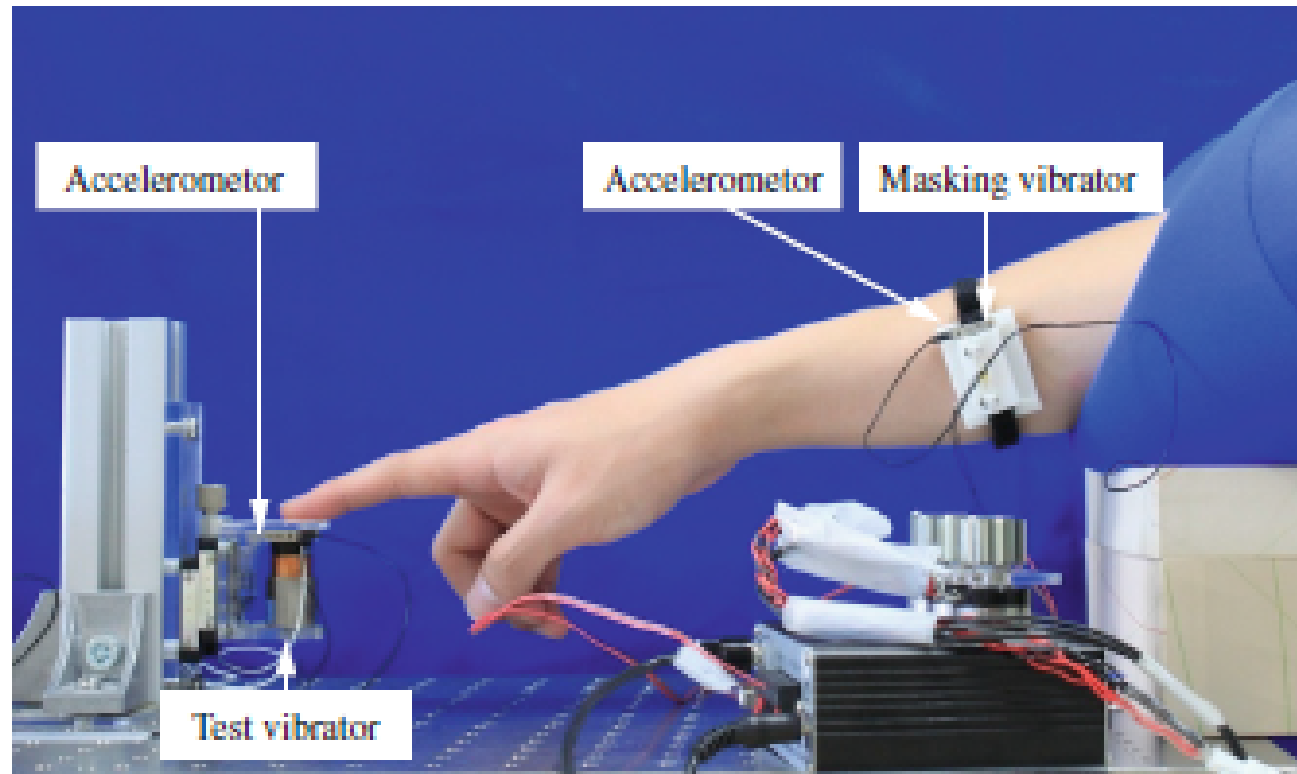


- 手のひらへの回転状触刺激＋振動による筋活動⇒手首が「回転し続ける」錯覚。

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

# 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.

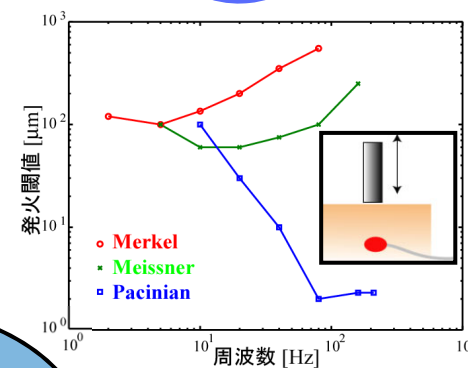
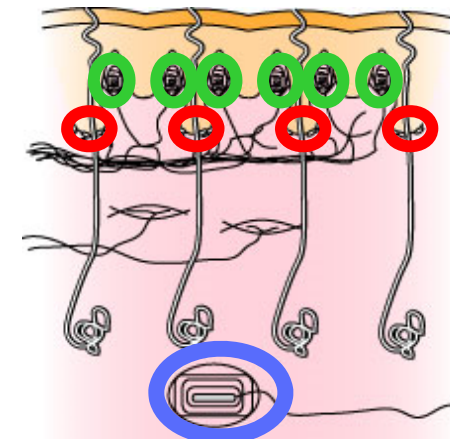
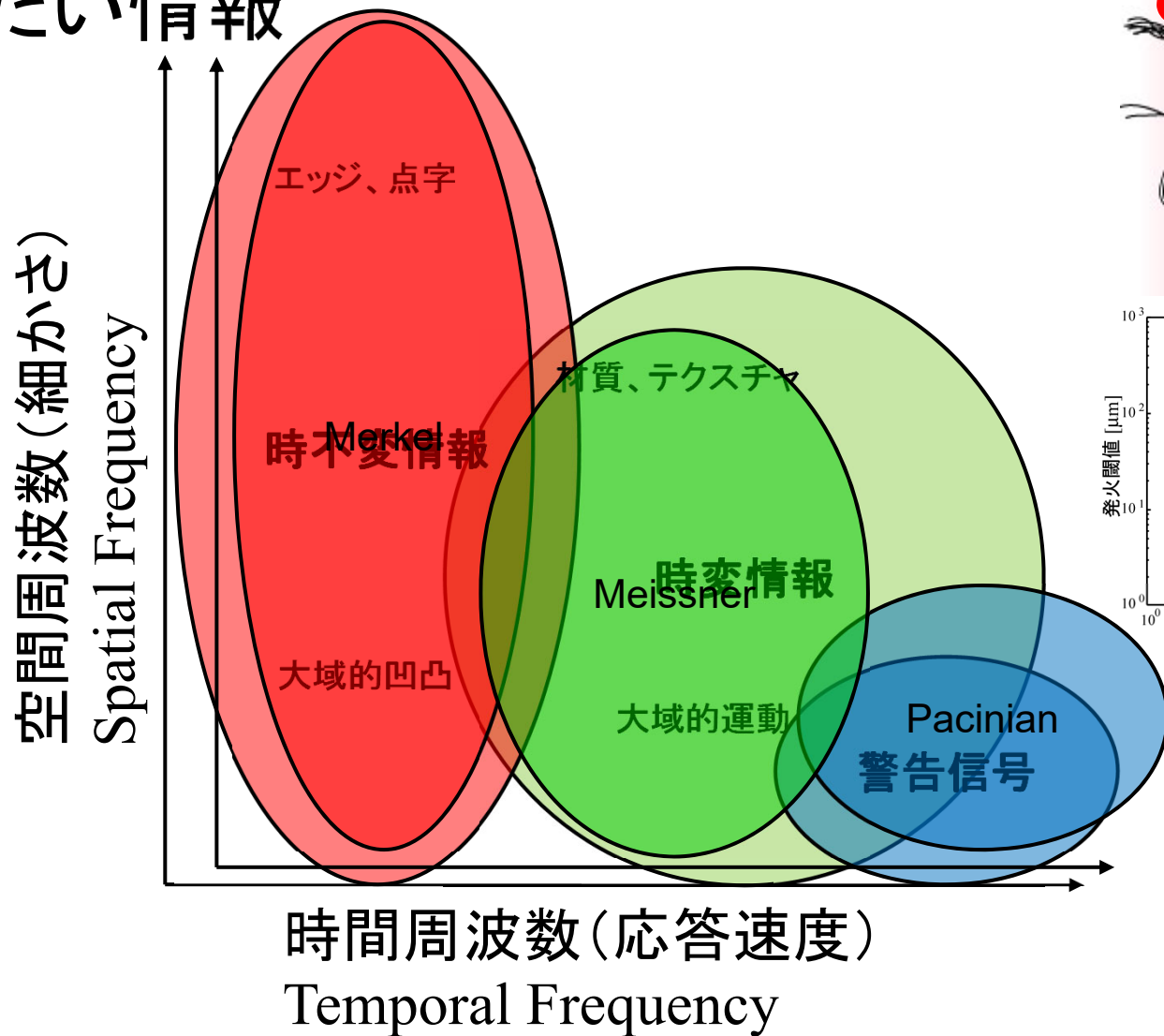
Presentation of vibration to forearm dramatically “mask” vibration feeling at fingertip.

# TODAY'S TOPIC

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

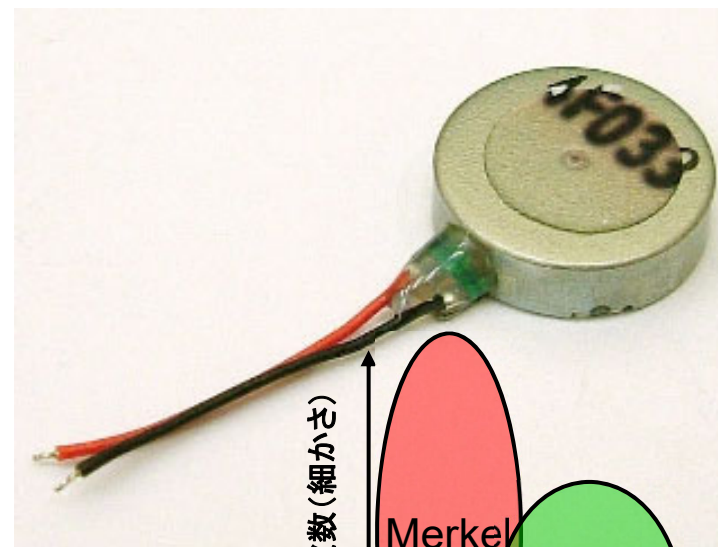
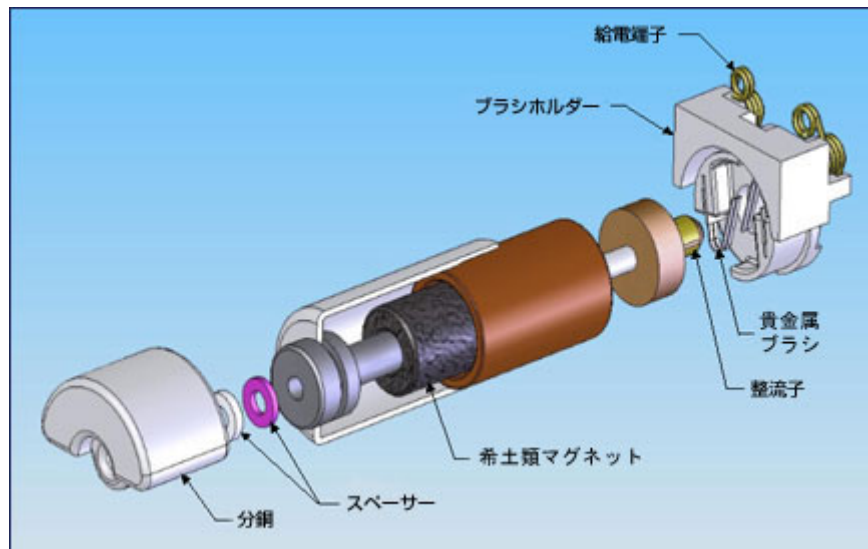


# 提示したい情報

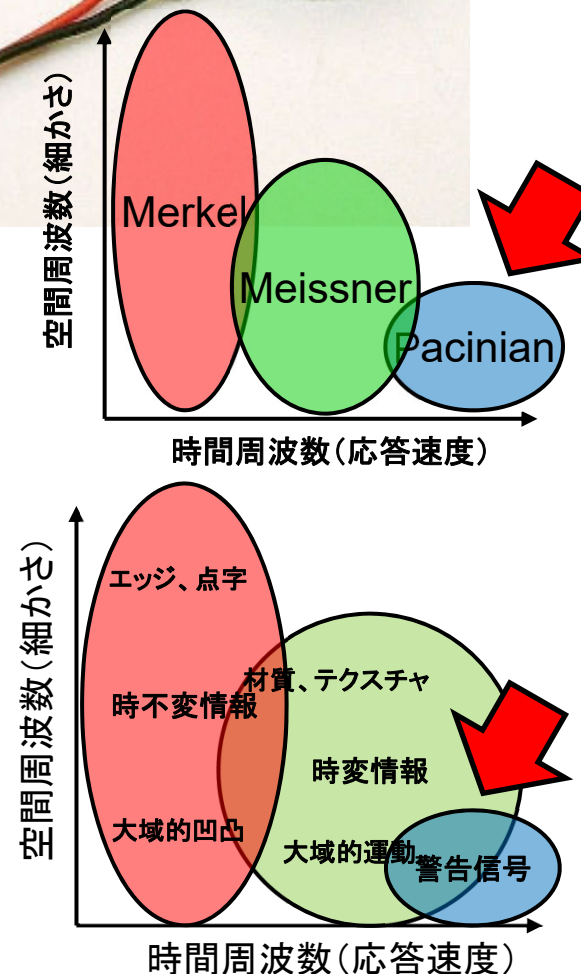


提示したい情報 ⇒ 必要なスペック  
ハードウェアと密接な関係 (すべての領域を提示できる手法は無い)

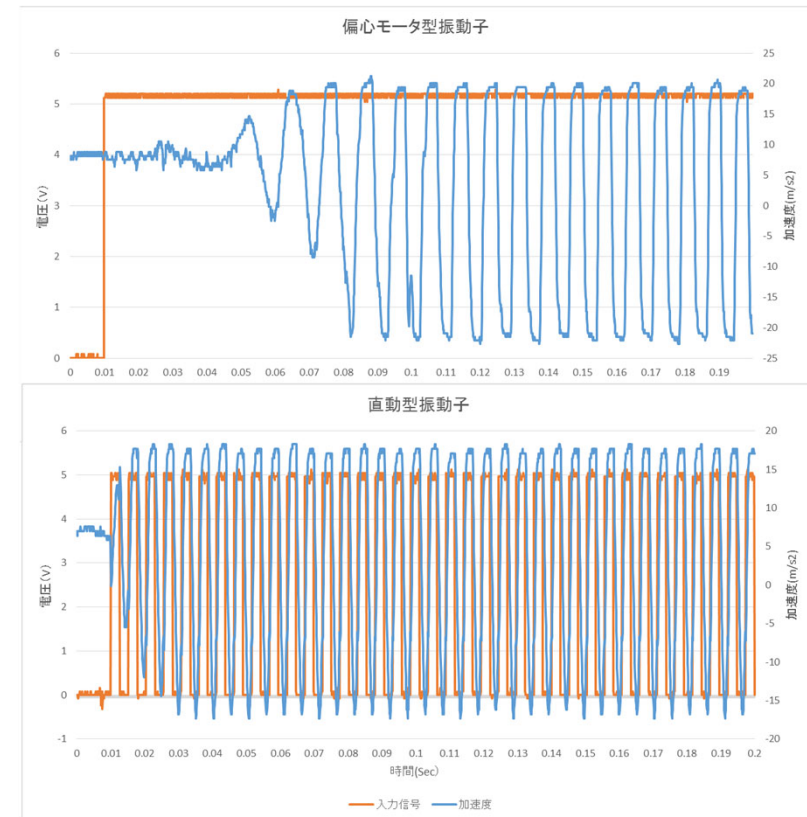
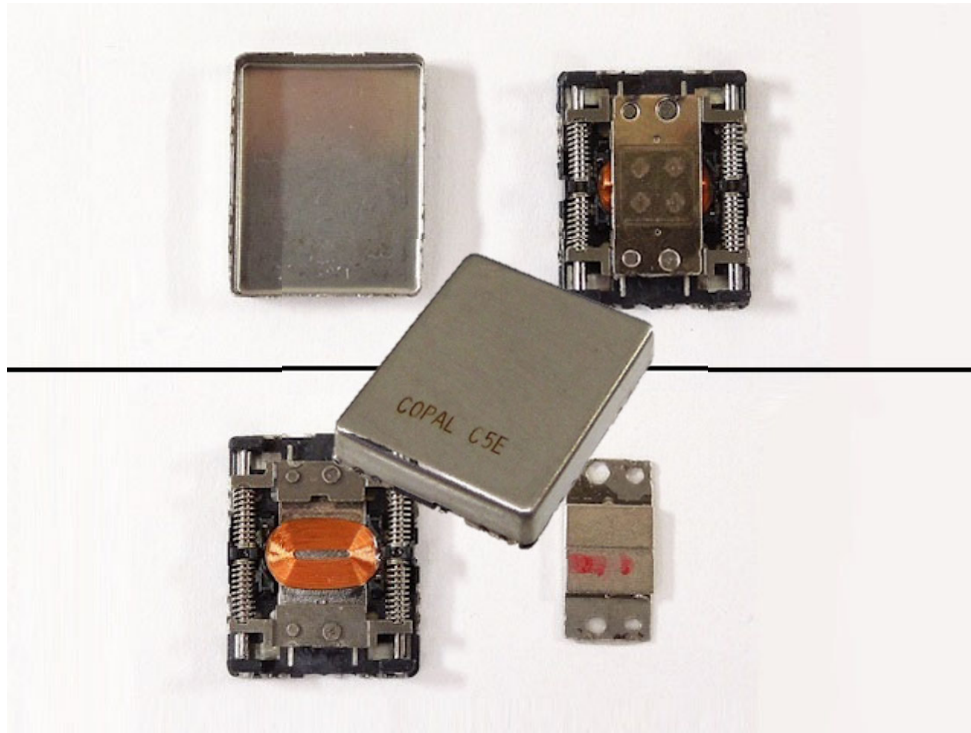
# 振動モータによる警告/Vibration Motor



- 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、テクスチャの呈示には不向き
  - 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



# 直動共振アクチュエータ/Linear Resonant Actuator



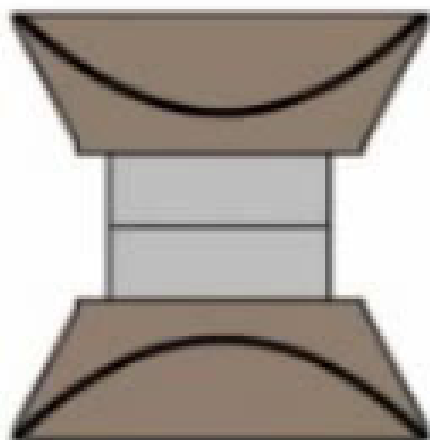
- 偏心おもり:一定回転速度に達するまでの時間遅れ:80ms程度
- ボイスコイル振動子に共振特性をもたせたLinear Resonant Actuator:遅延10ms以下.
- 共振周波数150Hz~200Hz. Pacini領域を狙う
- 現在AppleWatch等にも採用.

# 理想の振動子: スピーカ/ Audio speaker is ideal



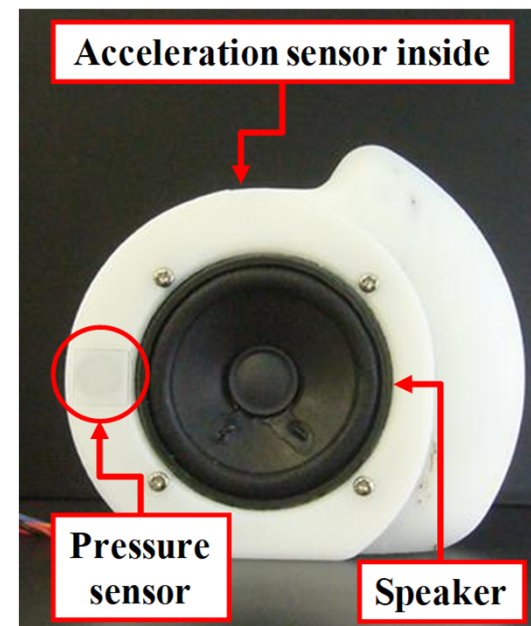
- エネルギー効率は落ちるものの、任意の周波数／振幅を実現。
- 駆動系はほぼオーディオアンプ(場合によっては低周波特性を改善)
- 特に近年、小型でも低周波で駆動できるスピーカが市販されるようになり、入手性も良い。

# スピーカ⇒材質感の実現(1): 生物感



Users hold speakers with their hands and an elastic band around the speaker cone seals the air between the palm and the cone.

Y. Hashimoto A Novel Interface to Present Emotional Tactile Sensation to a Palm using Air Pressure, CHI2008



1Hz~2Hz程度の振動も提示できるため、例えば心拍も再現できる。スピーカを手で抑えると一種の空気圧駆動となり、本来的に「柔らかい」

# Application of Hi-Fi tactile display

Application ① ② ③

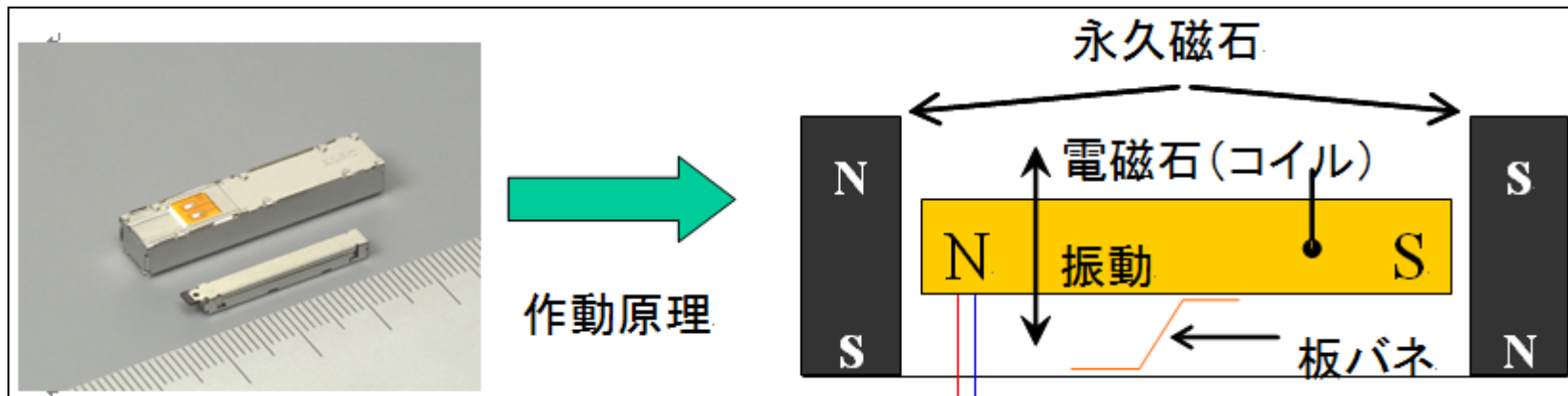
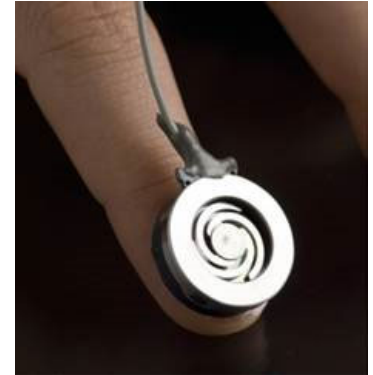
Living Matter

# スピーカ型アクチュエータの小型化

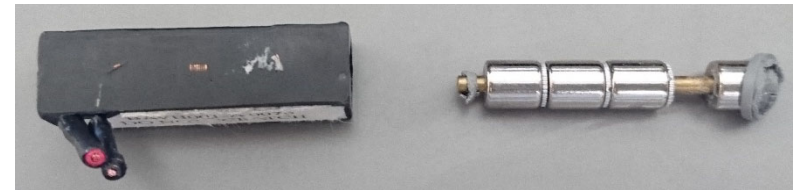
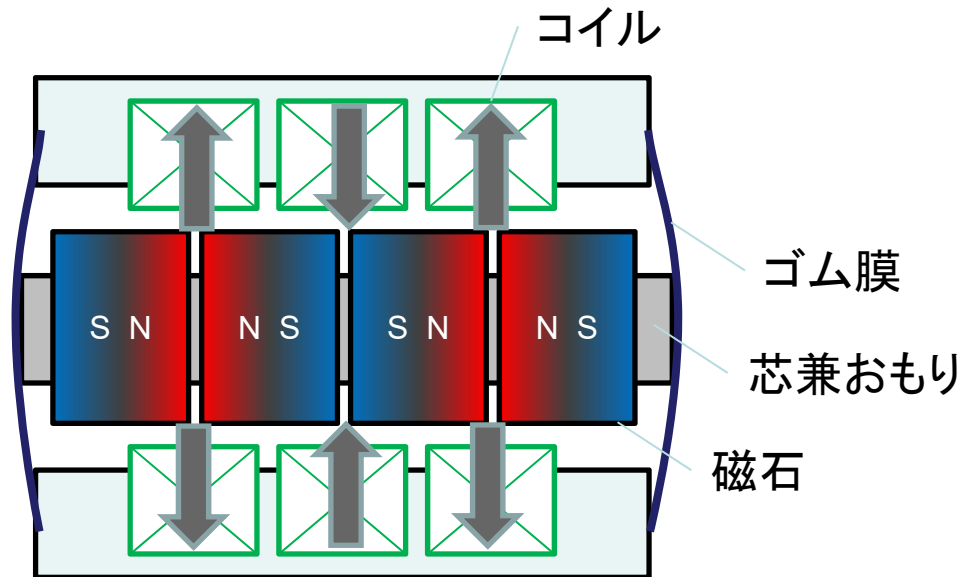
## Miniaturizing speaker

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
  - NECTーキン、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)



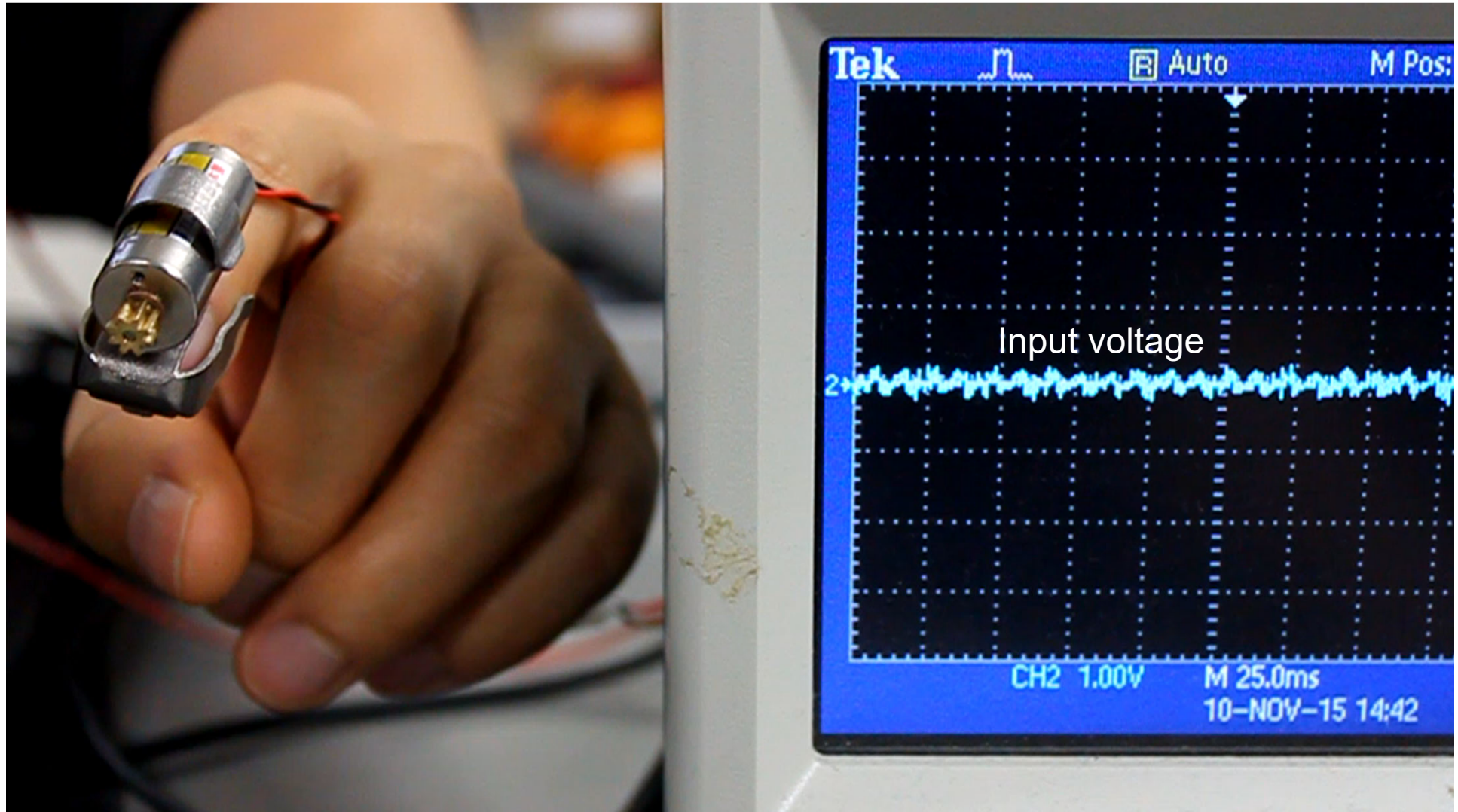
# Structure of Haptuator mk2



- 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)

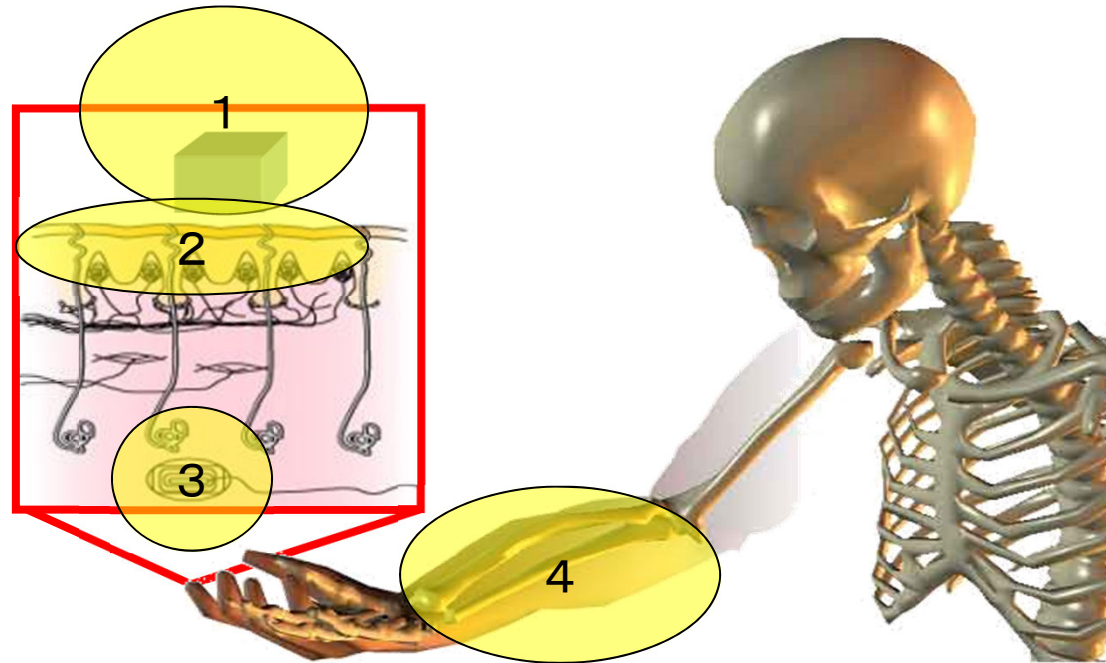


ヤエム, 岡崎, 梶本: モータ回転加速度を用いた振動触覚提示の周波数特性, 第20回日本バーチャルリアリティ学会(2015年9月 芝浦工業大学), 2015.

V. Yem, R. Okazaki and H. Kajimoto, "Vibrotactile and Pseudo Force Presentation using Motor Rotational Acceleration." Proc of IEEE HapticsSymposium, Philadelphia April 8-11th, pp. 47-51, 2016.

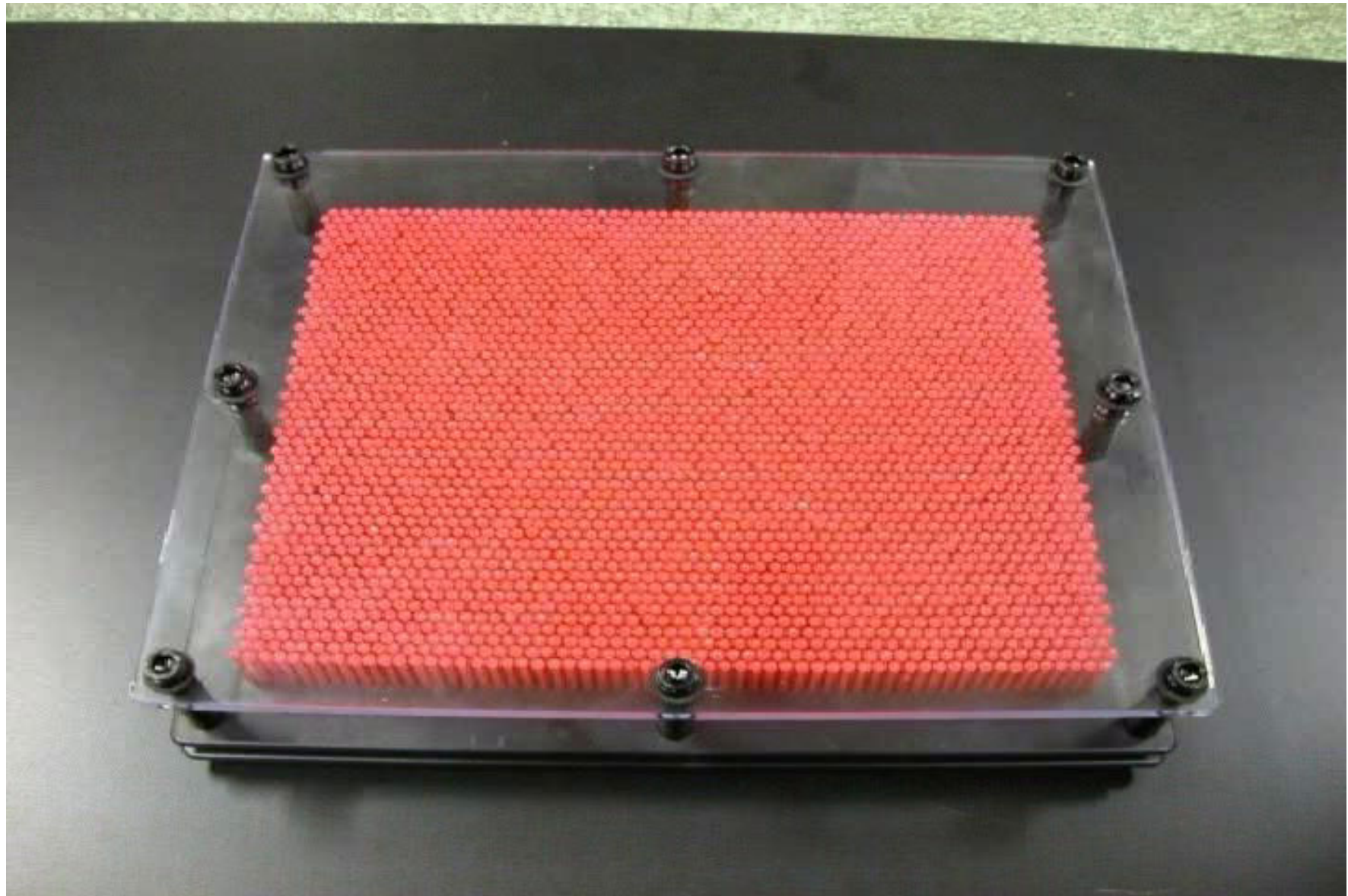
# 触覚を再構築するには

## 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



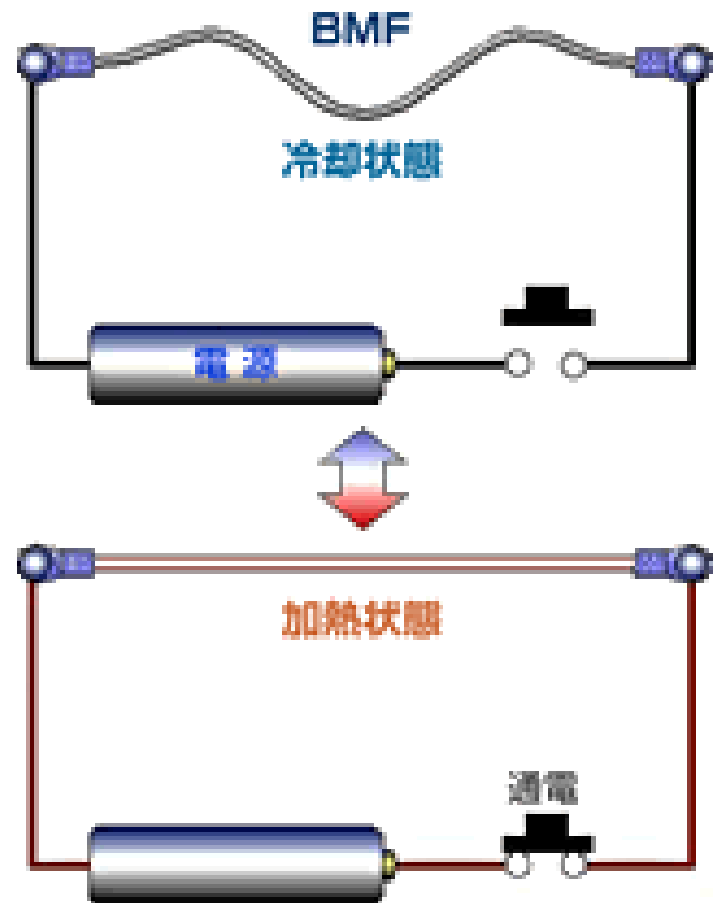
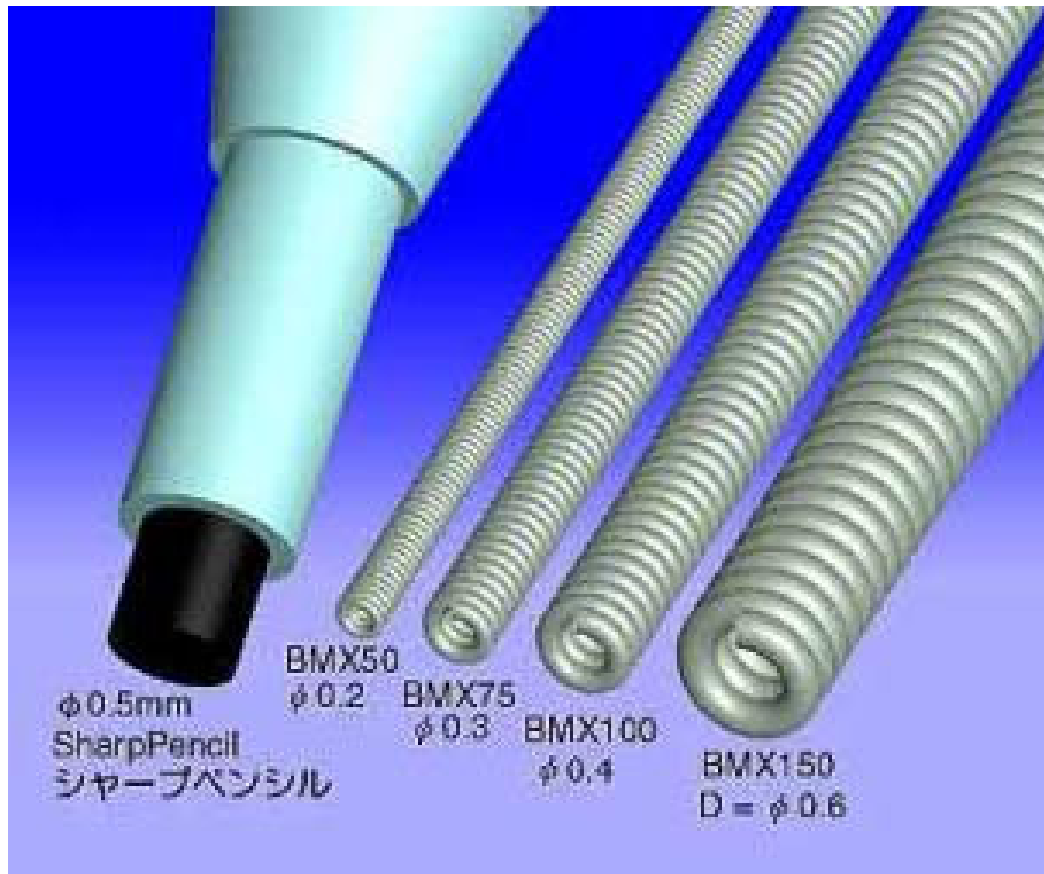
*X-men,2000*

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)



# Lumen (Ivan Poupyrev, 2005)

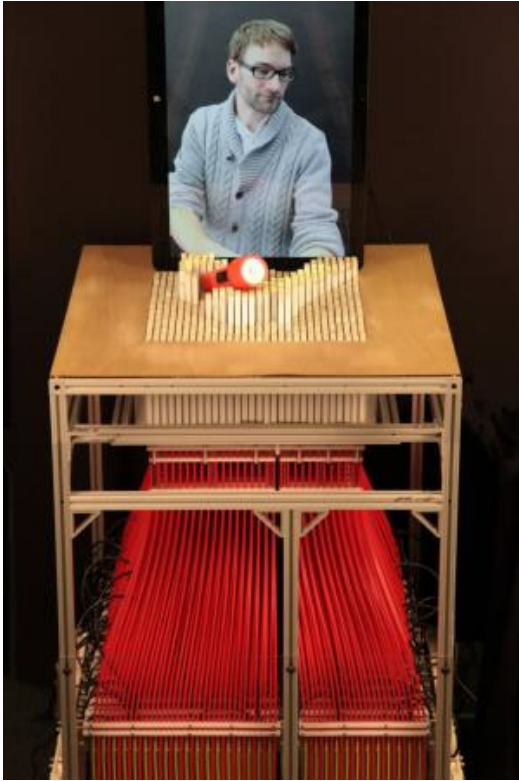


<http://ftp.csl.sony.co.jp/person/poup/projects/lumen.html>

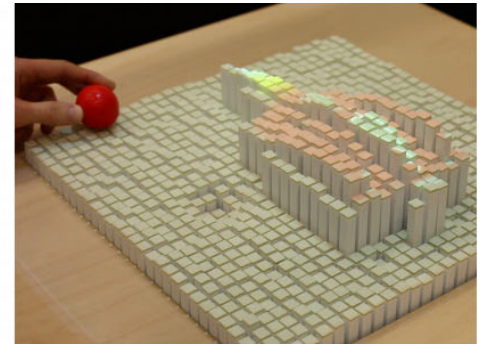
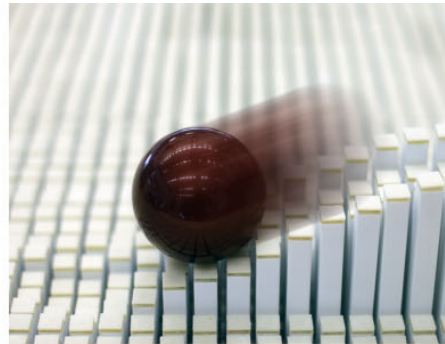
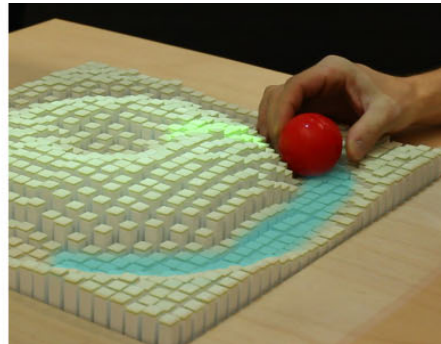
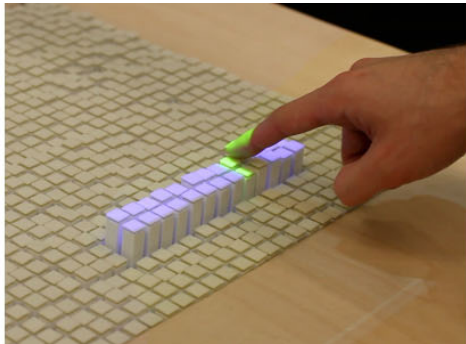
インタラクティブシステム特論



# inFORM (Sean Follmer, 2013)

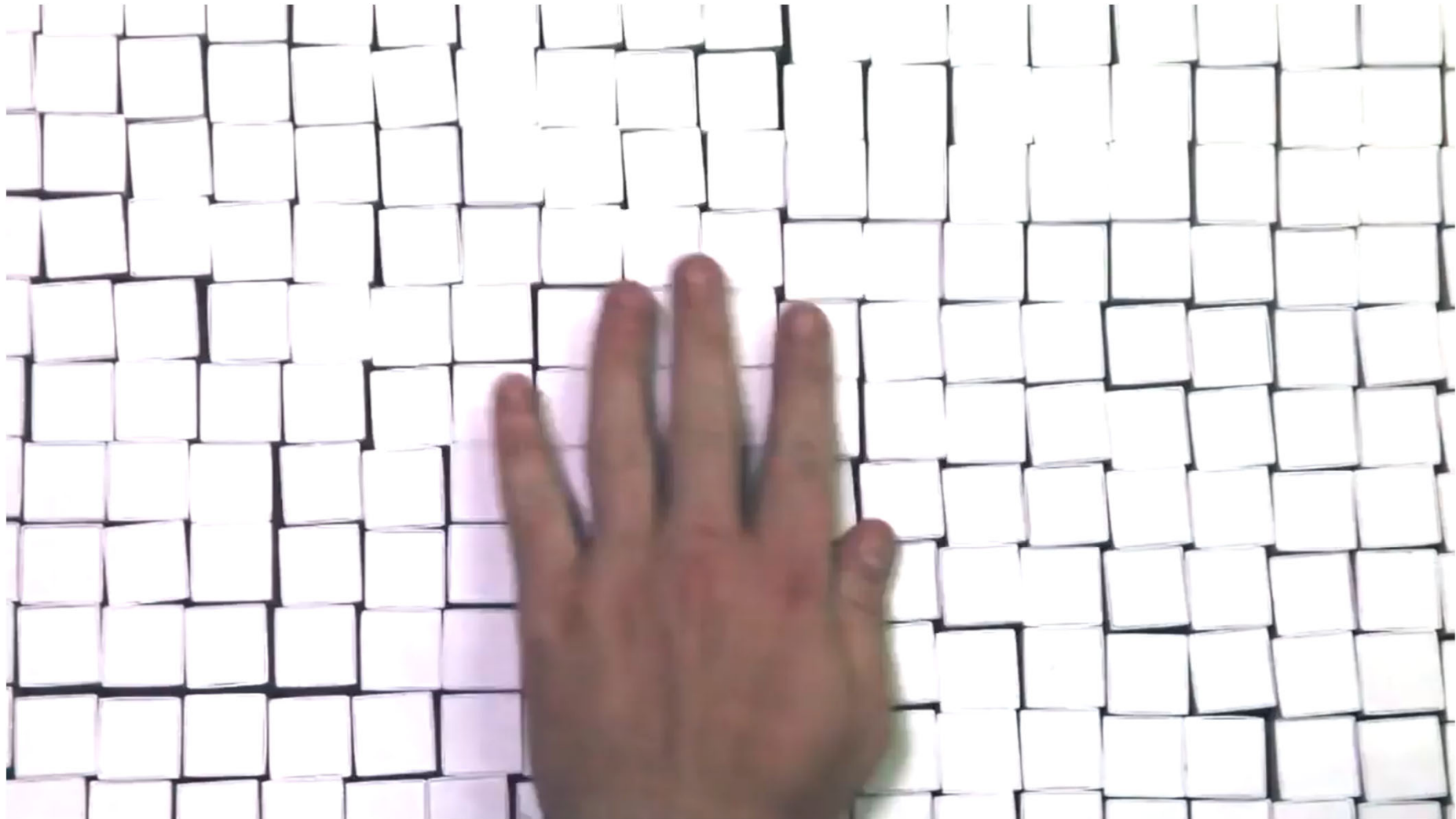


<https://www.youtube.com/watch?v=5EkkTV51Pg0>



# 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



3D形状ディスプレイで動的物理特性を表現した.

(CHI2018) Visuo-Haptic Illusions for Improving the Perceived Performance of Shape Displays

Parastoo Abtahi, Sean Follmer

# Visuo-Haptic Illusions for Improving the Perceived Performance of Shape Displays

Parastoo Abtahi, Sean Follmer

**SHAPE**  
Lab 



**Stanford**  
University

- 3D形状ディスプレイの解像度問題を解決するために視覚と触覚の対応を調整する

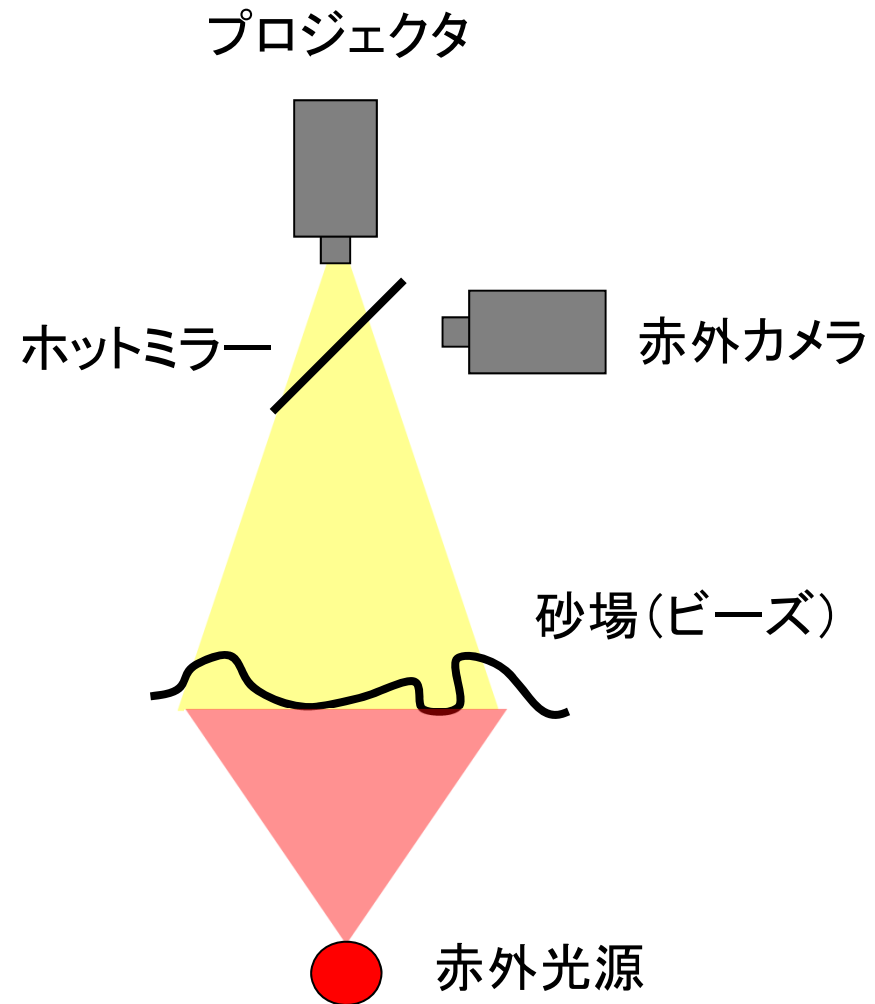
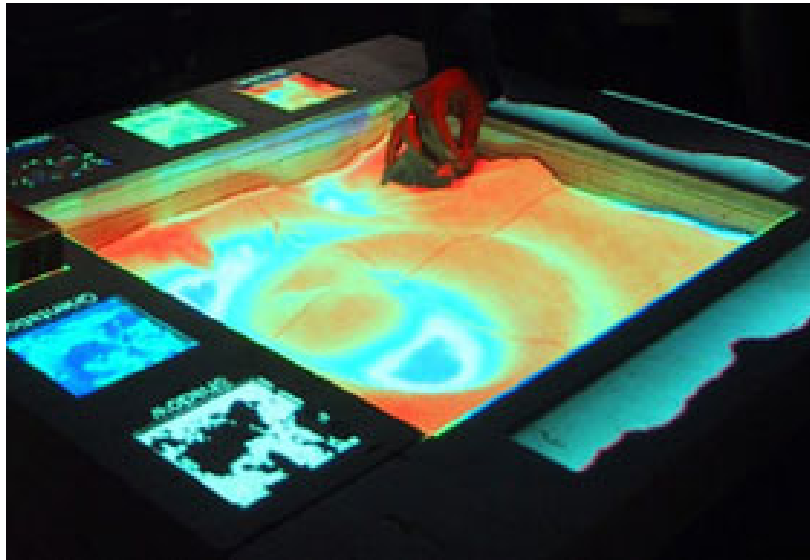
# inForce (Nakagaki et al., 2019)

<https://vimeo.com/326196792?fbclid=IwAR3qEI1iRDnYHyBSOsAhPOrdoWzDCiESPjsxjbdYeqqR0U1K-ko7gDOZRv0>

双方向性をもったピンマトリクス. カノ位置のセンシングとカノ位置の提示

# Is Actuator really necessary? : SandScape

(Yao Wang et al., 2002)

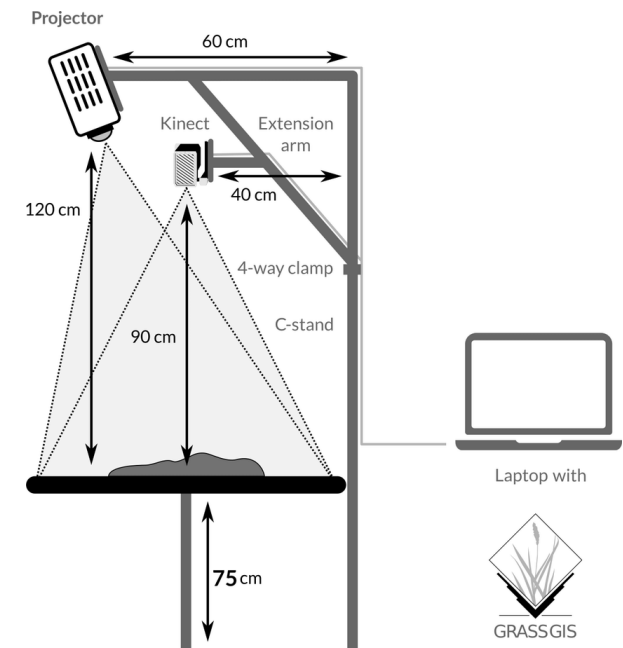


<http://tangible.media.mit.edu/projects/sandscape/>

# SEGA えーでるすなば(2015)

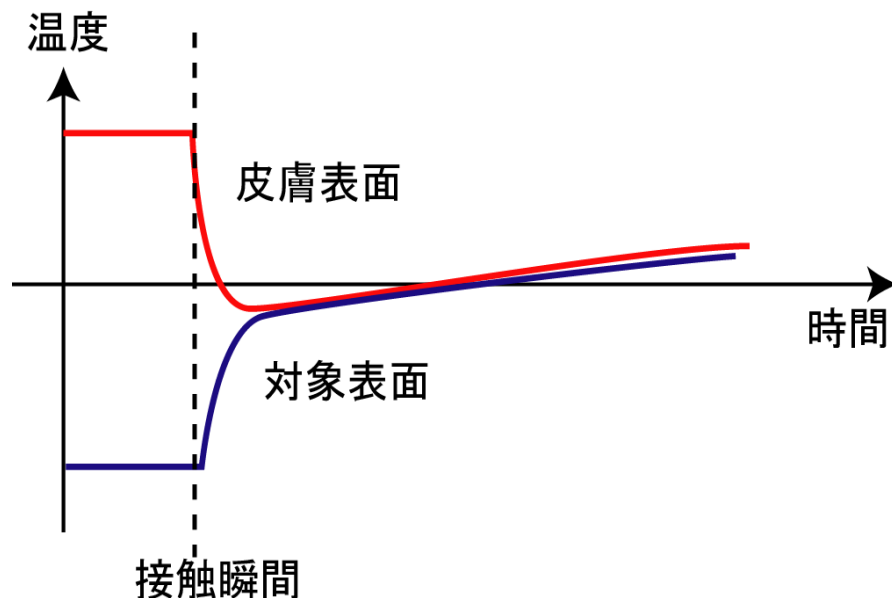
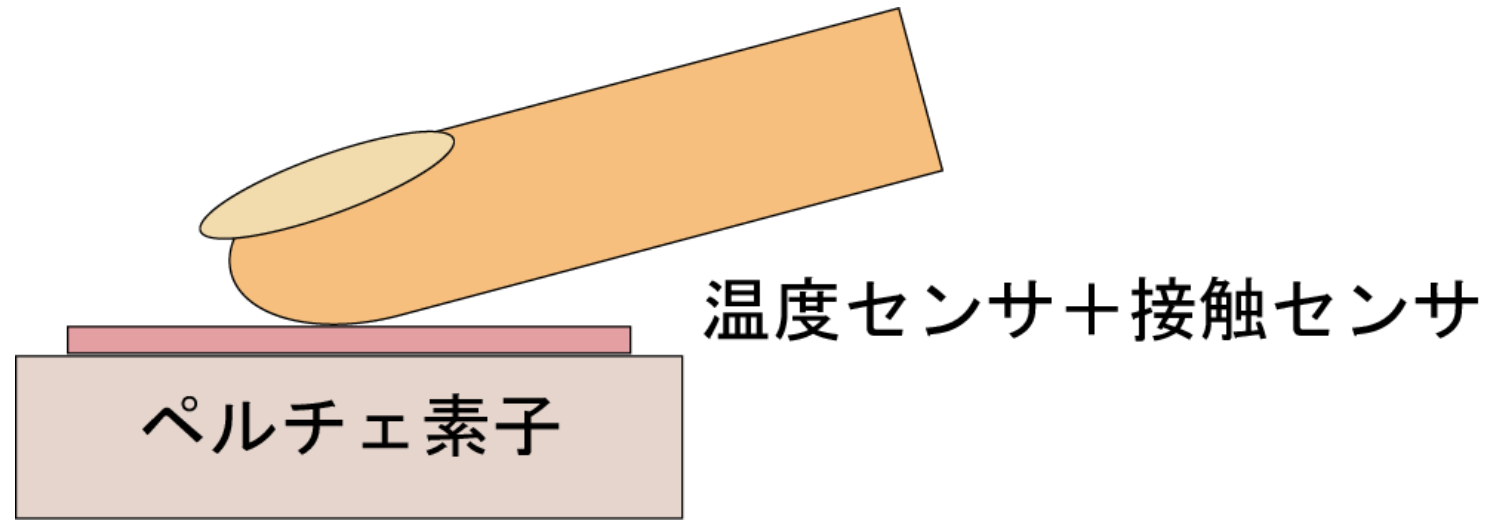


(CHI2018)Tangible Landscape: A Hands-on Method for Teaching Terrain Analysis  
Garrett C. Millar, Payam Tabrizian, Anna Petrasova, Vaclav Petras, Brendan Harmon,  
Helena Mitsova, Ross K. Meetenmeyer



- SandScape再度. 地形に関する教育用に用いた.

# 温度感覚ディスプレイ／Thermal Display

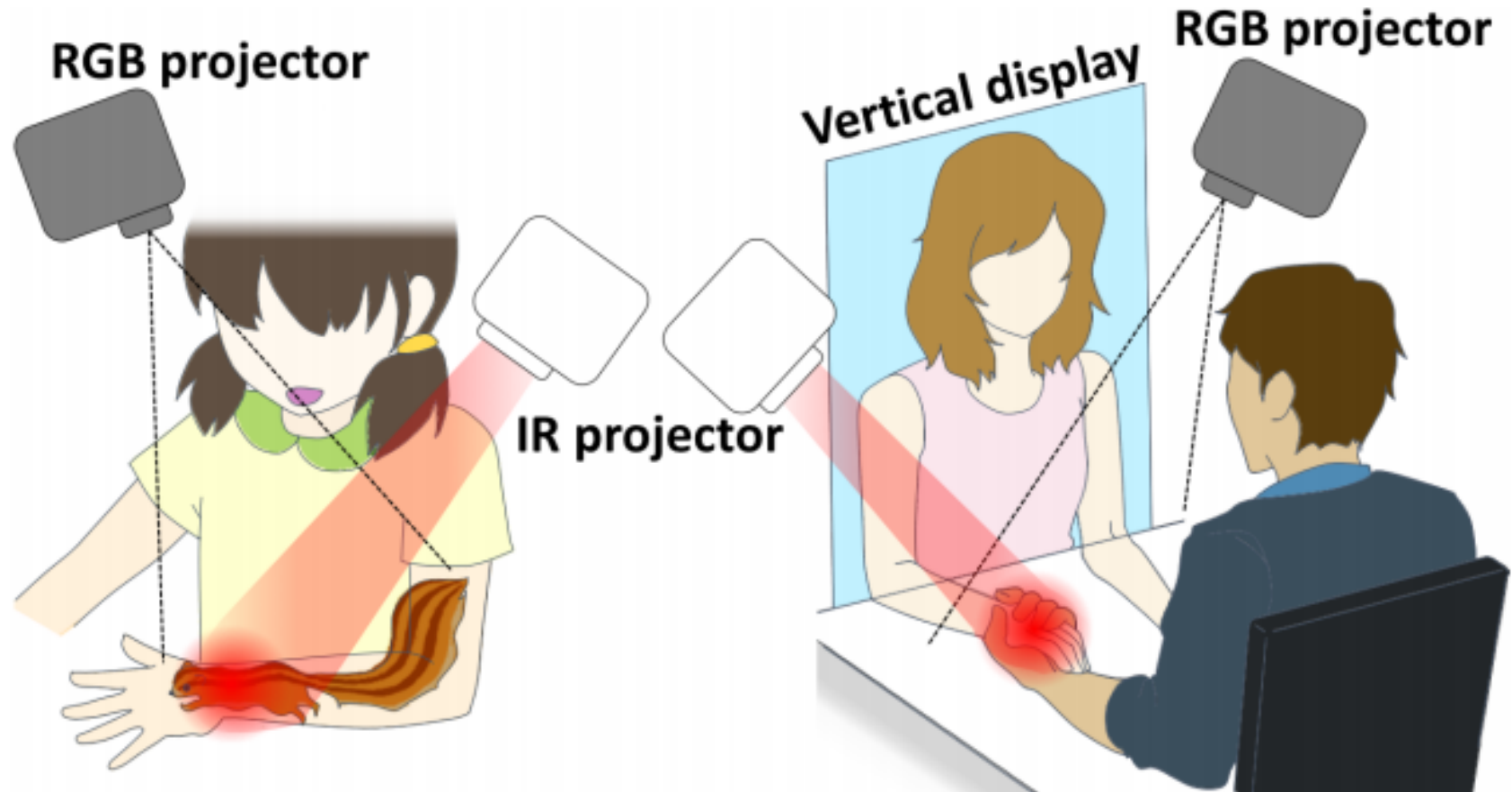


接触瞬間から2～3秒間の温度変化が  
材質感推定の強力な手がかり

2 to 3s temperature change is the key  
to detect object property.  
Peltier device with temperature sensor  
is used to reproduce the time course.

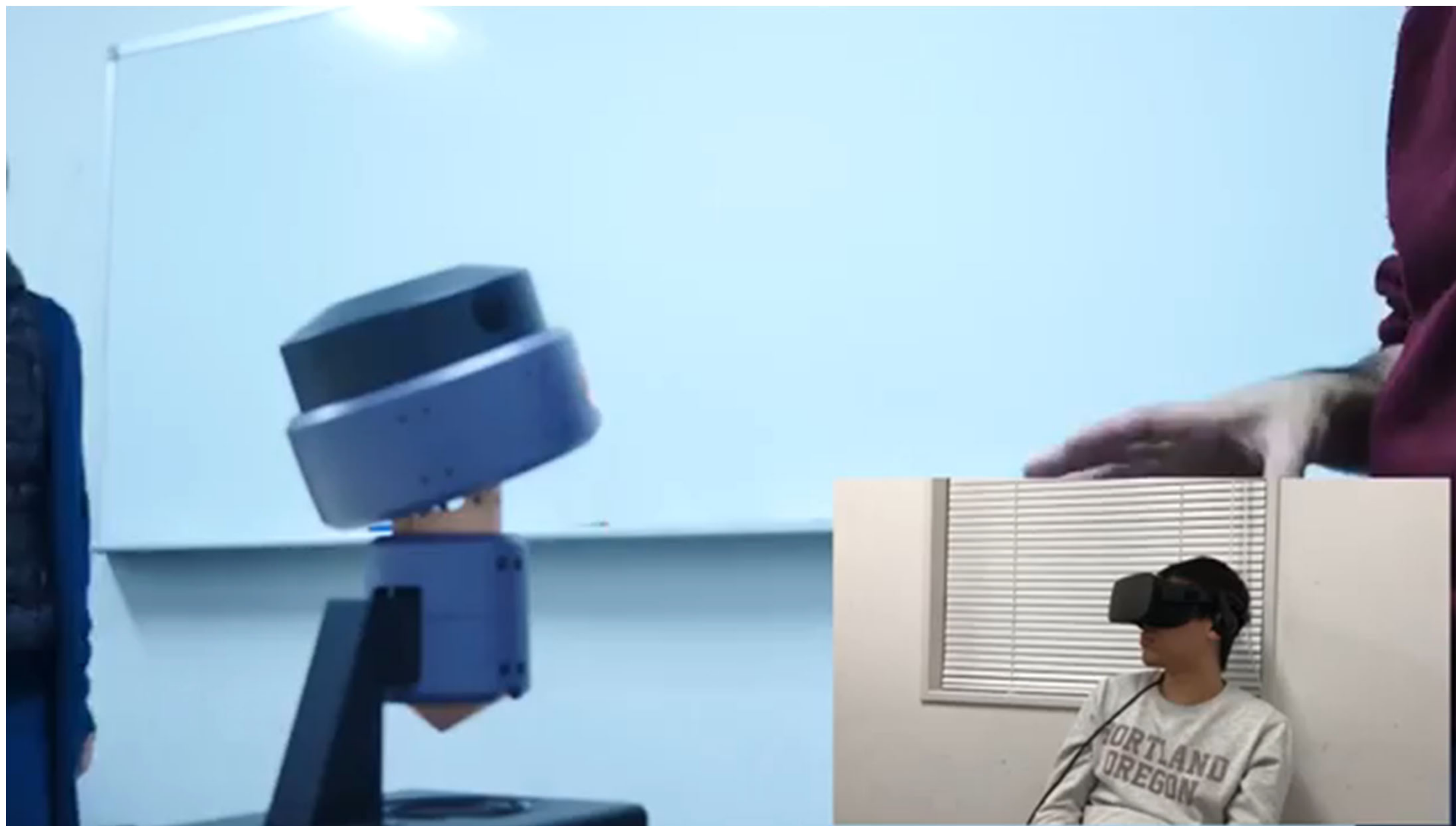


# 温度プロジェクション / Thermal Projection



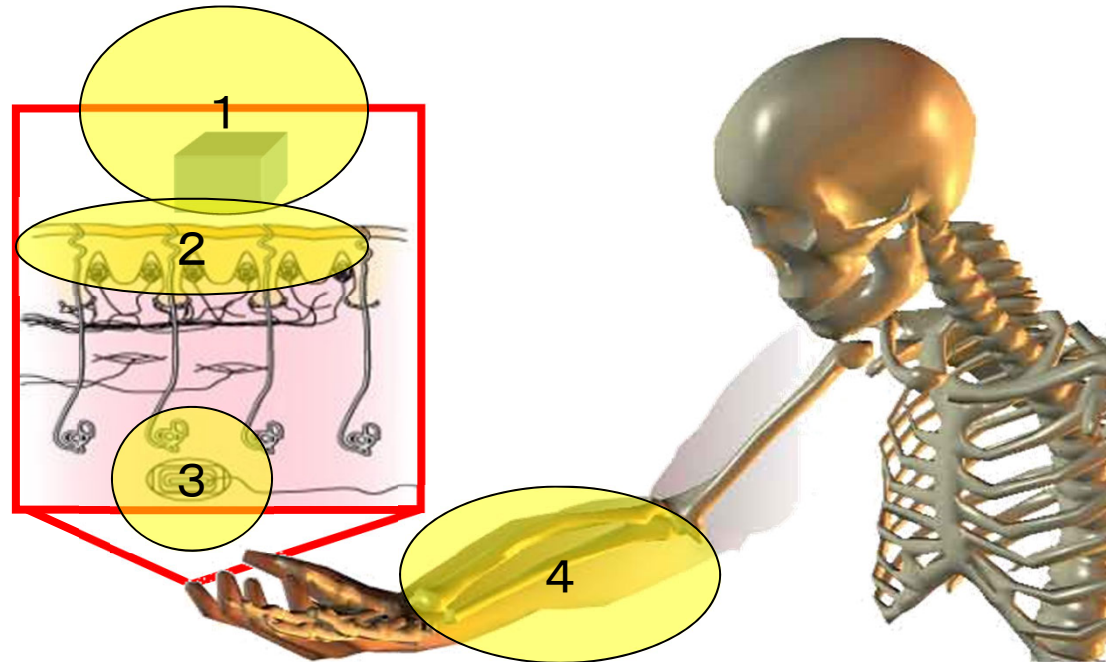
赤外プロジェクタで温度(温かい側)を投影する.  
Project thermal sensation by IR projector.

(CHI2018) Ambient: Facial Thermal Feedback in Remotely Operated Applications  
MHD Yamen Saraiji, Roshan Lalintha Peiris, Lichao Shen, Kouta Minamizawa, Susumu Tachi



- 顔周りの温度感覚を遠隔に伝えるレイグジスタンス.

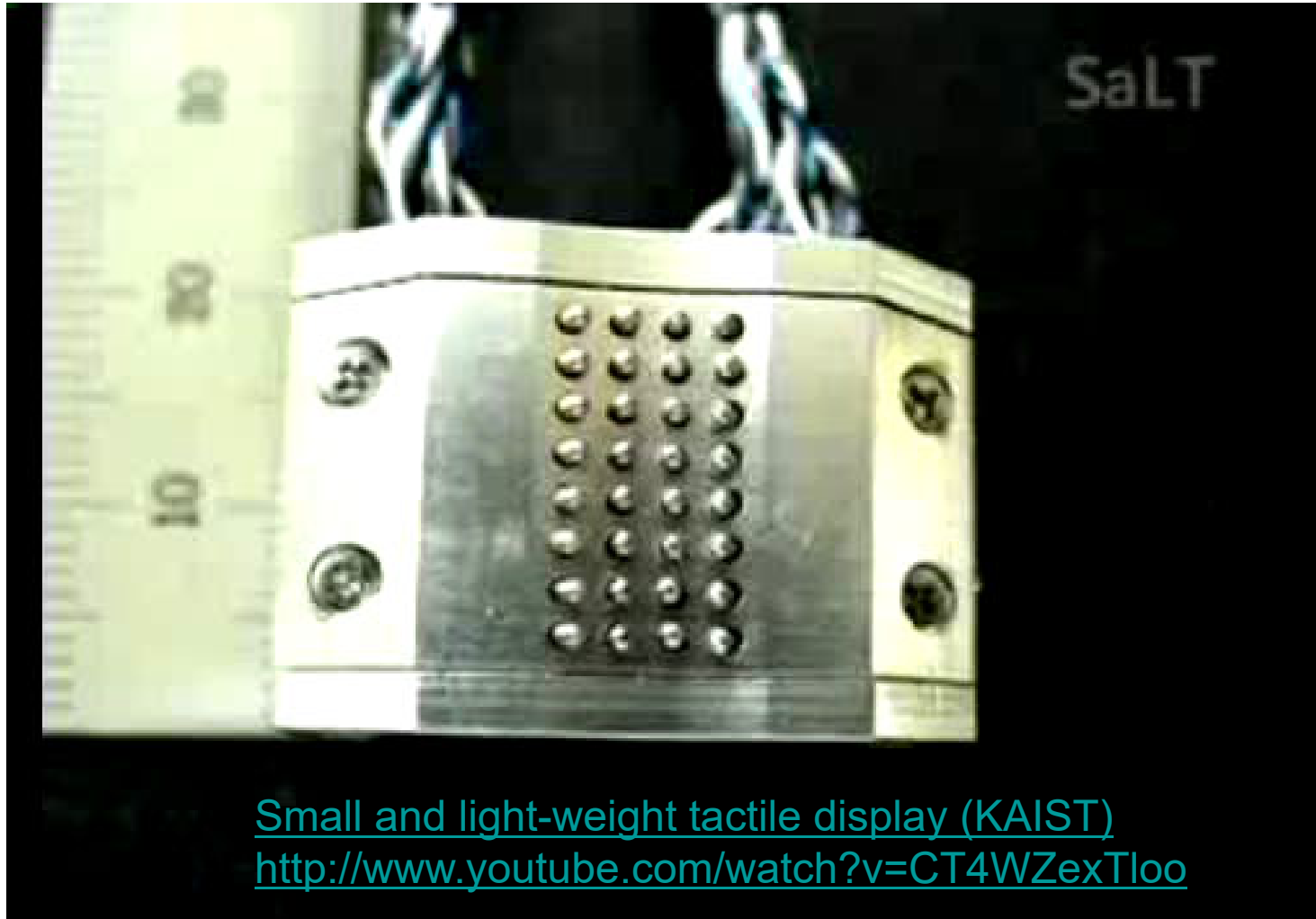
# How to produce Touchable Illusion?



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

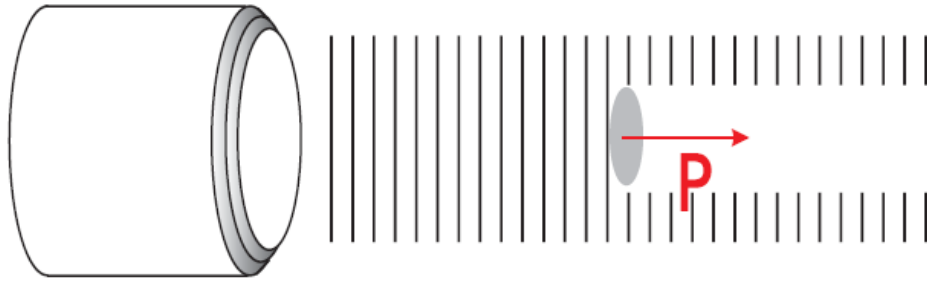
# Reproduce Skin Deformation

“Carpet is expensive. Shoes are enough!” Lets **Wear**.



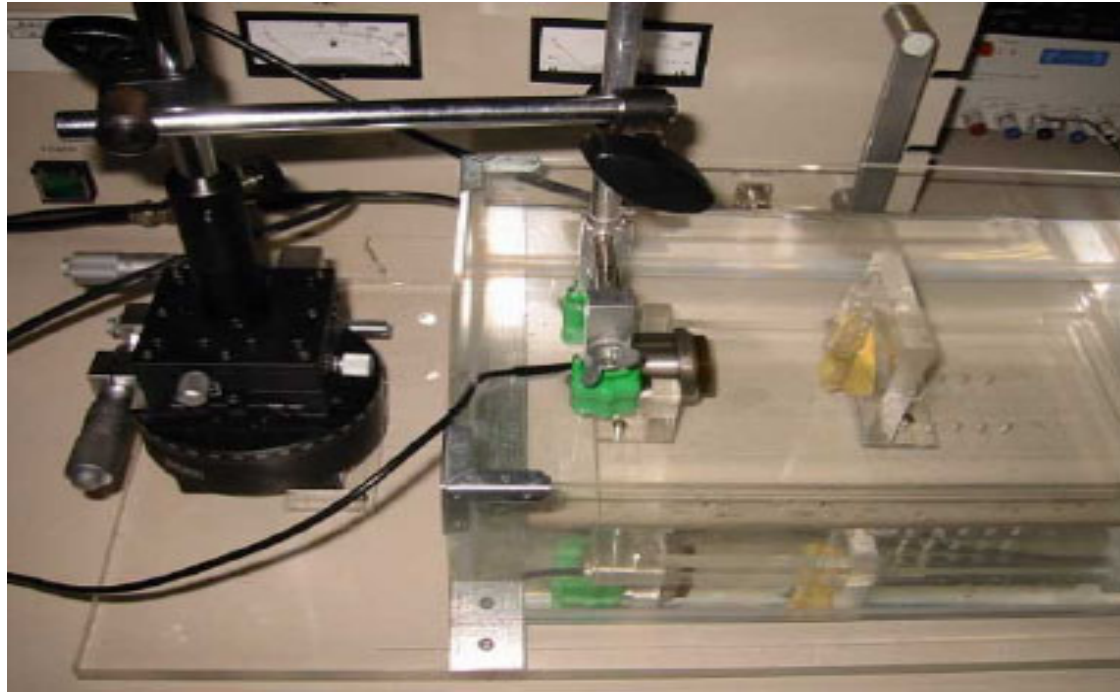
Problem: How can the actuator be so small and dense? (again)

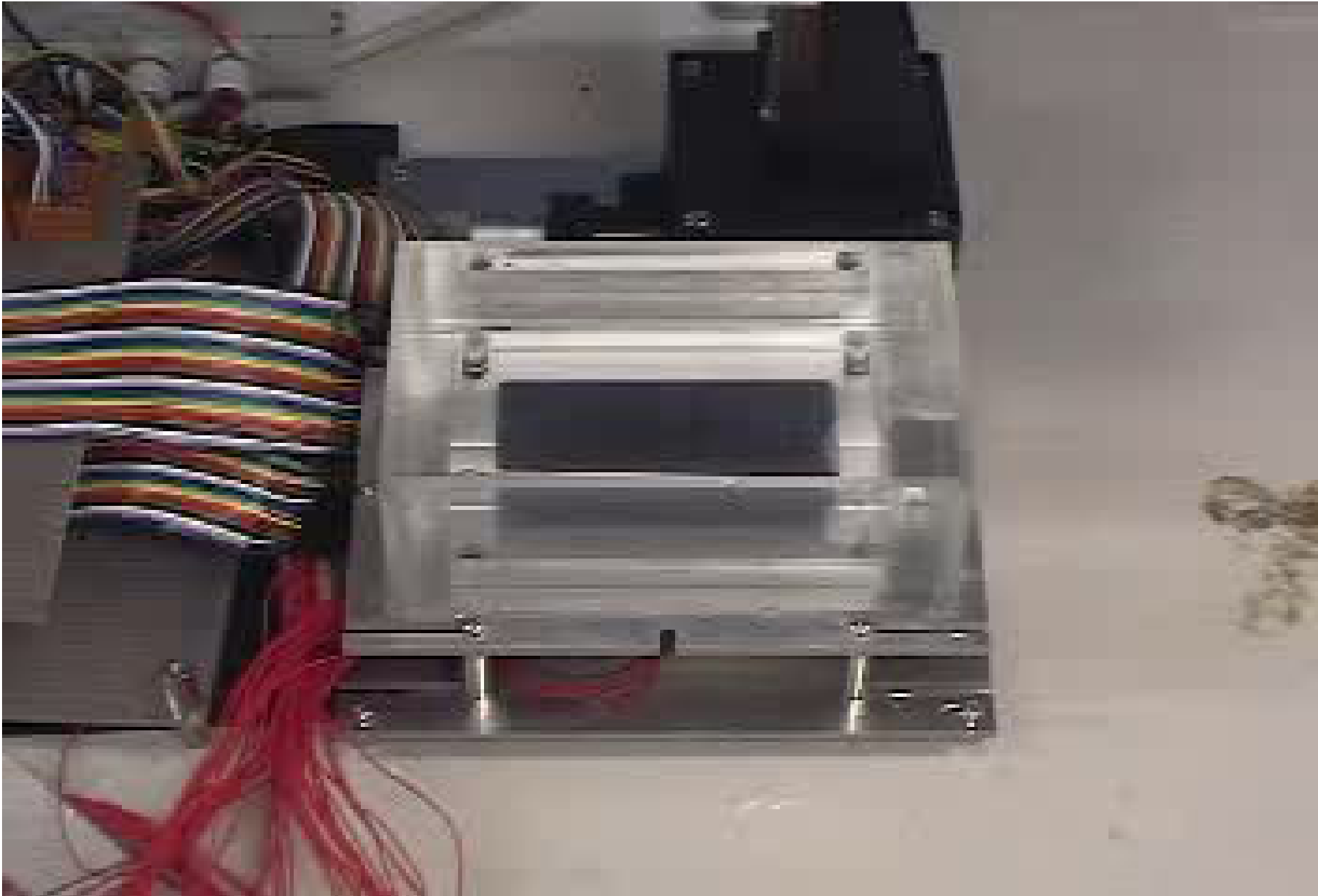
# Actuator should disappear?



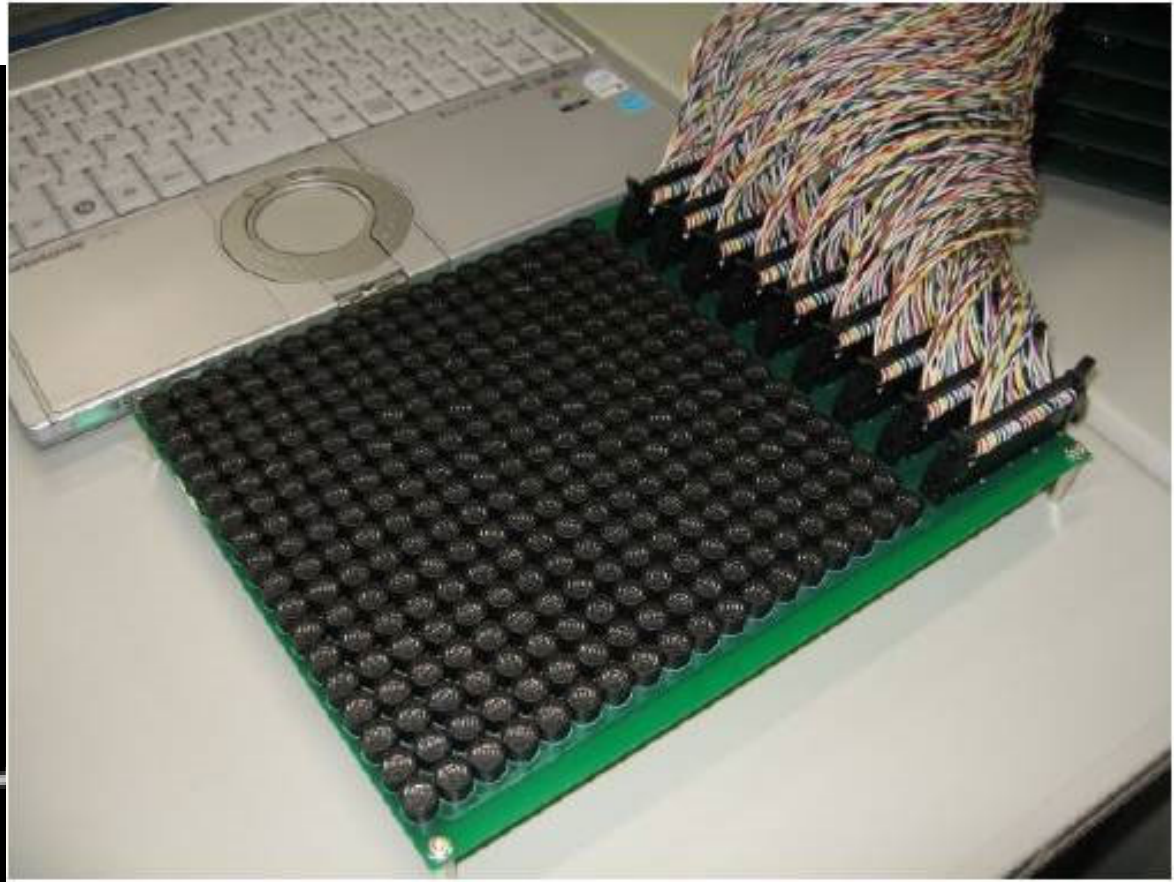
Ultrasound generates Static Pressure

Iwamoto "Focused ultrasound for tactile feeling display," In Proc. of ICAT2001.

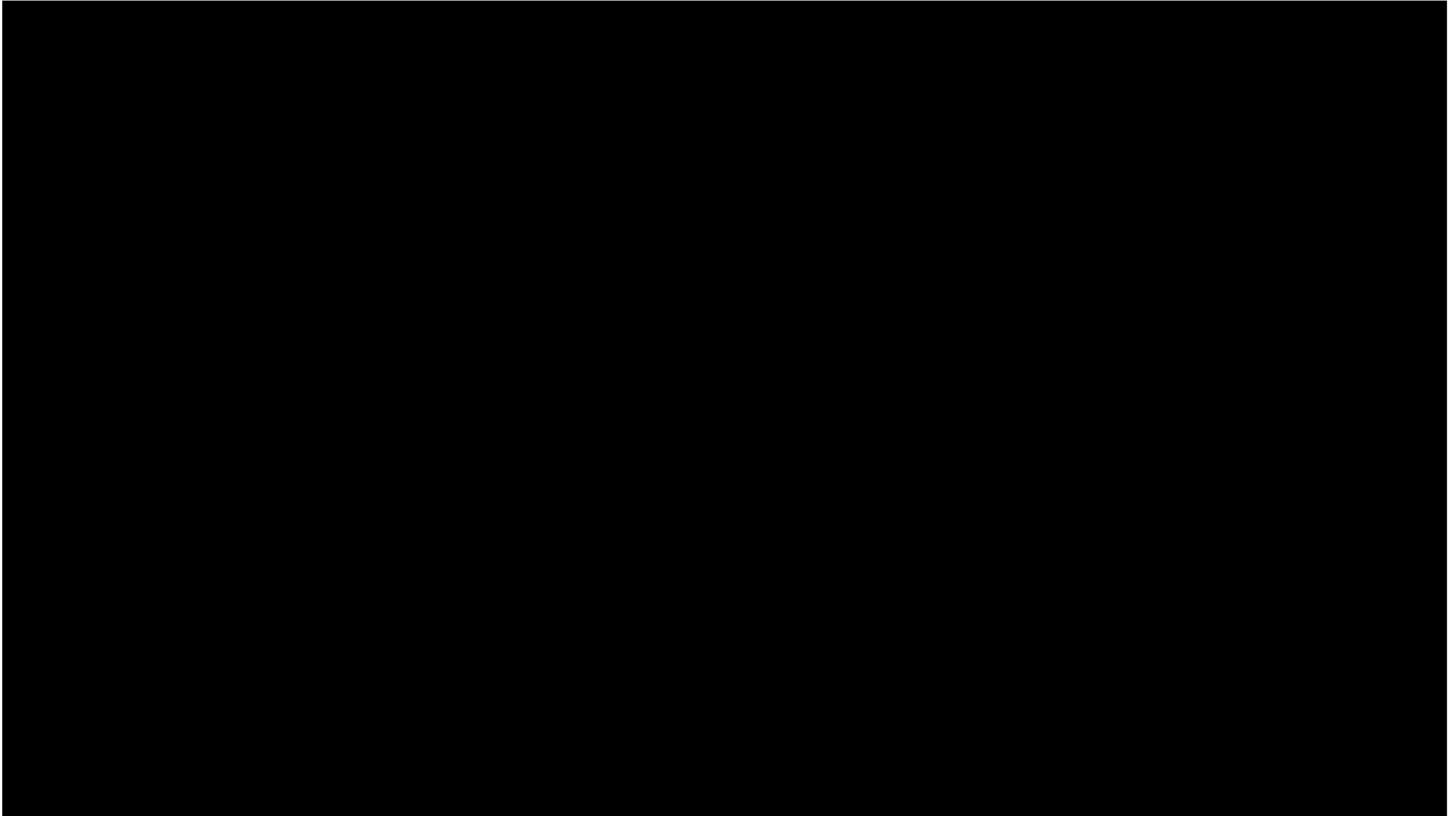




Airborne U



# Three-Dimensional Mid-Air Acoustic Manipulation



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

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



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

Yasutoshi Makino, Yoshikazu Furuyama, Seki Inoue, Hiroyuki Shinoda

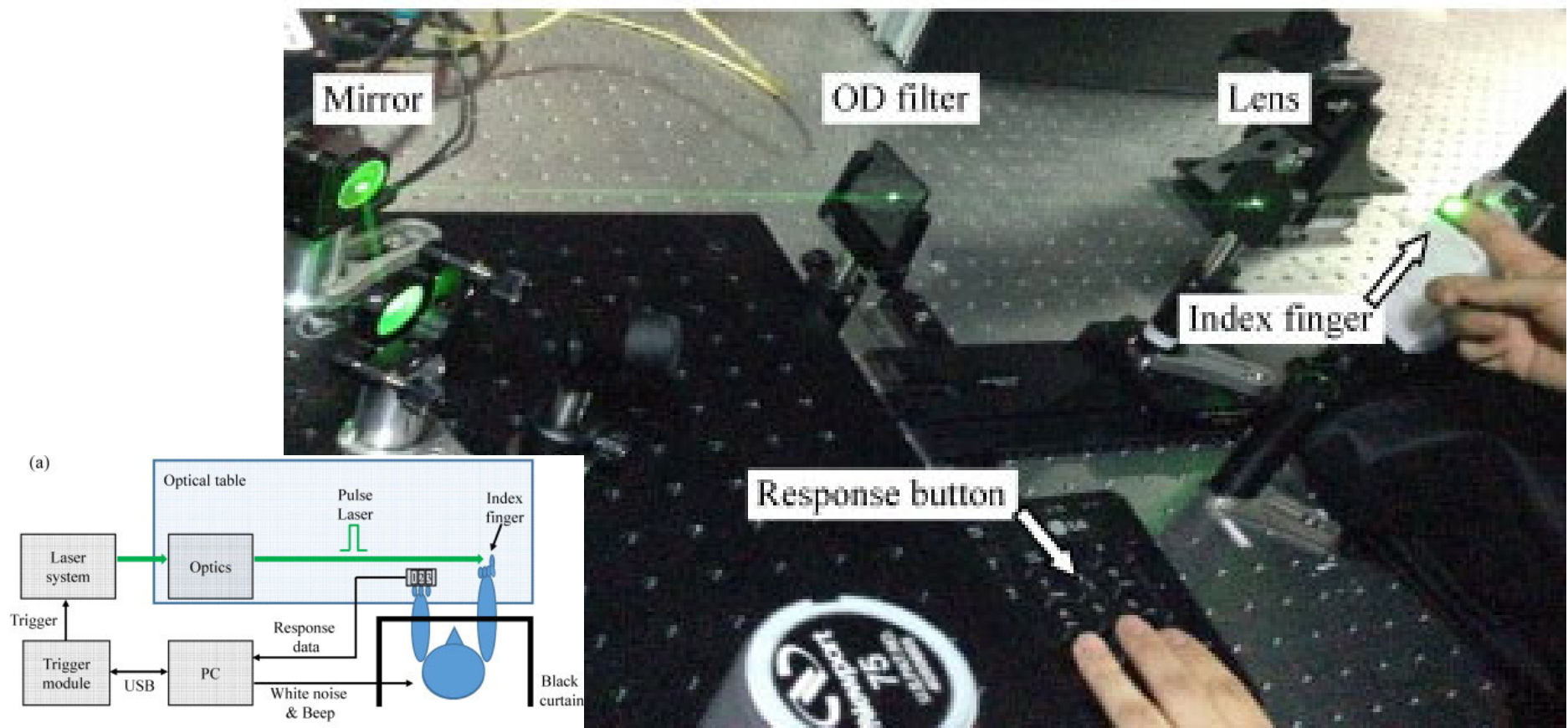
**HaptoClone (Hapto-Optical Clone)  
for Mutual Tele-Environment  
by Real-time 3D Image Transfer with Force Feedback**

**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

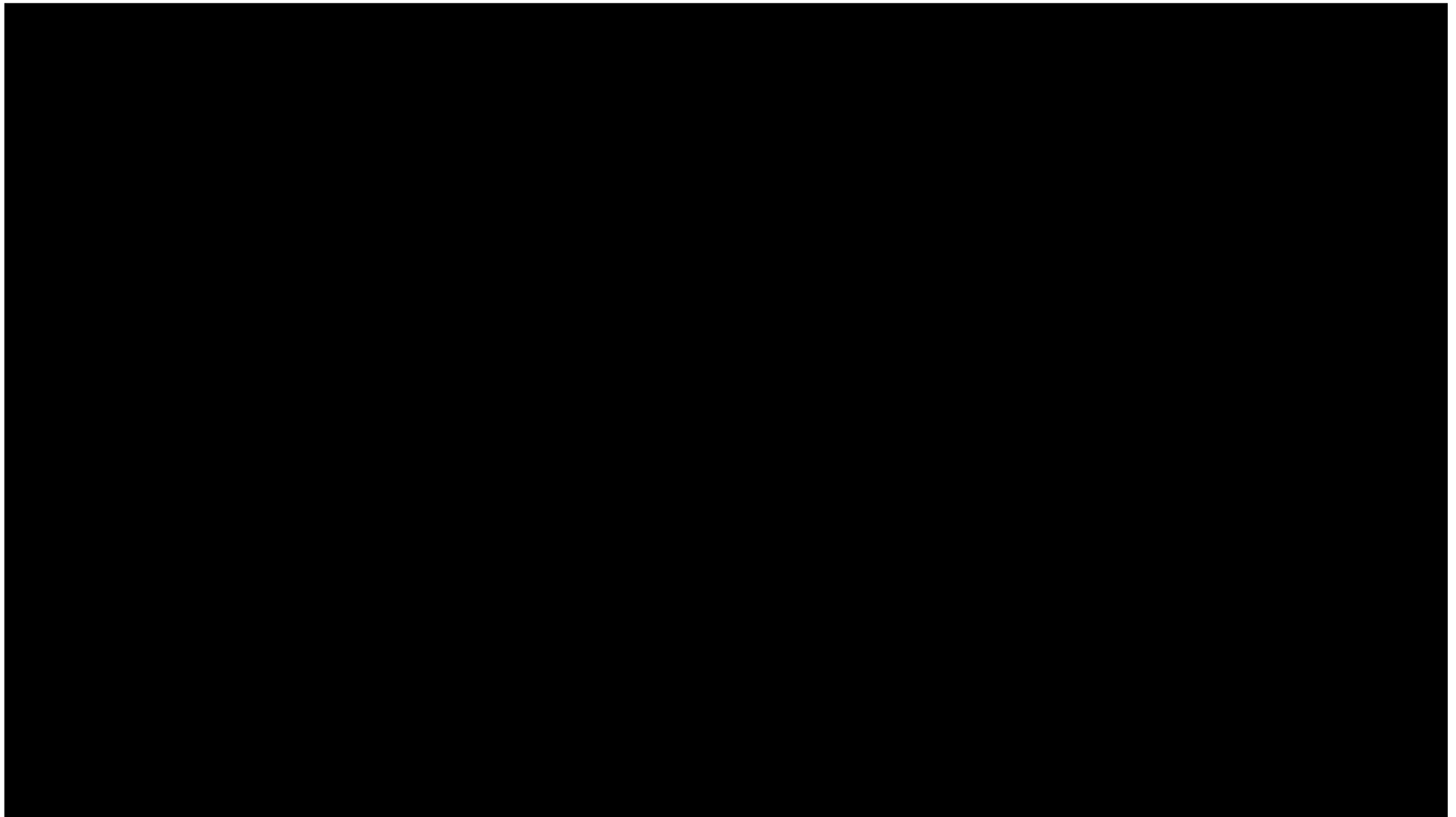


超短時間の高エネルギーレーザー光を皮膚表面またはその上の弾性体に当てることでパルス状の衝撃波を生じ、触覚を提示できる。新しい空中触覚提示手法と言える。今のところタップ感のみ

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.

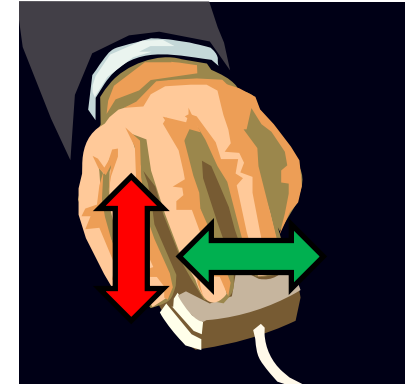
## Cross-Field Aerial Haptics: Rendering Haptic Feedback in Air with Light and Acoustic Fields, Yoichi Ochiai et al. CHI2016



レーザープラズ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？」

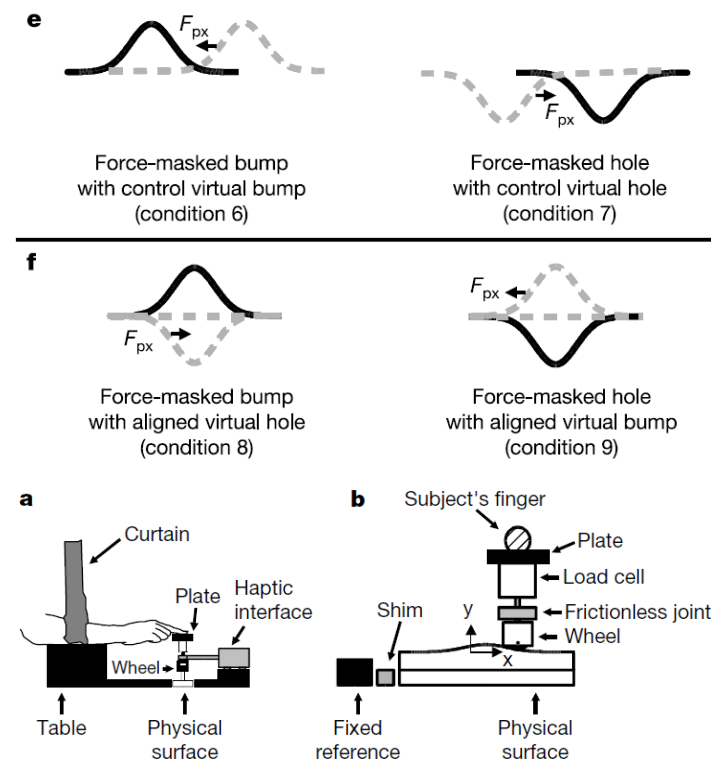
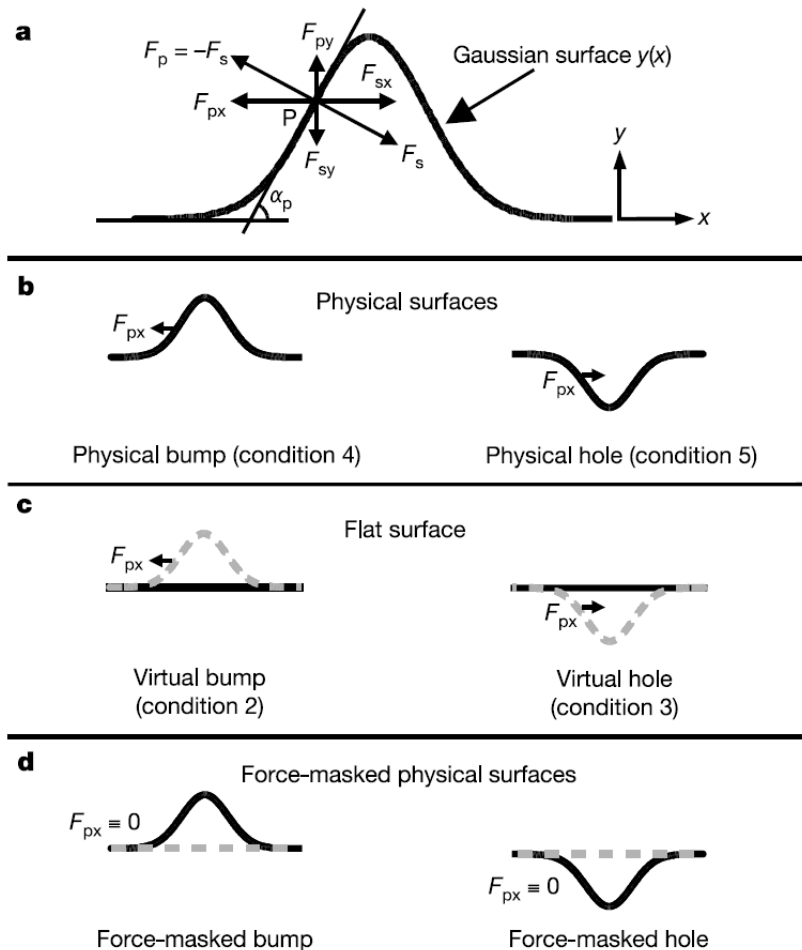
Although many researchers made “dense” tactile displays,  
No one succeeded to reproduce “texture” sensation.

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)

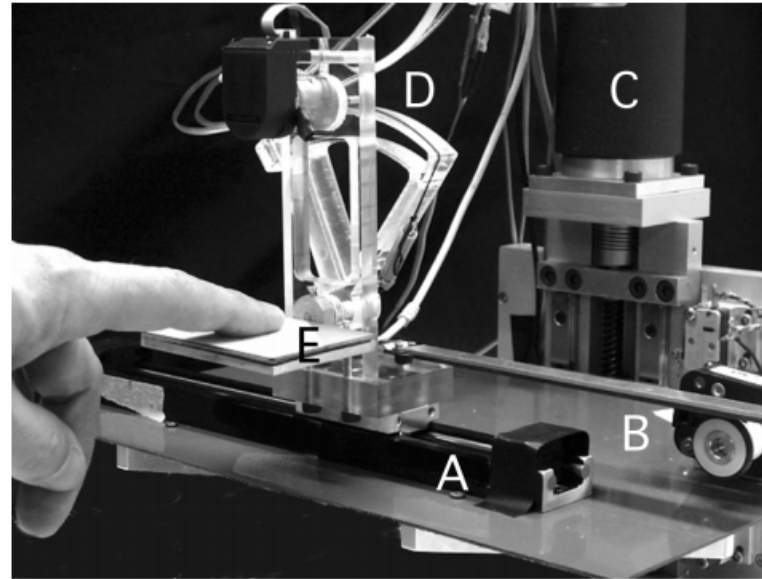
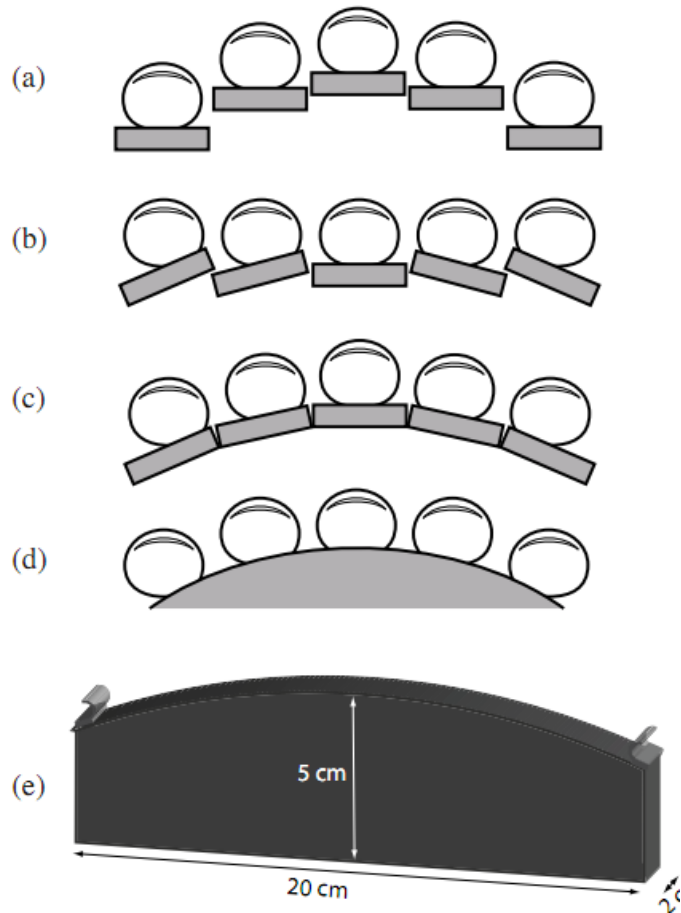
## What is essential for bump sensation?



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。

# 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」 $\gg$ 板の高さ

# 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／

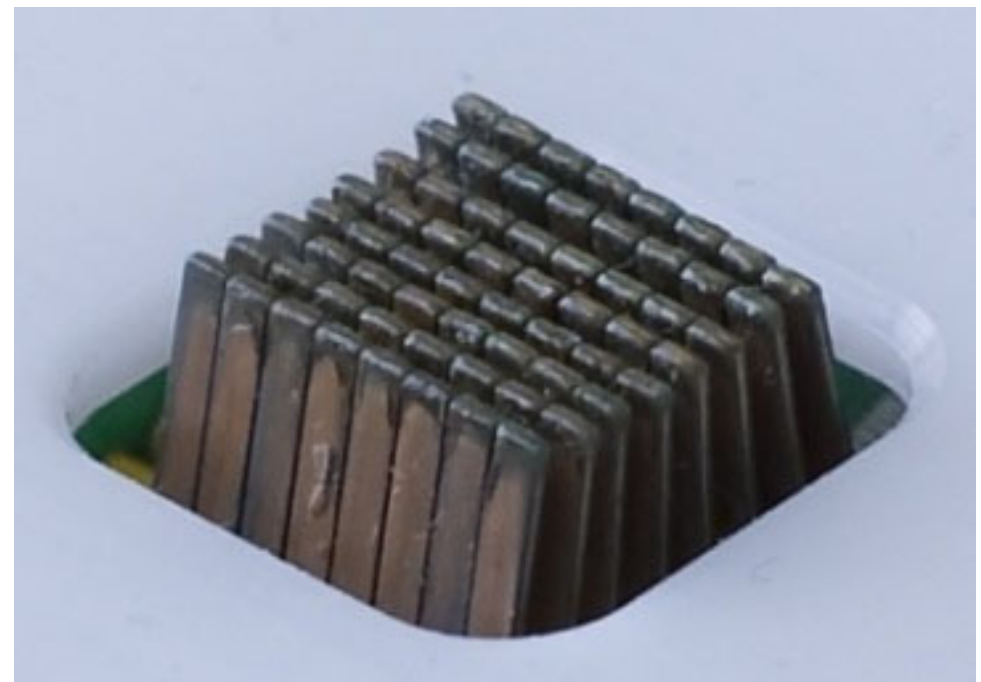
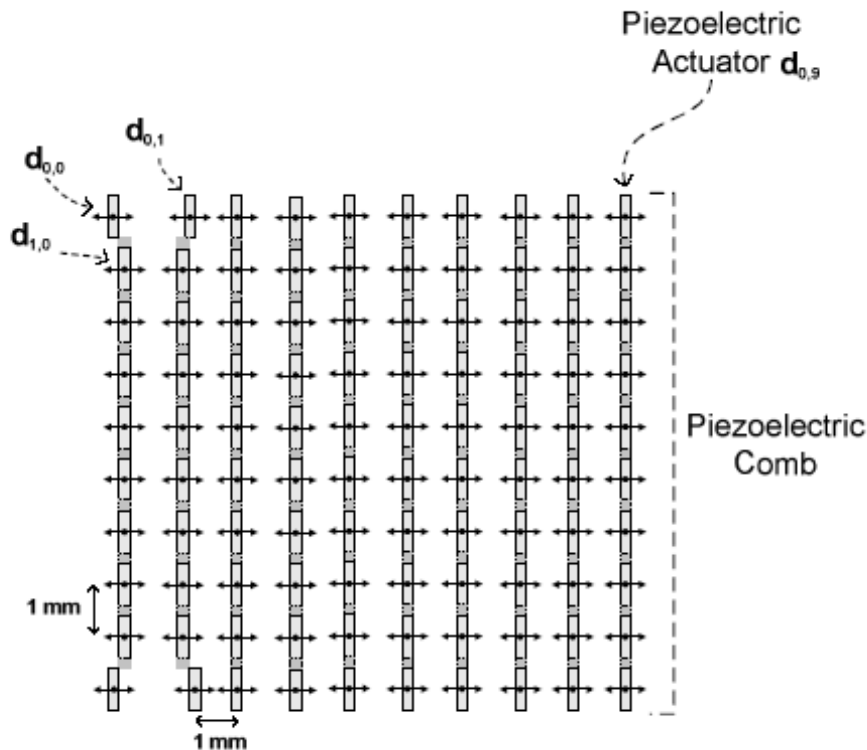
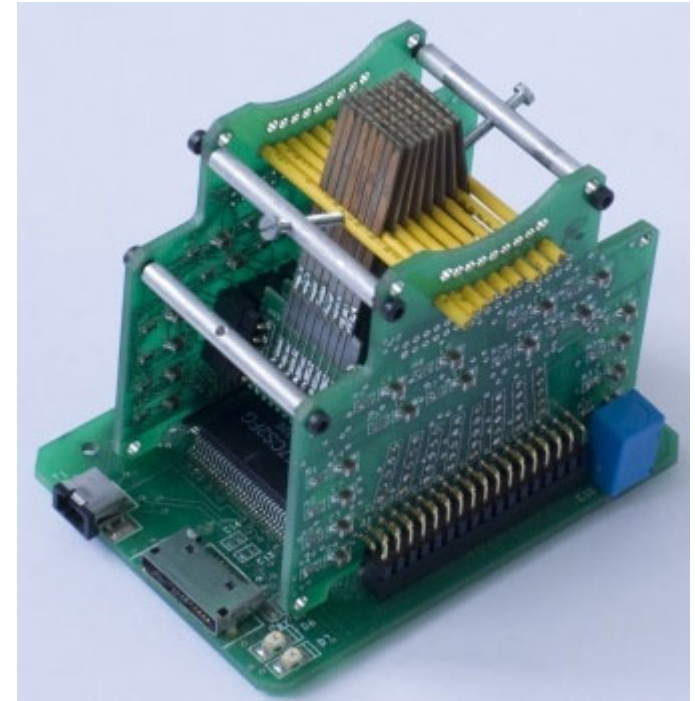
Good for environmental type.



# Active type Horizontal Display

- Horizontal Vibration is achieved by Micro-Machine

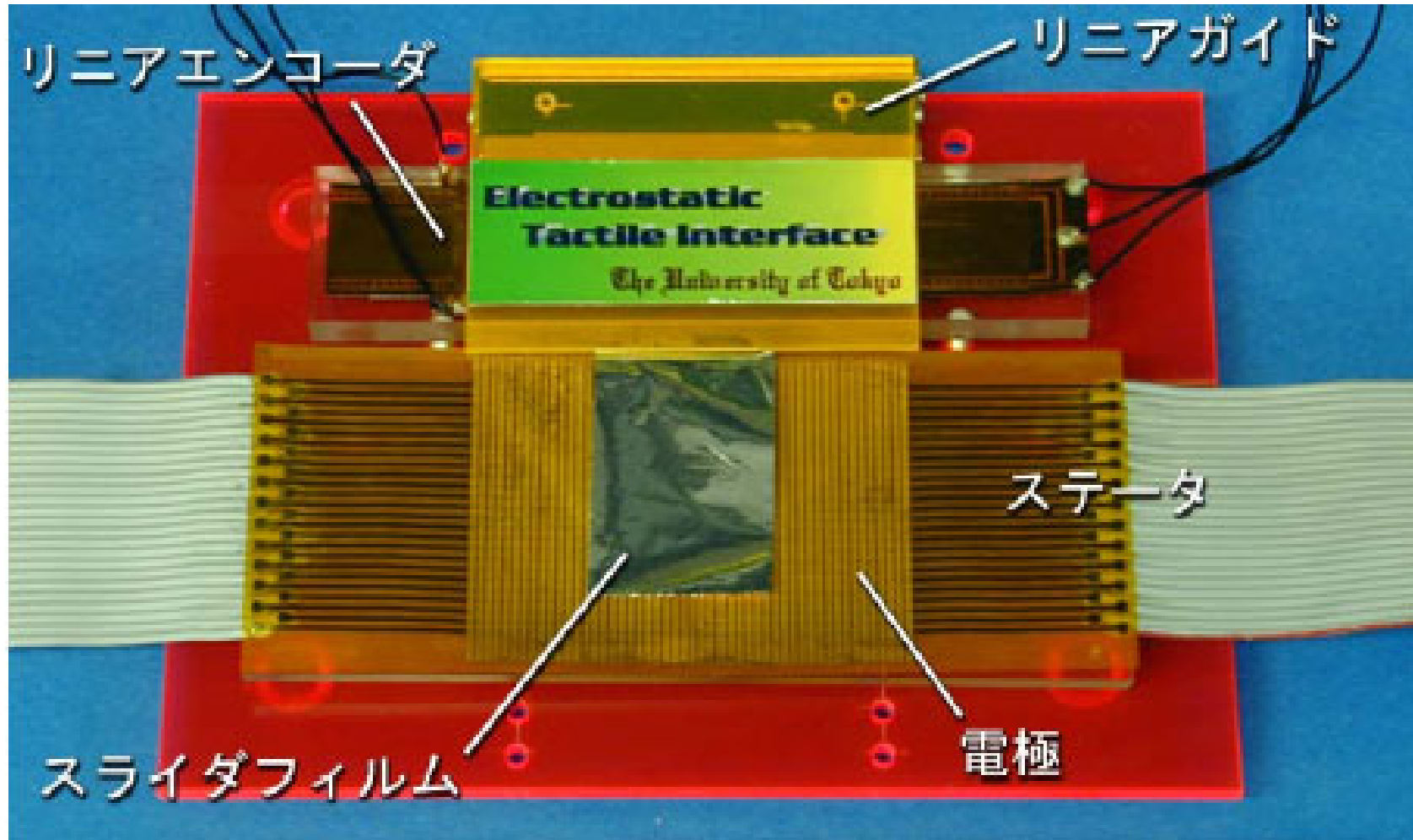
Hayward, "Tactile display device using distributed lateral skin stretch," ASME, DSC, 2000.







# 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力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.

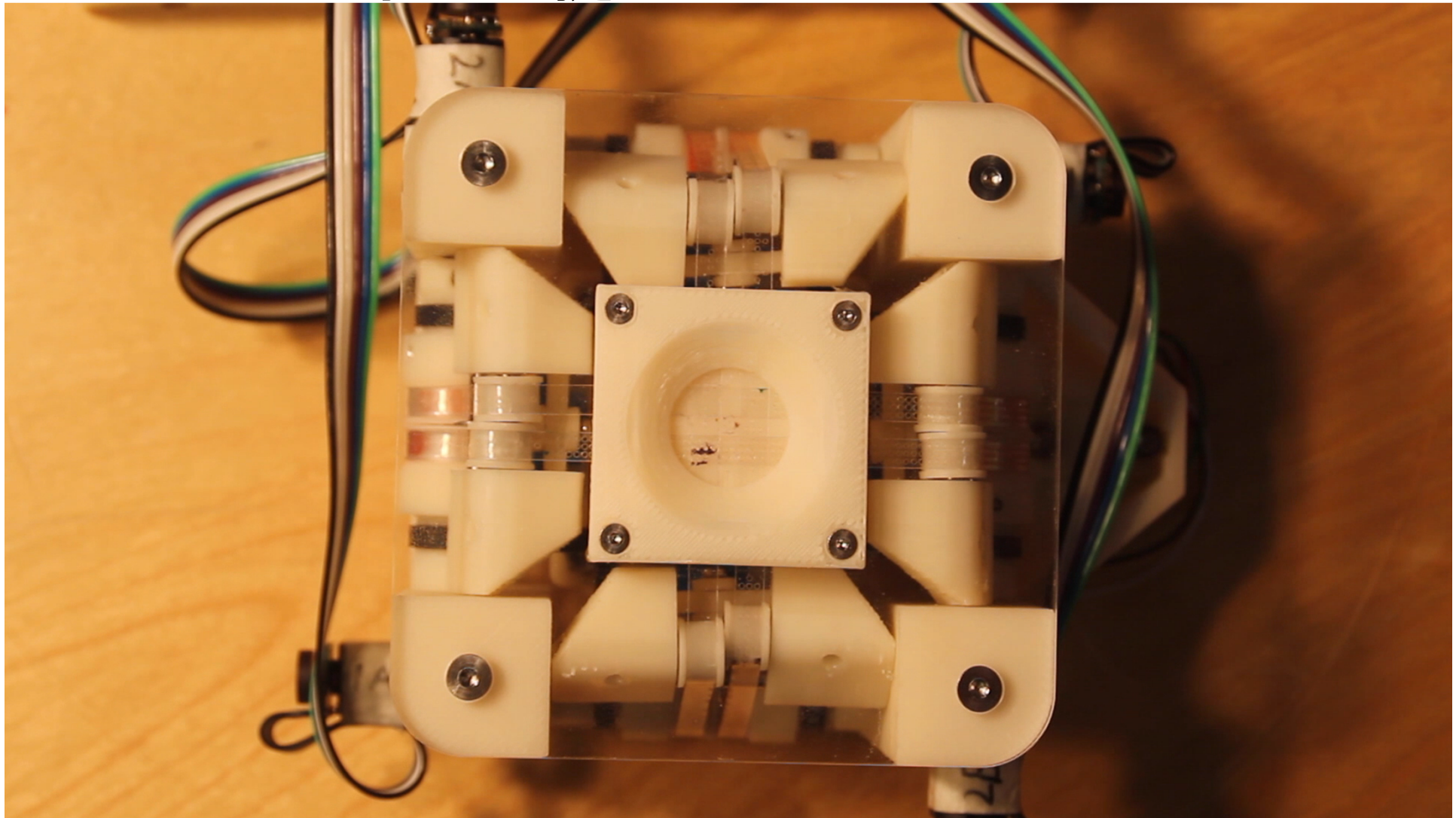
# モータによる水平力提示



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

嵯峨他、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

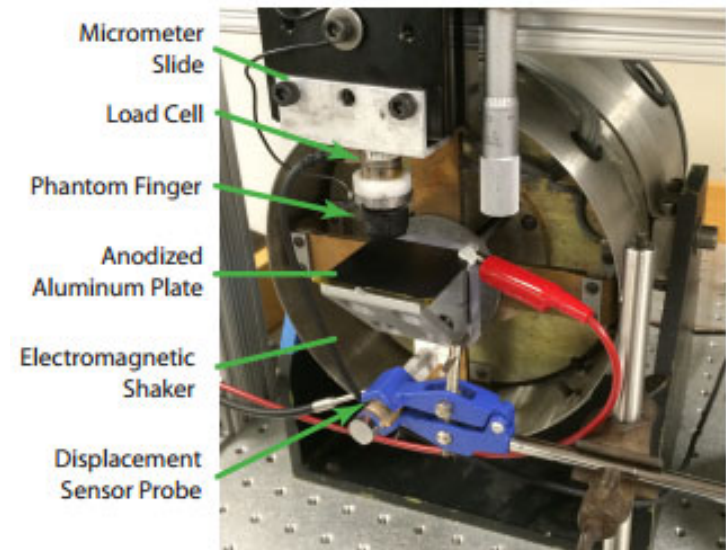
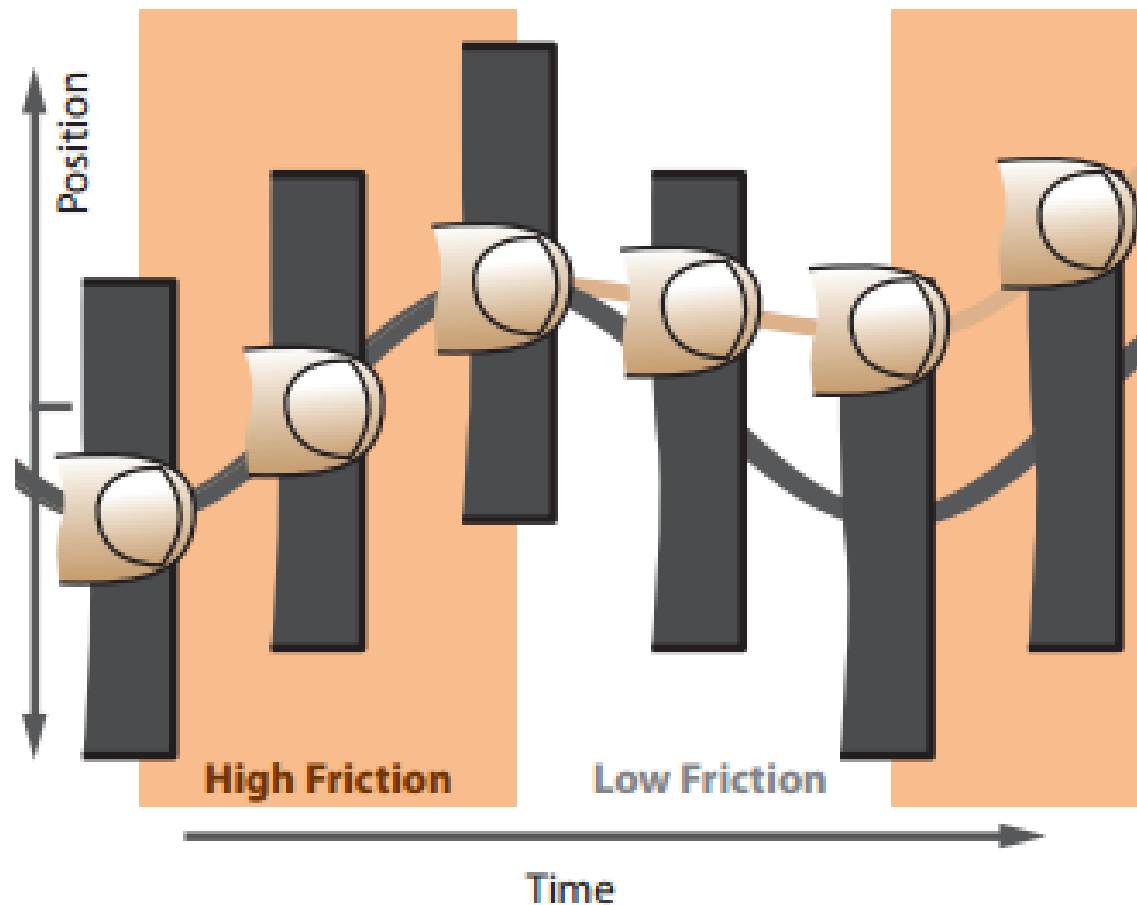


Fig. 4. eShiver Experimental Apparatus.

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



- スクイーズ効果：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



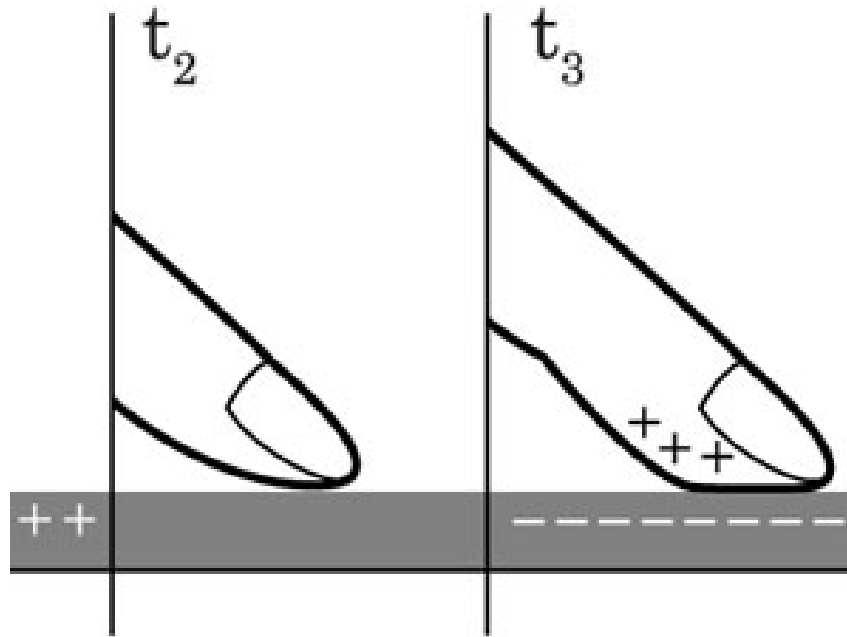
# TPaD(Laura Winfield, 2007)

<http://lims.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)

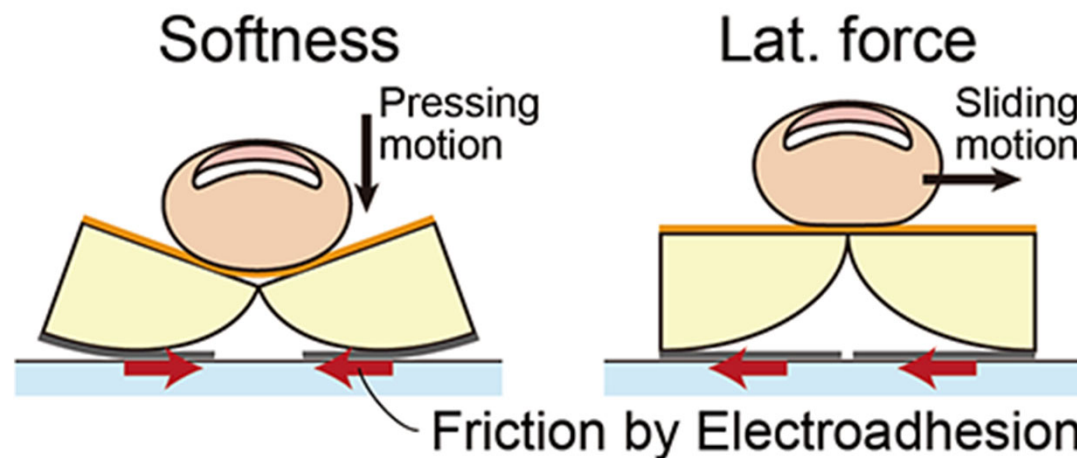


<http://www.teslatouch.com/>

インタラクティブシステム特論

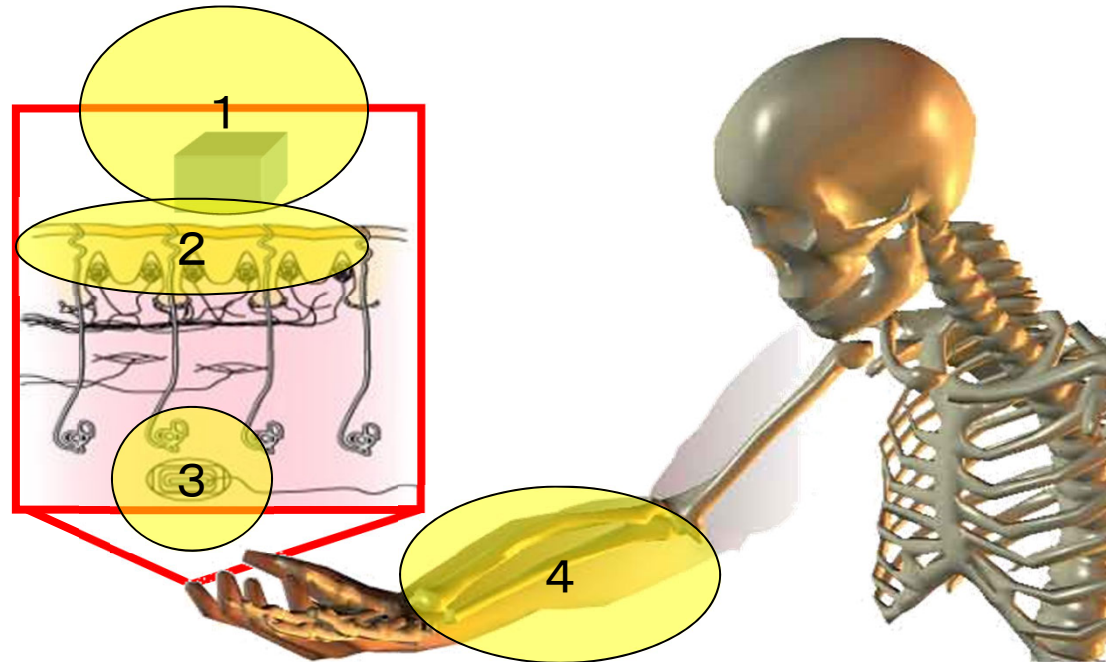
# [HapticsSympo2016] Extension of an Electrostatic Visuo-Haptic Display to Provide Softness Sensation

Taku Nakamura, Akio Yamamoto



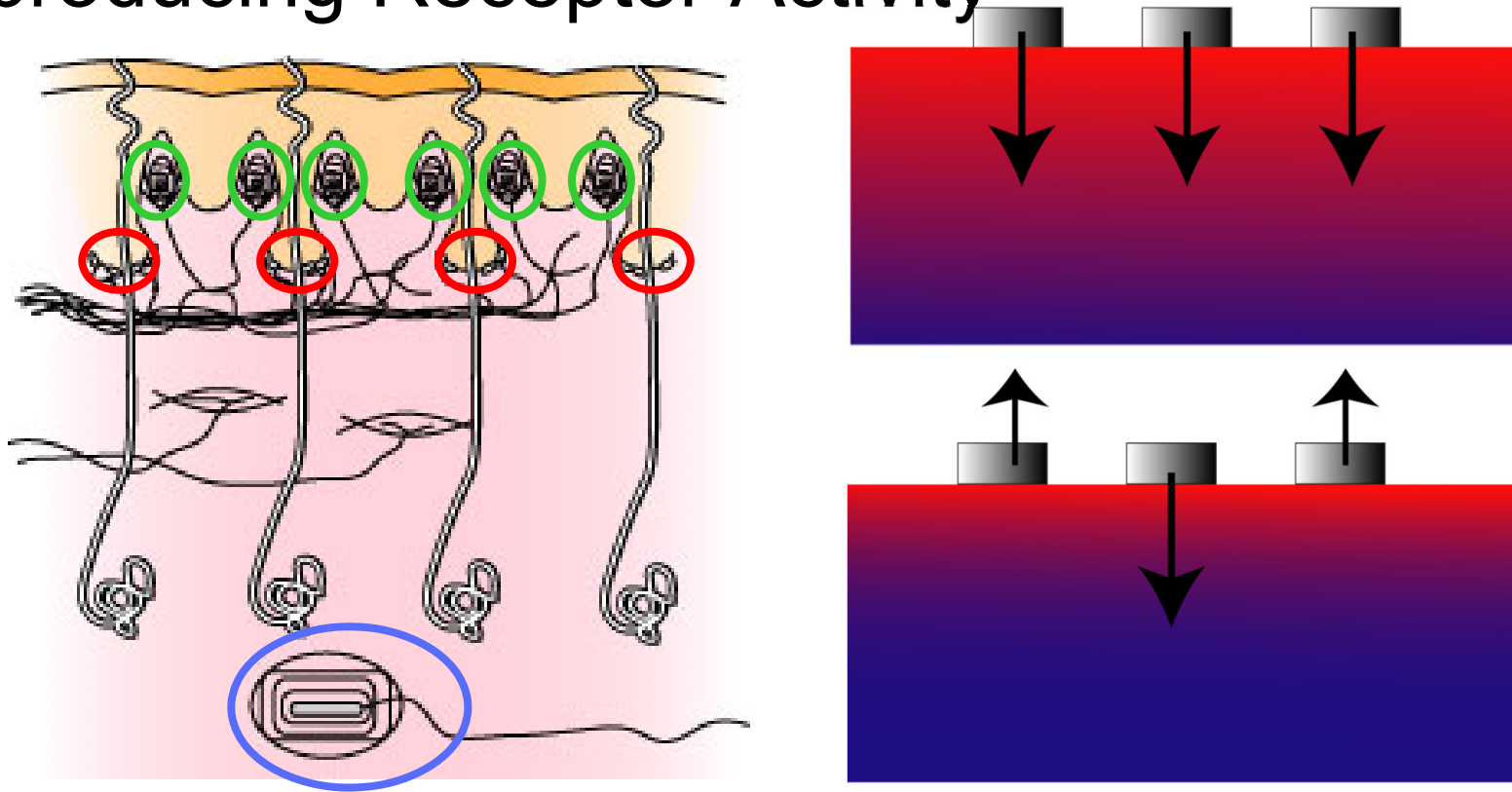
静電気型触力覚提示装置で柔らかさ感をなるべく簡単な機構で出す手法を考案

# How to produce Touchable Illusion?



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

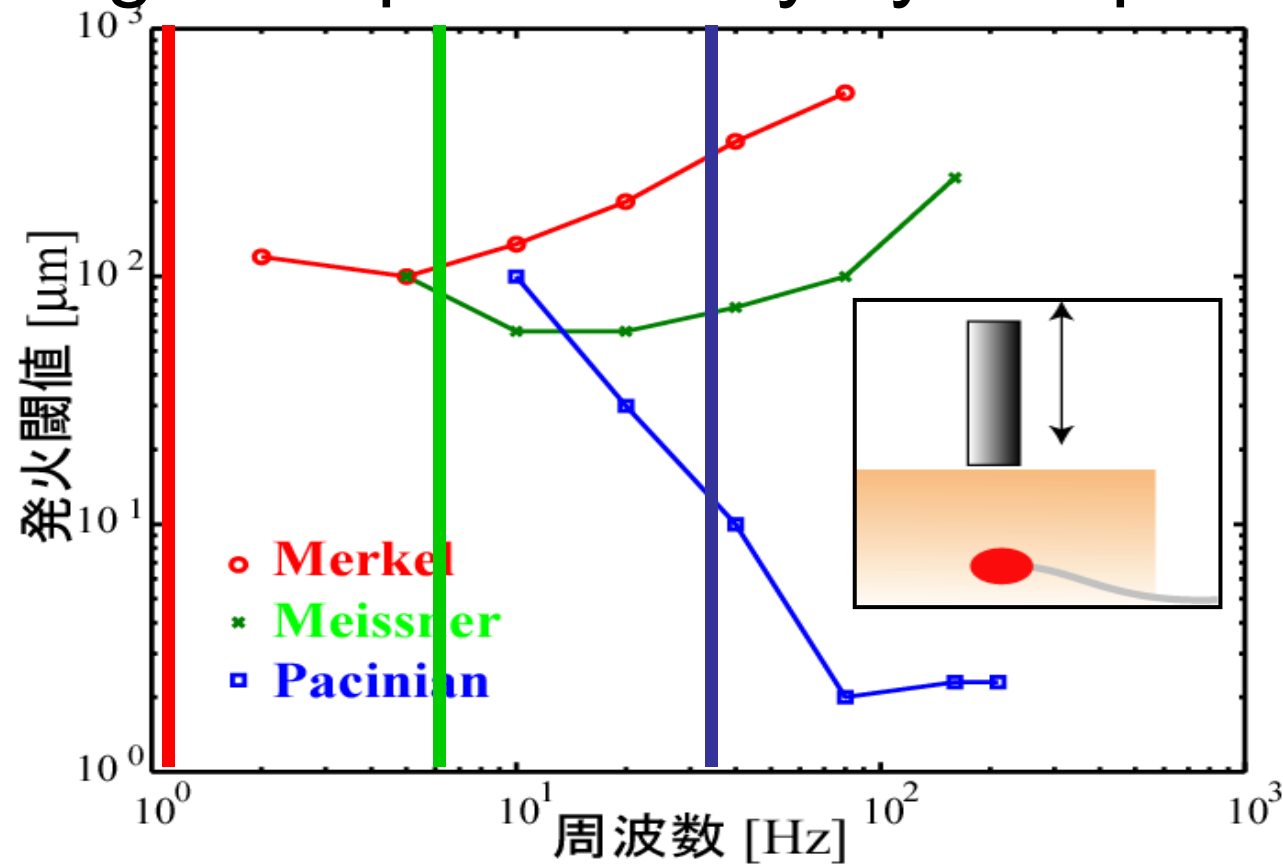
# 受容器活動再現型ディスプレイ Reproducing Receptor Activity



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.

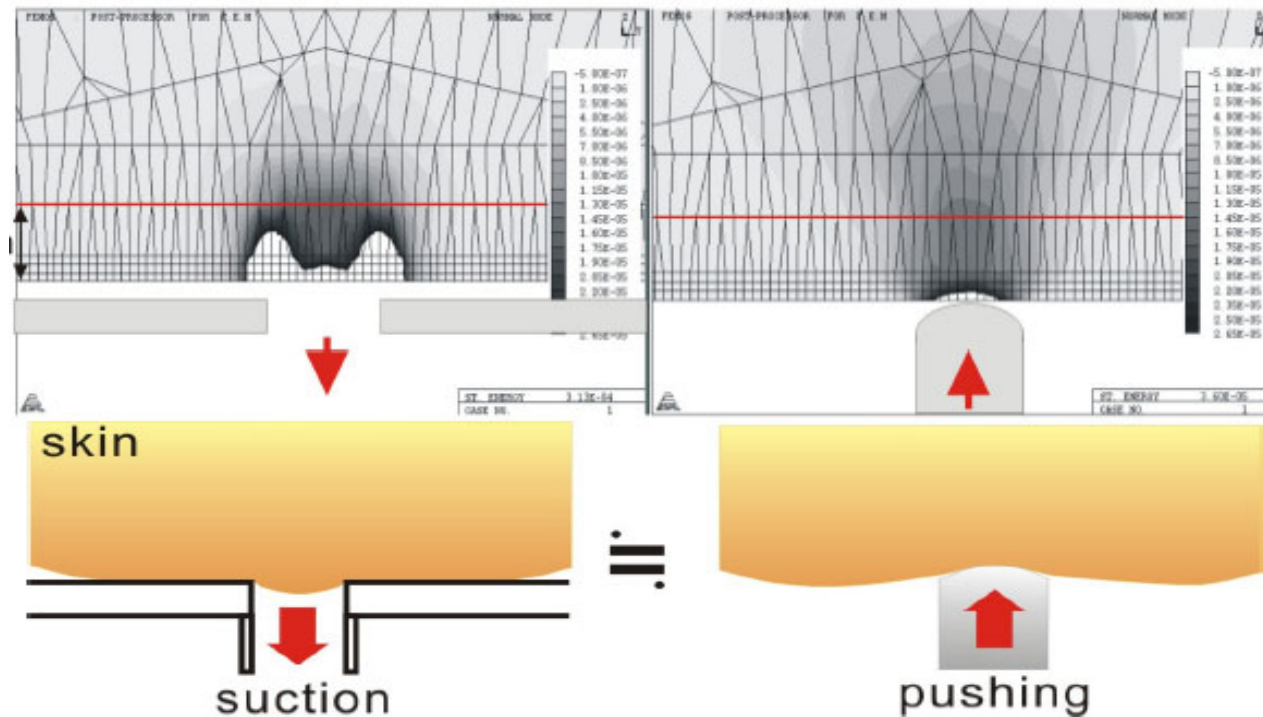
# 周波数特性に着目した受容器活動再現 Reproducing Receptor Activity by Frequency



受容器の共振周波数を利用

Utilizing each receptor's resonant frequency

# 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



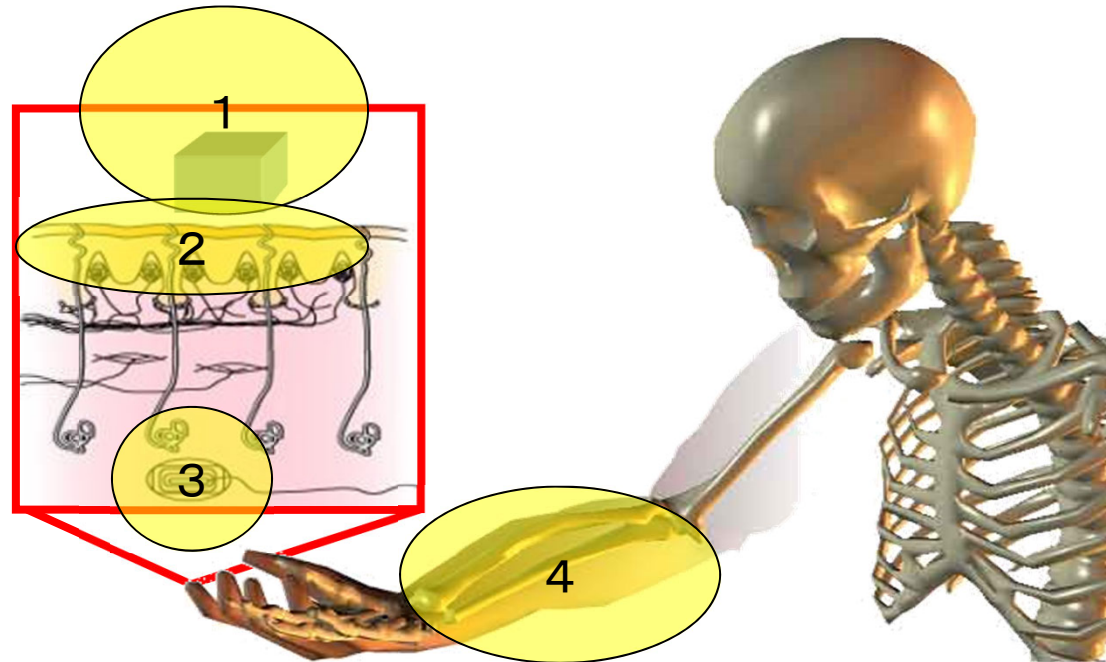
空気吸引による圧覚生成 / Using air suction

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.

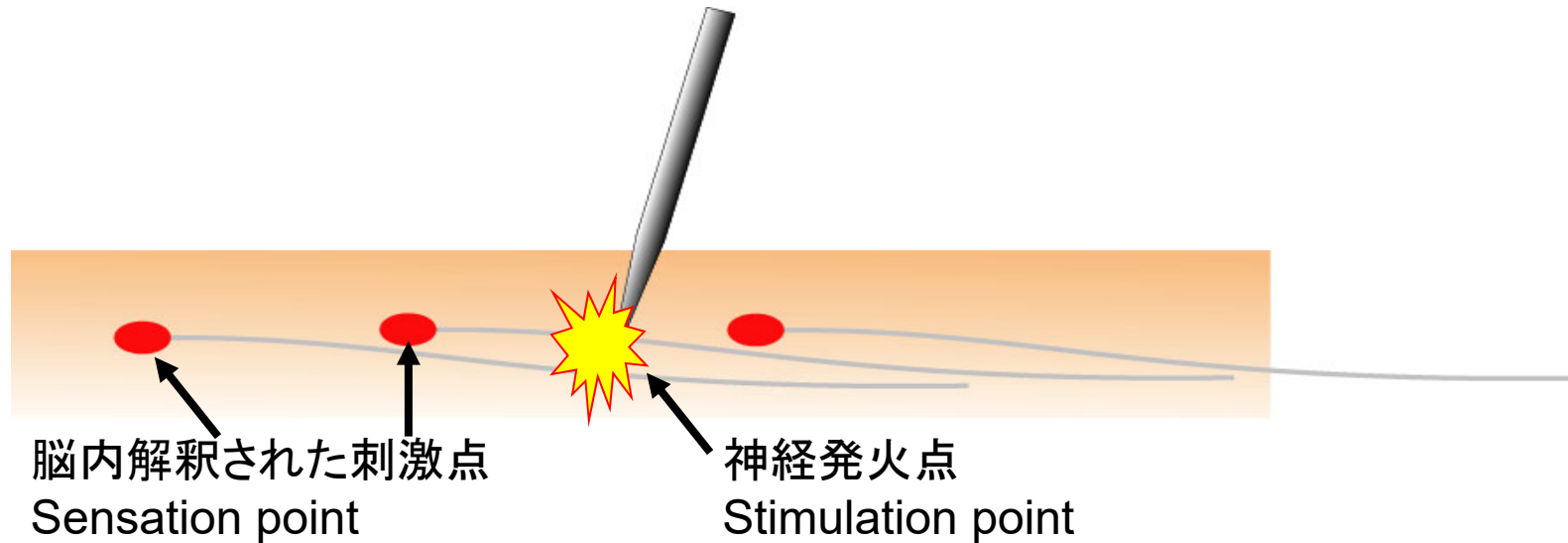
# How to produce Touchable Illusion?



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

# 電気刺激により神経活動を再現

## Reproducing Nerve Activity by Electrical Stimulation

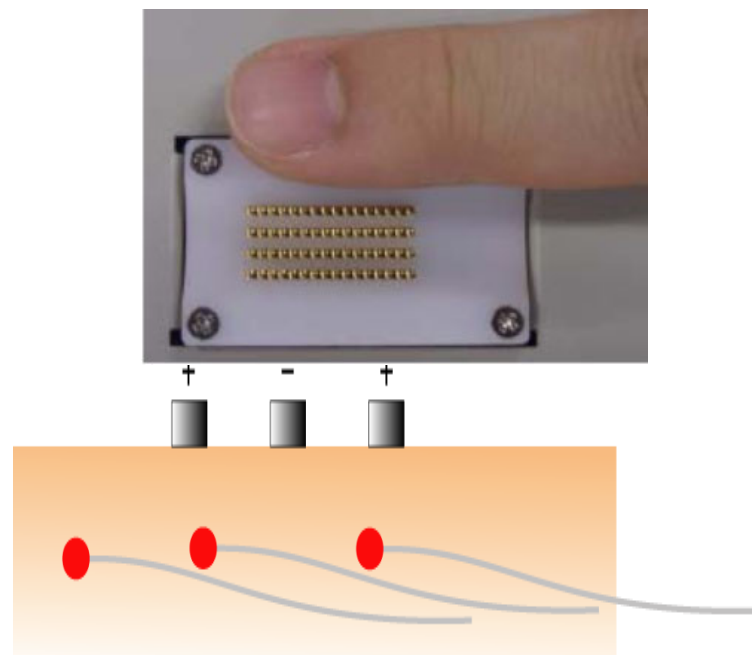


- 利点: エネルギー効率 / 機械的脆弱性・共振特性から開放
- 課題: 空間的なマッピング・選択刺激の実現
- Good point: Energy efficiently, no mechanical parts so mechanical resonance free.
- Bad point: Stimulation point and Sensation point is different



# 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.

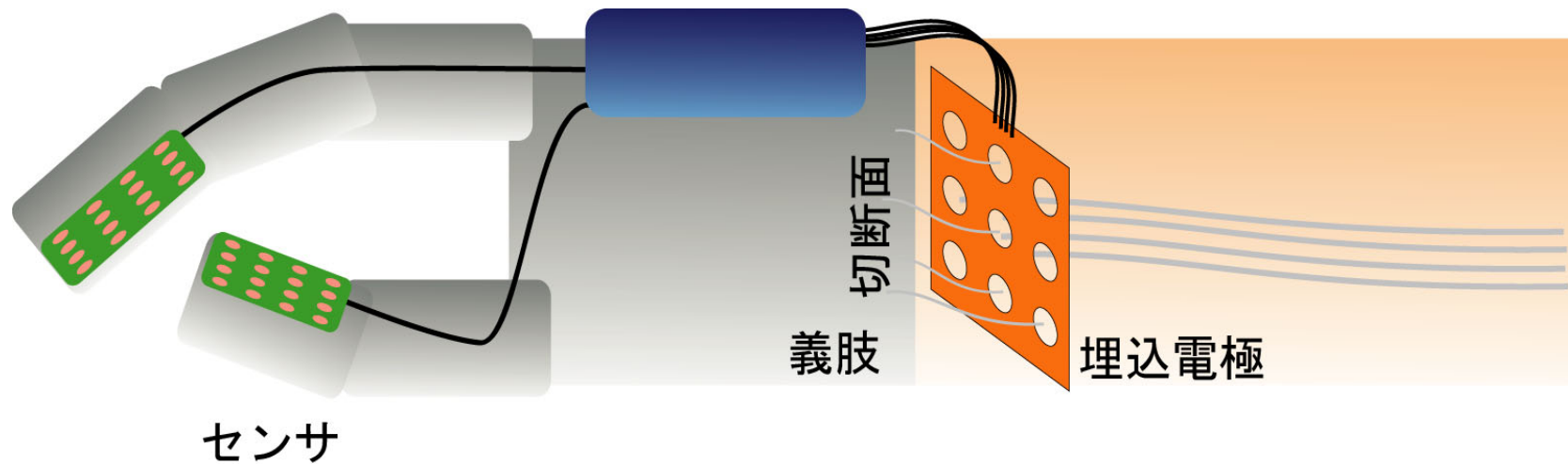
If we can “Selectively” Stimulate the Nerves, we can generate ANY tactile Sensations.

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