

指先による仮想能動触を利用した 触力覚インタラクション技術 に関する研究開発

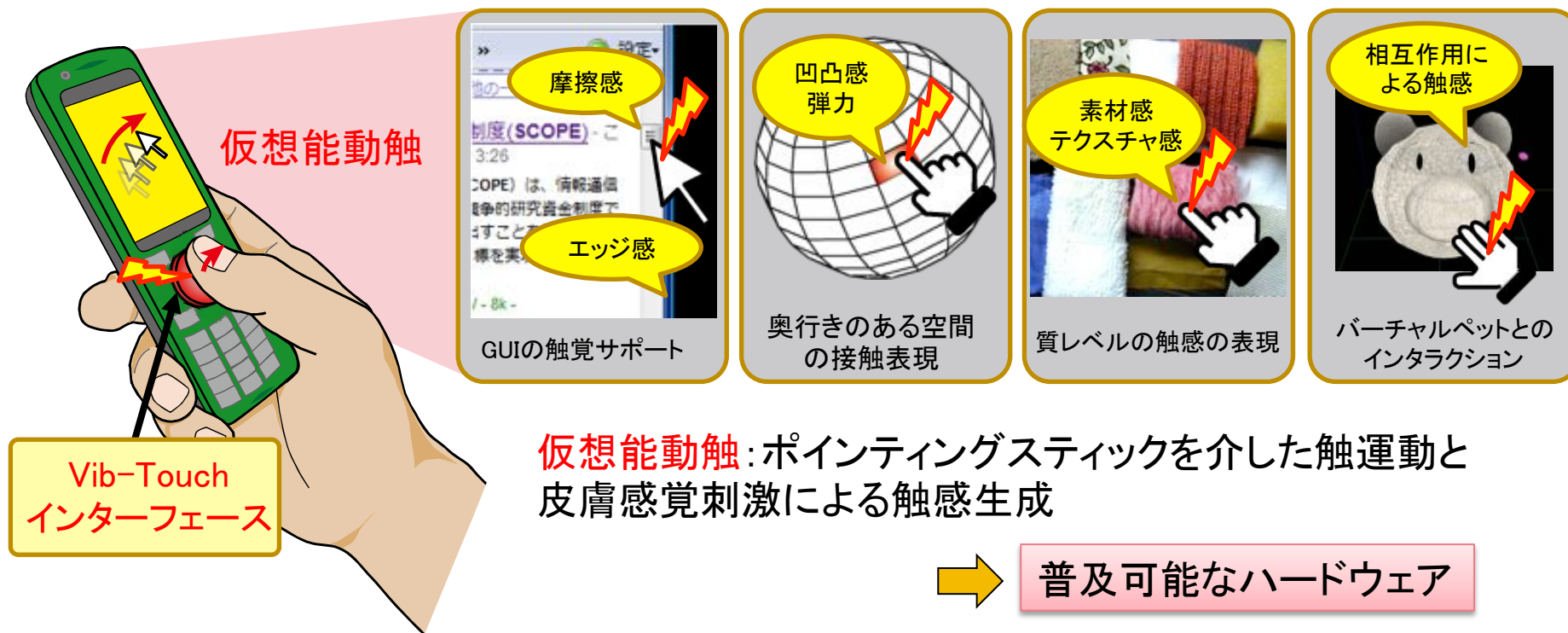
(研究期間 H20~H22)

研究代表者: 昆陽 雅司
東北大学
大学院情報科学研究科



研究開発の目的

■ 「どこでも手軽に利用できる」触覚呈示技術の基盤確立



仮想能動触:ポインティングスティックを介した触運動と
皮膚感覚刺激による触感生成



普及可能なハードウェア

皮膚感覚による疑似力覚呈示:皮膚刺激でありながら、
力覚的なインタラクションや操作性をサポートする技術
(ものを引っ張る・押しつける・3次元形状に触れる, 等)



実用的なコンテンツ

従来の「触覚」呈示技術と課題

■ 力覚呈示デバイス

○：遠隔マニピュレーションサポートなど
直感的で、実用的な応用

×：デバイスが大型・高価

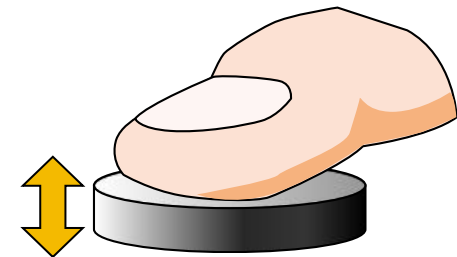


■ 皮膚感覚(触覚)呈示デバイス

○：デバイスが比較的、小型軽量

△：デバイスが普及していない

×：実用的なコンテンツがない



皮膚感覚呈示で擬似的な力覚呈示ができれば、
実用的なコンテンツが生まれる

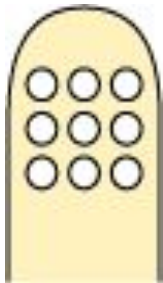
研究開発目標

- I. ユビキタスな触覚インタフェースVib-Touchの開発
- II. 仮想能動触を実現するための基礎技術の確立
- III. 皮膚感覚刺激による疑似力覚呈示技術の確立
- IV. Vib-Touchインタフェースを用いた触覚コンテンツの実装
- V. 皮膚感覚呈示によるインタラクション技術の開発
- VI. Vib-Touchインタフェースのための触力覚呈示法の体系化、データベース化

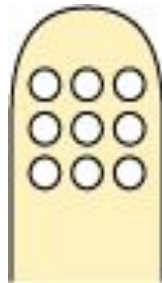
コンパクトなハードウェアを実現するために

一様な振動刺激だけで複雑な触感を呈示する

[昆陽ら, 2001~]

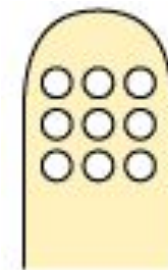


空間分布を制御
するのは大変



単純な振動
(周期のみ)

ただし,



空間分布情報

触運動に応じて呈示

能動的な触運動を利用すれば, ハードウェアをシンプルにできる

携帯情報端末に搭載するためには？



携帯電話



タッチパネル



ジョイスティック

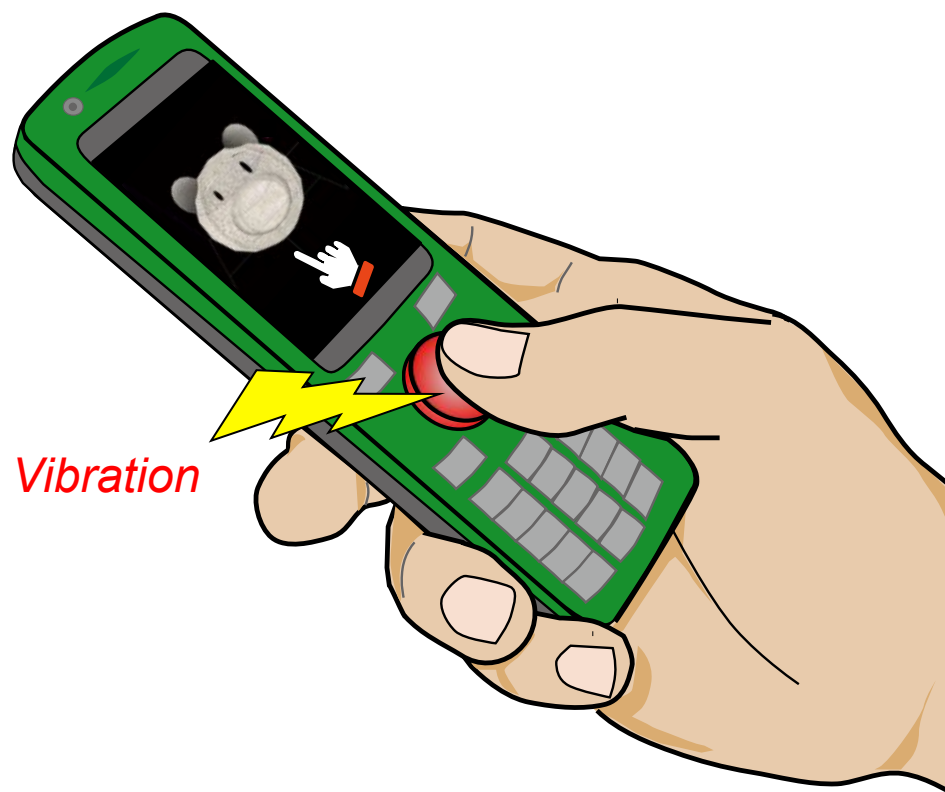


体感インターフェース

どのように能動的な触運動を行うか？

提案:

ポインティングスティック + 触覚ディスプレイ



十字キーなどのポインティングスティックに触覚ディスプレイを取り付ける

仮想能動触:

- 画面のカーソルによる仮想的な触運動
- カーソルの動きに応じて皮膚刺激を生成

Vib-Touchインターフェース

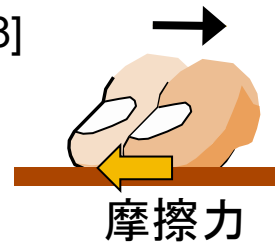
疑似力覚の呈示の成果

■ 摩擦感

[Konyo et al., 2008]

$$F = \mu N$$

μ : 摩擦係数



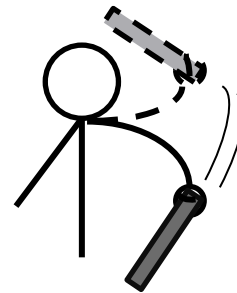
■ 慣性感・粘性感

[Okamoto et al., 2010]

$$F = m\ddot{x} + c\dot{x}$$

m : 質量

c : 粘性係数

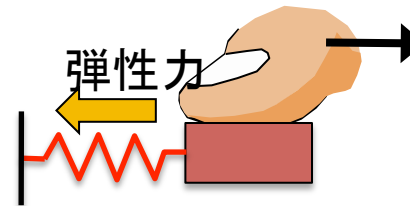


■ 弾性感

$$F = kx$$

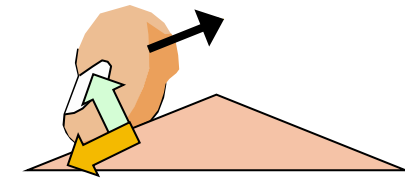
[樋口ら, SI2010]

k : バネ係数



■ 立体形状感

[Tsuchiya et al., 2009]



※摩擦感呈示の応用

当初の計画よりも
多様な疑似力覚の
呈示に成功

疑似力覚呈示(1)

摩擦感の呈示

■ Stick-Slip現象の観察

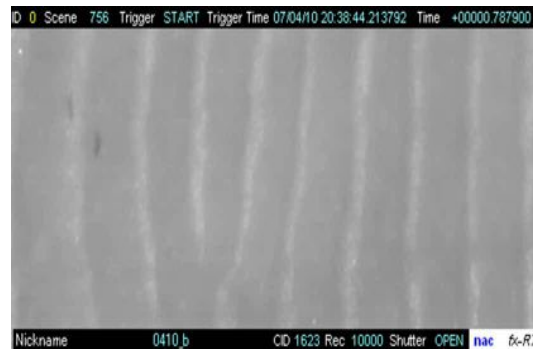
- 大域的
- 高周波(～数百Hz)

(速度, 押しつけ力,
湿潤状態, 等に依存)

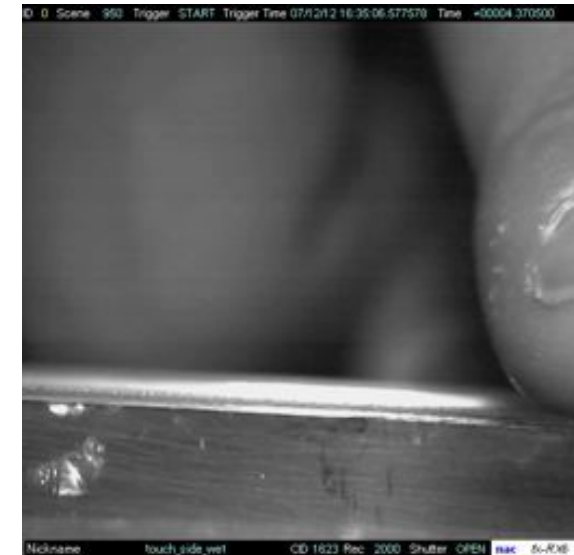


低密度, 高応答の
触覚受容器が関与

高速度カメラによる撮影
(アクリルとの接触)



約100Hz(接触面)



約140Hz(側面, 湿潤時)

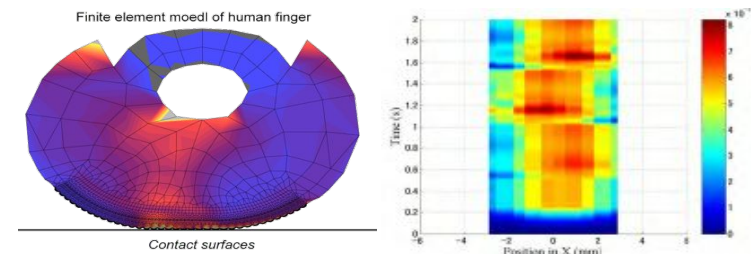
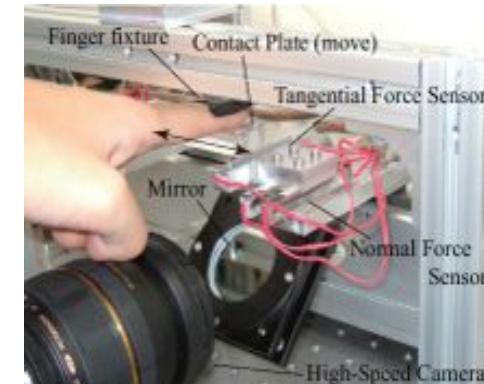
仮説

Stick-Slip遷移時のひずみをパチニ小体
が受容することによって摩擦感が生成する

Stick-Slip運動の詳細なモデル化

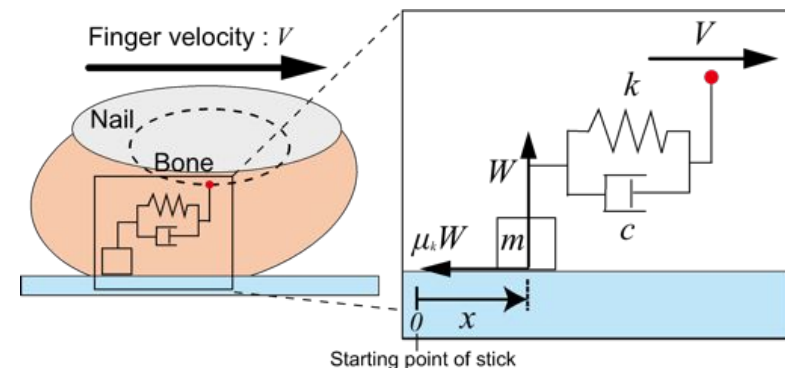
■ Stick-Slip運動の観測

- 高速度カメラを利用した観測装置の開発
- 指腹部有限要素解析を用いたひずみエネルギー解析

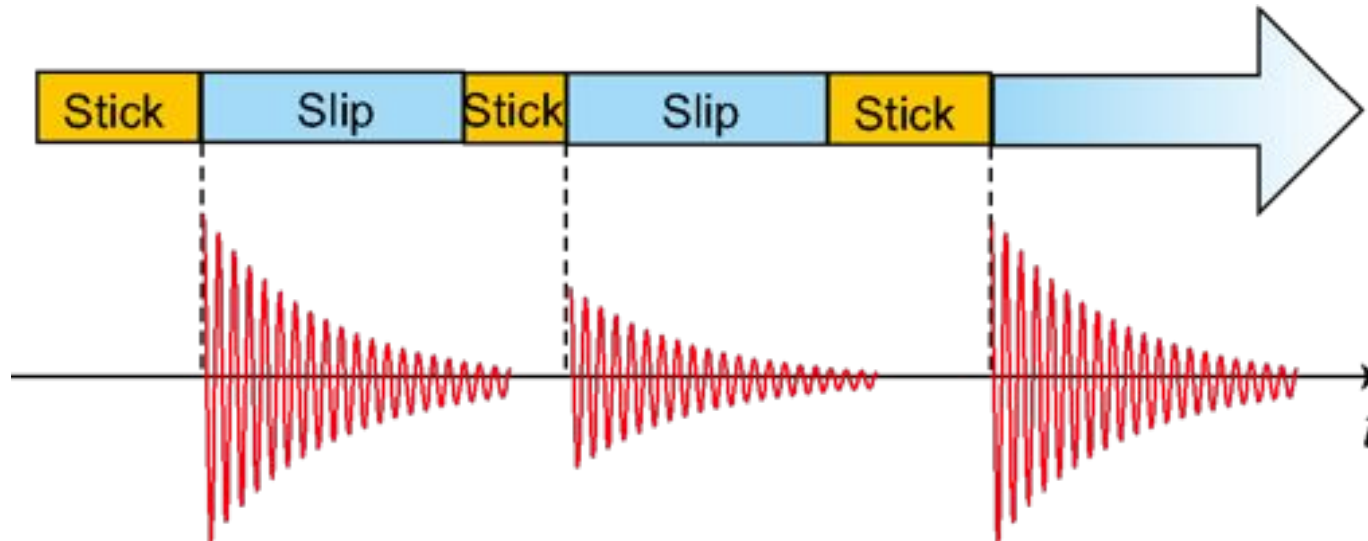


■ クーロン摩擦を伴う1自由度振動系モデル

- 押下力に依存した皮膚の粘弾性, 摩擦特性
- Stick-Slip遷移を生成



刺激法



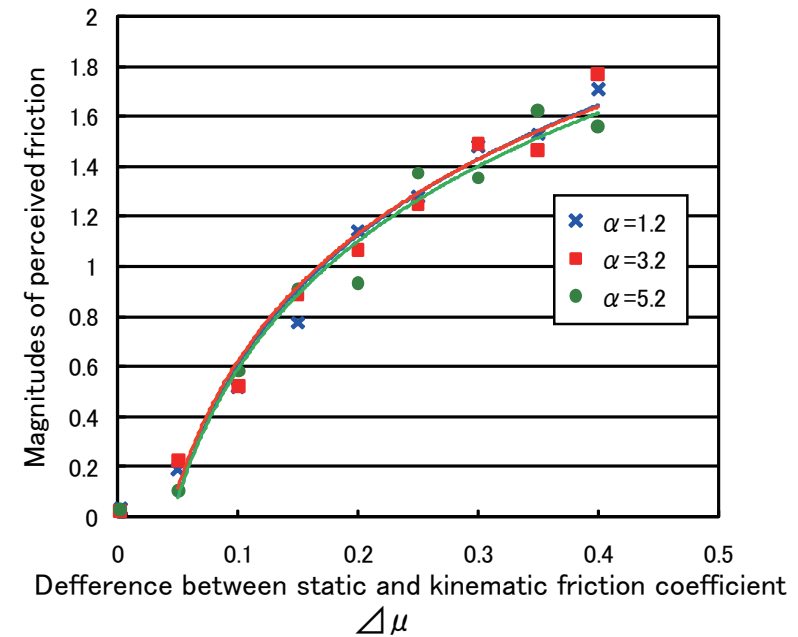
- Stick-to-Slip遷移時にパチニ小体を刺激をする
 - － 選択的刺激法
 - ・ パチニ小体の感度が高くなる200Hz以上の振動刺激を加え, 振幅により, 活動量を制御する
 - － 固着時間に応じて最大振幅を変化

Stick-Slip遷移時のパチニ小体の活動を代替刺激により再現

摩擦感の評価実験



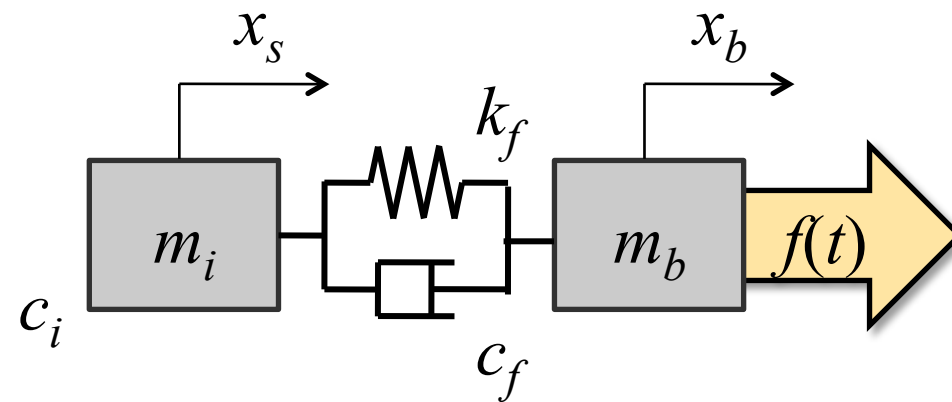
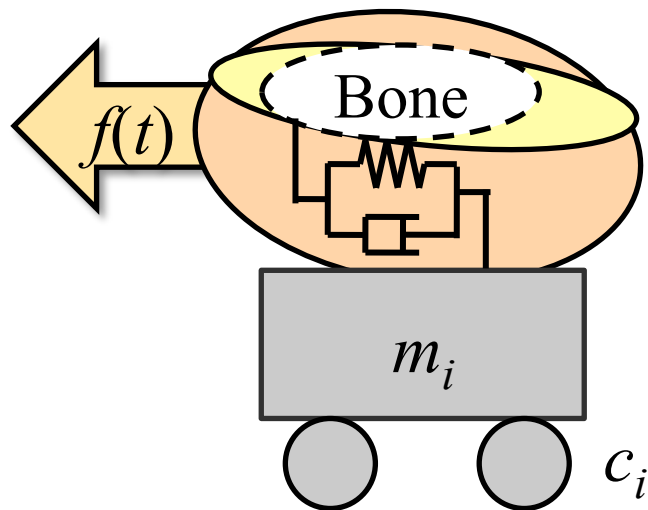
圧電素子を用いた振動子
力覚ディスプレイとの比較



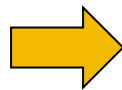
知覚された摩擦感の主観的強度

連続的に制御可能

疑似力覚呈示(2): 慣性・粘性感(物体を振り回したときの感覚)

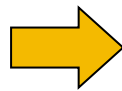


粘性 c の変化



速度に同期して皮膚変形が大きくなる

質量 m の変化



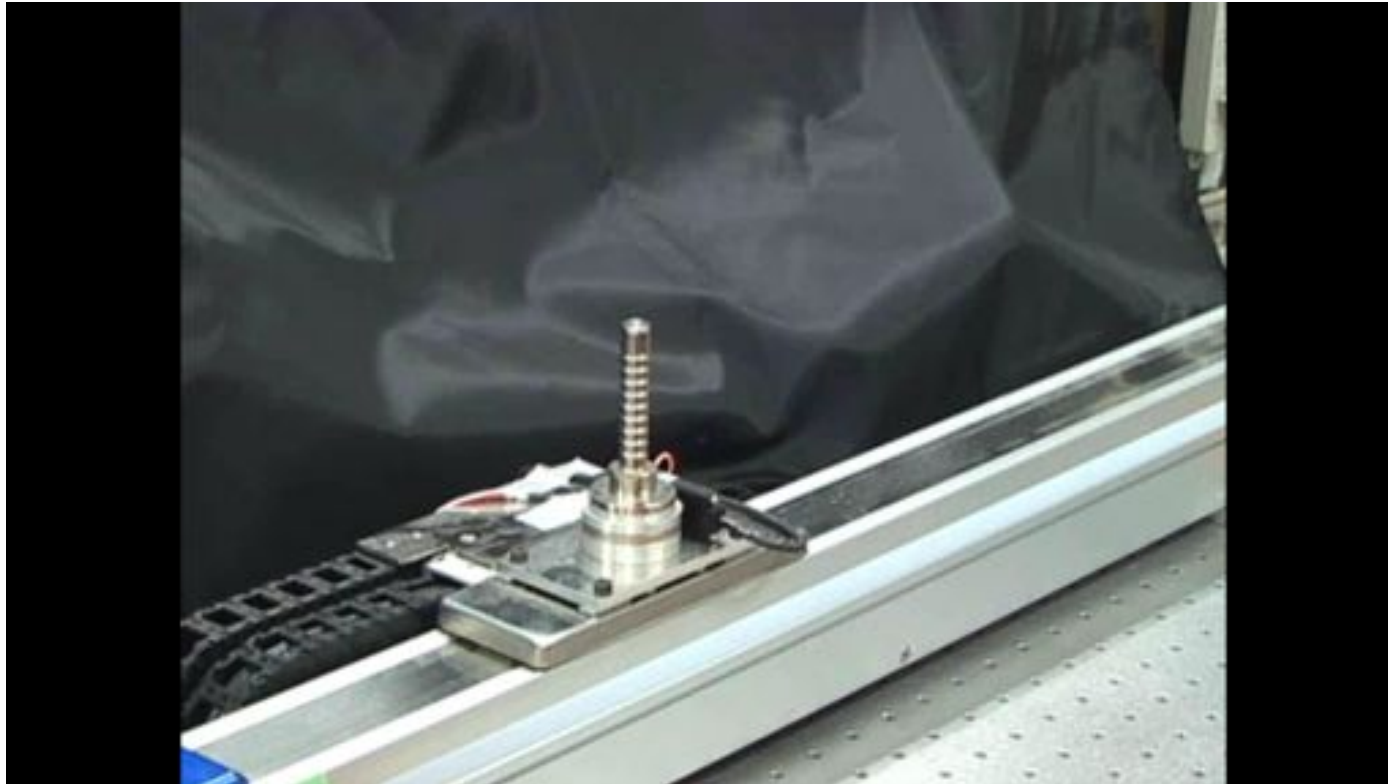
加速度に同期して皮膚変形が大きくなる

この関係を皮膚変形でなく、振動刺激の振幅によって表現

検証実験

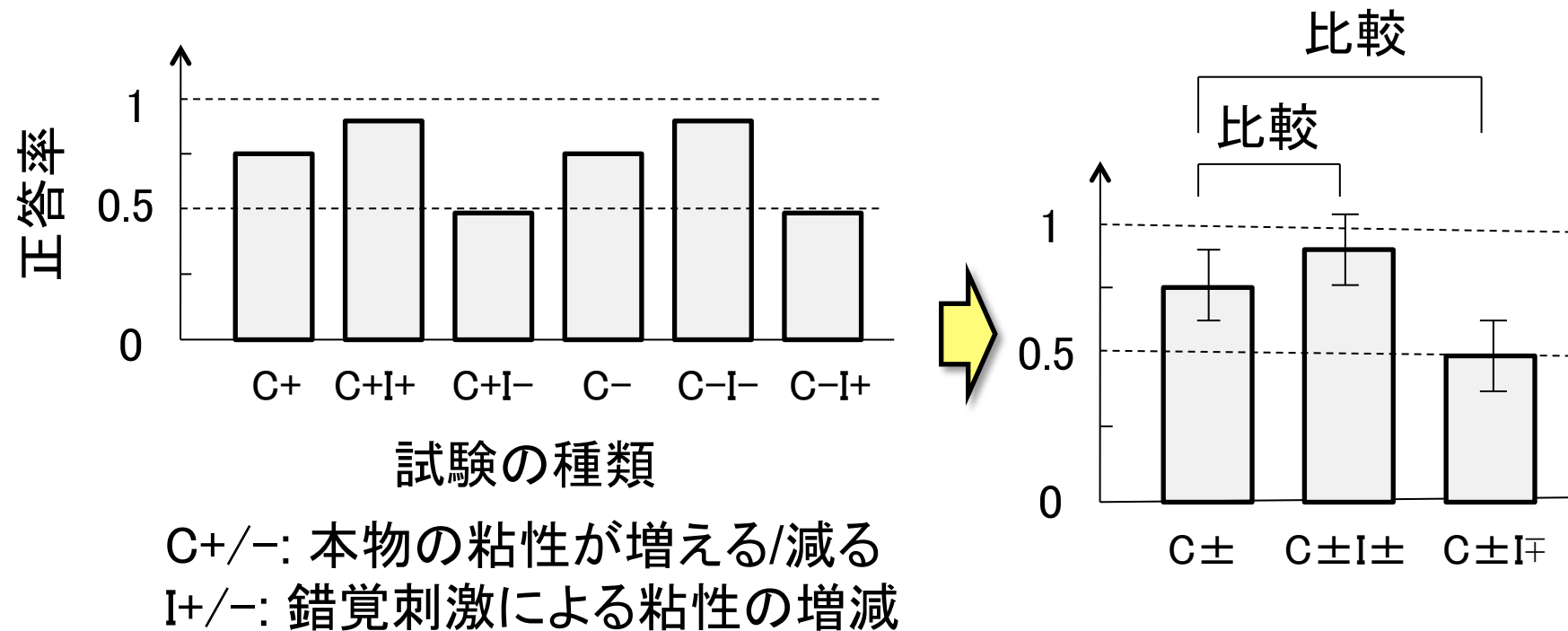
S. Okamoto, M. Konyo et al., Vibrotactile Stimuli Applied to Finger Pads as Biases for Perceived Inertial and Viscous Loads, IEEE Trans. on Haptics, 2011

- 力覚刺激と皮膚感覚刺激を生成する装置
 - 一軸アーム, (YAMAHA, MR12)
 - 積層型圧電素子 (ASB510C801P0, NEC/TOKIN)
- 本物の機械パラメータと、皮膚刺激による錯覚刺激を同時に呈示

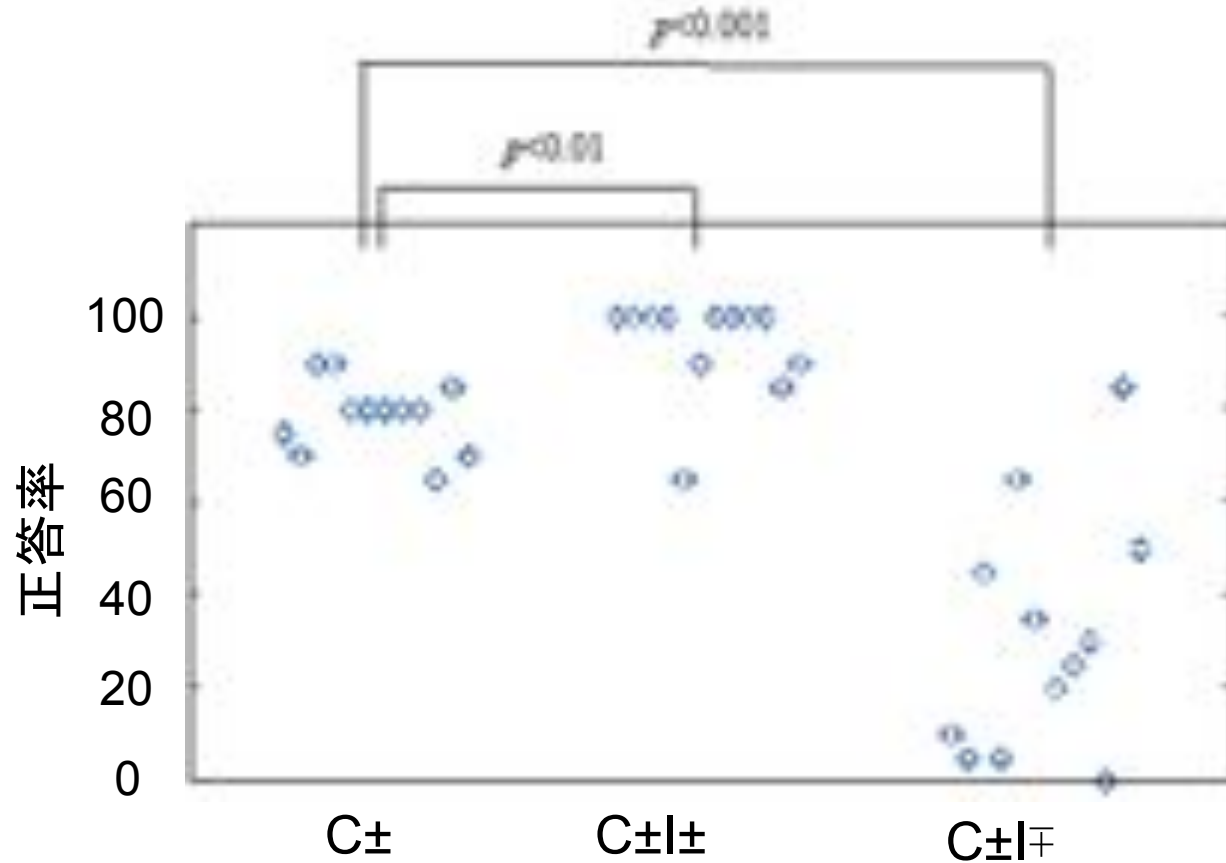


実験条件

- 標準刺激: 定常的な振動
- 試験刺激: 錯覚刺激(錯覚) + 機械パラメータの変化(本物)
- 参加者は, 機械パラメータの増減を回答する



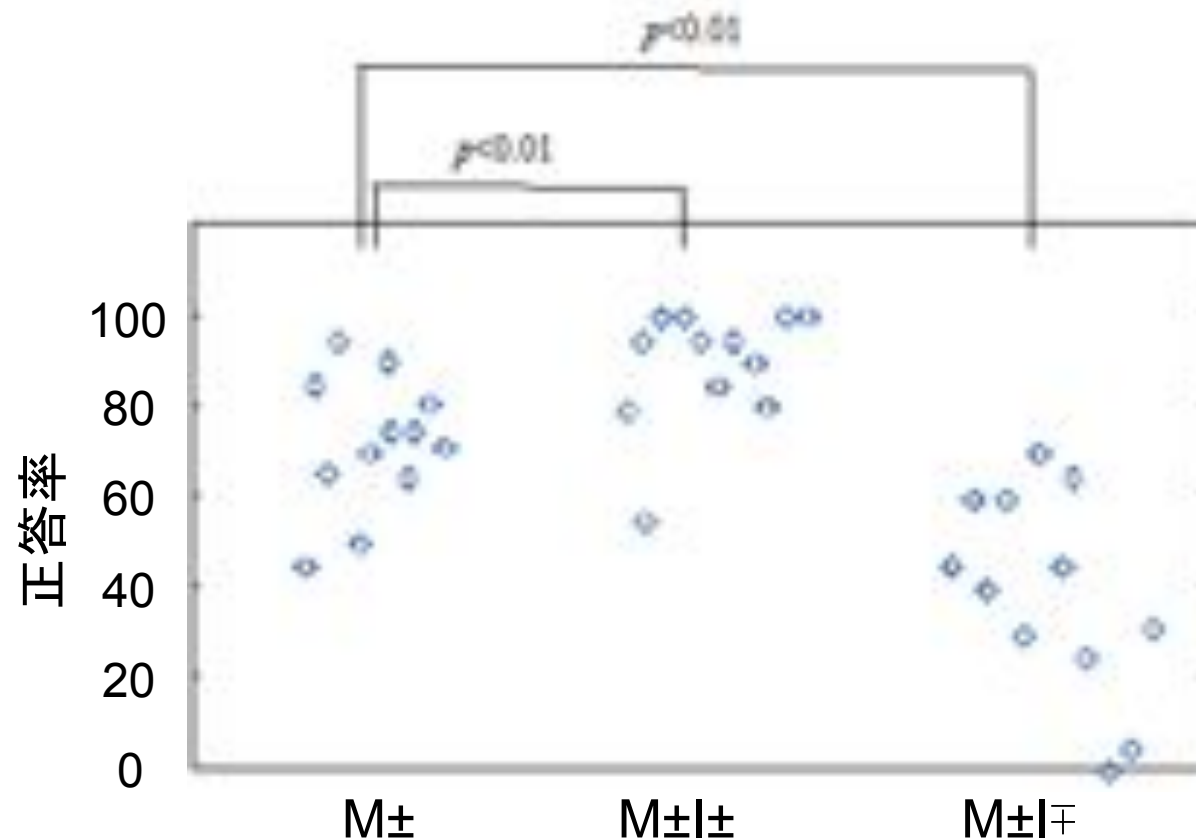
結果：粘性の錯覚



- Steel-Dwass test (群間比較が可能なノンパラメトリック検定)

- 錯覚刺激が、粘性の知覚に影響
- 錯覚刺激は、知覚される粘性を増減させられる

結果：慣性の錯覚



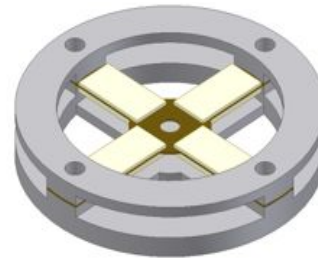
- 錯覚刺激が、慣性の知覚に影響
- 錯覚刺激は、知覚される慣性を増減させられる

Vib-Touchインタフェースの開発

■ アクチュエータの試作評価



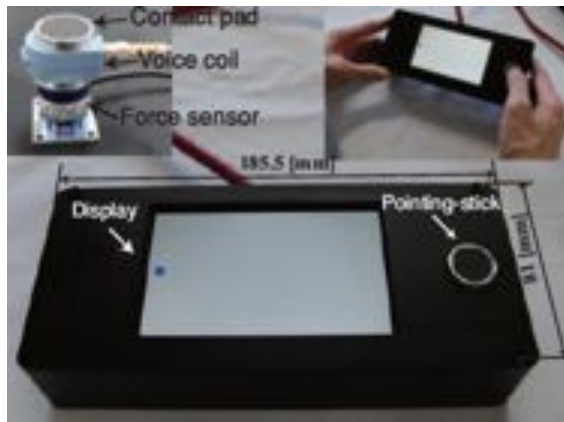
ピンアレイ型超音波振動子



パラレル配置型超音波振動子



■ プロトタイプの開発(ボイスコイルアクチュエータの利用)



3軸力センサを利用したプロトタイプ



2軸ジョイスティックを利用した
プロトタイプ

コンテンツ例(1)



形状呈示



ボールを振り回したときの粘性・慣性



ボリューム操作(摩擦と運動変換)



物体を回転させる(+スイッチ感)

皮膚感覚呈示によるインタラクション技術の開発

■ ルービックキューブ

- キューブを回した際の抵抗感を運動モデルに従って摩擦感, 慣性感で呈示
- エッジ感, 衝突感なども実装



[WHC2011]

■ カバーフロー型画像ビューワ

- お気に入りの情報に応じて, 粘性と摩擦感を変化. 情報の重みを呈示



[HI2011]

体系化のために開発した疑似力覚呈示APIによって実装

振動波形を試行錯誤的に調整する必要がなく, 短期間で開発可能

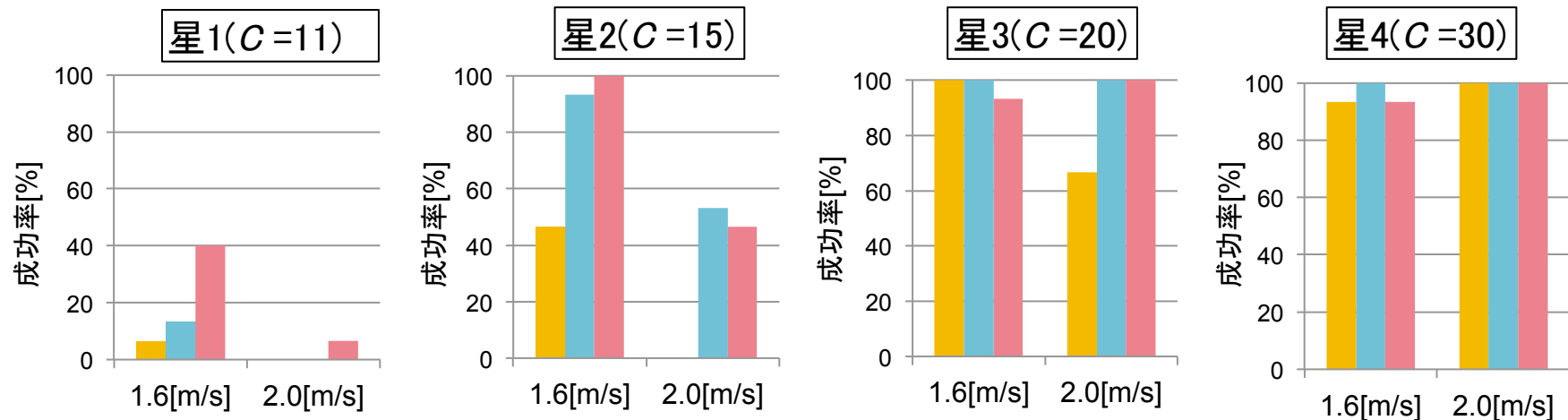
識別可能性の評価

- 20個のフォルダの中から1つだけ登録されたお気に入りフォルダが、選択されたときに停止できるか？
- 条件
 - － 視覚のみ呈示, 視覚と触覚の両方を呈示, 触覚のみを呈示の3種類
 - － 星の数は1～4で粘性係数 C [Ns/m]がそれぞれ11, 15, 20, 30. 星が少ないほど難しいタスクとなる.

表: 選択にかけられる時間(等速時) [s]

速度[m/s]	星1	星2	星3	星4
1.6	0.34	0.47	0.62	0.93
2.0	0.27	0.37	0.50	0.74

■ 視覚 ■ 視覚+触覚 ■ 触覚



疑似力覚呈示の効果

■ 自分の行為・状況に応じた運動知覚

－ 行為の确实性を向上

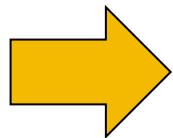
- ・ クリック, ファイル選択

－ 行為のスピードを向上

- ・ 視覚だけでは状況の急速な変化は対応できない

－ 情報把握の負担を軽減

- ・ 街中でのチラ見操作



触覚による運動サポートの可能性

まとめ

■「どこでも手軽に利用できる」触覚インタフェース技術を開発

1) 実装可能なハードウェアを提案

→ 1自由度振動子 + 仮想能動触

2) 有効な触覚コンテンツを提案

→ 皮膚刺激による疑似力覚呈示
操作性や臨場感を高めるインタフェース

成果（H20～H23年度まで）

- 査読付き論文 13件（10件）
- 口頭発表 20件（1件）
- 申請特許 1件
- 受賞2件
 - インタラクション2010 インタラクティブ発表賞, 2010
 - 第16回ロボティクスシンポジウム 優秀論文賞, 2011