

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19560252

研究課題名（和文） 異種刺激の同時提示による触感覚合成に関する研究

研究課題名（英文） Study of tactile sense composition by multiple stimuli

研究代表者

高橋 秀智（TAKAHASHI HIDETOMO）

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号 10216749

研究成果の概要：

指先でものをなぞる際の感覚を提示できるデバイスの開発を行った。本デバイスは、指先が物体表面をなぞる際の相対運動と、物体表面の凹凸による刺激を、各々ホイールの定常速度成分と変調速度成分の合成で提示する。粗さと硬さの異なるサンプルとデバイスによる提示を複数の人が触り較べる実験を行い、なぞる際の感覚を定量化し、デバイスの制御パラメータを変化させることにより、提示される感覚を変化させられることを明らかにし、本デバイスの有効性を示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：触覚提示，触感覚合成，因子分析，触感覚空間，物理サンプル，
ホイール式触覚，提示デバイス

1. 研究開始当初の背景

日常の工業製品に多く見られるプラスチック製品には、石鹸箱の様なつるつるの表面、一般の電話などの様な滑らかな梨地面、滑り止めを目的とした様な粗い梨地面状の表面、ラバー状の把持の際に弾性変形を伴う様な表面などがあり、これらの特性は製品の差別化を図る上で重要な特性である。しかしながら、これらを事前に体験・評価することはできない。そこで、これら表面のなぞり感を提

示できる手法が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、なぞり感を提示できるデバイスを開発することを目的とした。

3. 研究の方法

3.1 実験装置

なぞり感の提示のために、指先が物体表面をなぞる際の相対運動の刺激と、さらに表面

の凹凸などの刺激を、各々ホイールの定常速度成分と変調速度成分の合成で提示するホイール式触覚提示デバイスの開発を行った。提示手法の原理を図1に、開発したデバイスを図2に示す。

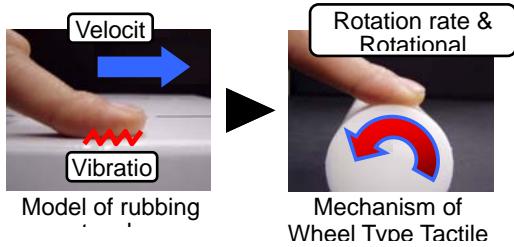


図1 なぞり感提示原理

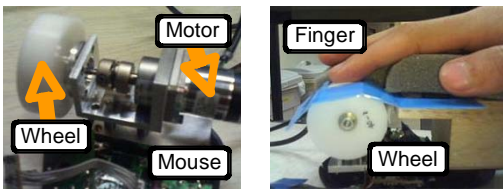


図2 ホイール型触覚提示デバイス

この装置では、ホイール回転機構を実装したPC用マウスにより操作者の手のなぞり速度を計測し、その速度に連動した回転速度と回転変調の振幅・周期を制御することで刺激提示を行う。刺激提示部であるホイールはポリアセタール製で、その表面は旋盤による切削加工仕上げで滑らかとなっている。デバイスの基本動作は以下の通りである。マウスにより計測した手の相対位置変化から、なぞり速度 V_{mouse} を計算する。これを入力とし、PCで指定した回転速度変調の振幅、波長項および基本回転速度を決める速度項の3つのパラメータによって、ホイールを回転させるモータの速度指令値 V_{motor} の駆動パターンを決定する。速度指令値は制御式(1)により求める。

$$V_{motor} = V_{mouse} \times \frac{\text{速度項}}{100} + V_{mouse} \times \frac{\text{振幅}}{100} \times \sin\left(2\pi \frac{V_{mouse} t}{\text{波長項}}\right)$$

装置の動作実験により、刺激提示に必要な動作が可能であることが確認された[2]。

3.2 実験方法

デバイスの基本特性を評価するために、実験者がランダムに選択した、実際のサンプル7種および実験装置による提示刺激19種を触り、それぞれに対して触感覚を表現する形容詞対10種に6段階評価で回答してもらった。被験者は20~30代の男性9名で、それぞれの被験者に対して2回の実験を行った。

使用したサンプルは、精密铸造アラサ標準片(番号6, 50, 280)を型取りした硬質樹脂(ウレタン)3種と、アクリル樹脂を塗布したサンドペーパー(#1000, #600, #400, #240)4種の計7種である。また、各サンプルの物理特性として、中心線平均粗さ R_a 、最大高さ R_{max} 、基本波長および動摩擦係数を測定した。得られた各物理量の値を表1に示す。

No.	材質	R_a	R_{max}	基本波長(mm)	動摩擦係数
1	硬質樹脂6	1.2	16	0.6	1.1
2	硬質樹脂50	5.7	47	0.7	0.86
3	硬質樹脂280	12	100	1.2	0.71
4	サンドペーパー #1000	0.7	5.5	0.6	1.0
5	サンドペーパー #600	2.4	48	0.4	1.1
6	サンドペーパー #400	13	110	0.7	1.5
7	サンドペーパー #240	17	260	0.4	1.4

表1 サンプルの物理特性

提示刺激は、振幅25%, 80%, 140%, 波長項0.5, 0.8, 1.5, 速度項10%, 40%の組み合わせ18種、および速度変調を含まず速度項が70%の刺激の計19種である。

評価に用いた形容詞対は、「粗い⇔細かい」「密集した⇔隙間の多い」「すべすべ⇔ざらざら」「凸凹⇔平ら」「ちくちくする⇔しない」「滑らか⇔引っかかる」「粘る⇔滑る」「凹凸が深い⇔浅い」「ぬるぬる⇔さらさら」「弾力あり⇔弾力なし」の計10種である。

3.3 両実験における留意点

実験を行う際には、以下の点に気を付けた。まず、被験者の指先の状態を一定に保つために、実験前にハンドソープを用いて手を洗ってもらった。また、室温の違いによる影響を排除するため、実験室の室温は、エアコンを用いて約25°Cの状態を保ち実験を行った。さらに、視覚・聴覚などの影響により、触感の認識に影響が出てしまう恐れがあるため、視覚に関しては、刺激提示時には指先を見ないようにしてもらい、聴覚に関しては、イヤーマフを装着してもらい指先と物体とがこすれる音や実験装置から発生されるノイズを遮断して実験を行った。

得られたデータから、因子分析により因子空間を構成する因子を抽出した。次に、抽出された因子によってサンプルおよび提示刺激の因子得点を算出し、それぞれの因子得点に基づいた因子空間を張ることで感覚マップを作成した。また、各因子とサンプルの物理特性および提示刺激のパラメータ(速度項・振幅・波長項)との相関を調べた。

3.4 因子分析

得られたデータから因子分析を行った。因子抽出法は主因子法、回転法はプロマックス法（斜交回転）である。なお、形容詞対のうち「ちくちくする⇔しない」については、フロア効果のため尺度項目として適切とはいえないので除外した。また、「すべすべ⇔ざらざら」については、複数の因子に高い負荷量を示したので除外した。

因子分析の結果を表 2 に示す。表 2 に示すように、触感覚の潜在的な因子が 3 つ抽出され、因子 1 を「粗さ因子」、因子 2 を「粘性因子」、因子 3 を「弾性因子」とそれぞれ名付けた。また因子間の相関係数から、因子 1 と因子 2 との間に正の相関関係があることがわかった。

評価項目	因子 1	因子 2	因子 3
粗い⇔細かい	0.93	0.02	-0.04
凹凸が深い⇔浅い	0.91	-0.02	0.02
密集した⇔隙間の多い	-0.85	0.07	-0.04
凸凹⇔平ら	0.84	0.06	0.05
粘る⇔滑る	-0.13	0.78	0.15
滑らか⇔引っかかる	-0.17	-0.75	0.15
ぬるぬる⇔さらさら	-0.01	0.04	0.86
弾力あり⇔弾力なし	0.09	-0.01	0.62
因子間相関係数		0.51	0.20

表 2 触感覚の因子分析結果

3.4.1 感覚マップ

抽出された因子によって各サンプルおよび各提示刺激の因子得点を算出し、それぞれの因子得点に基づいた因子空間を張ることで感覚マップを作成した。感覚マップの例として、粗さ因子と粘性因子によるサンプルの因子空間を図 3 に、提示刺激の因子空間を図 4 に示す。

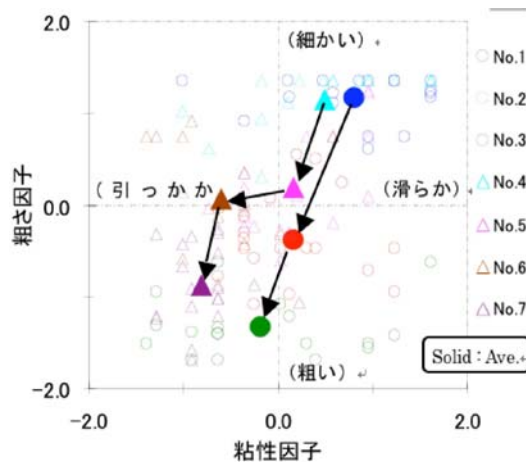


図 3 感覚マップ (サンプル)

図 3 では、各サンプルについて得られた全てのデータをプロットし、さらにサンプルごとの平均値を中実大マーカで示した。図 4 では、各提示刺激の平均値をプロットし、さらに振幅の値ごとにまとめた。両図において、横軸は粘性因子を、縦軸は粗さ因子を示す。

図 3 に示すように、硬質樹脂は番号が大きくなると、またサンドペーパーは番号が小さくなると、粗さが大きくなっていくことがわかる。さらに、硬質樹脂 6 とサンドペーパー #1000、硬質樹脂 50 とサンドペーパー #600 の対は空間上の位置が近いことから、触感覚が類似していると考えられる。また、サンドペーパー #400・#240 と硬質樹脂 50・280 とを比較すると、粗さにはあまり差はないが、引っかかりには大きな違いがあることがわかる。

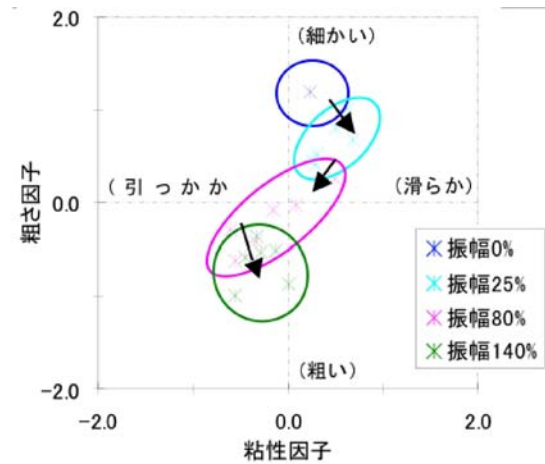


図 4 感覚マップ (提示刺激)

提示刺激については、図 4 に示すように、振幅が大きくなるにつれて粗さが大きくなる傾向があることがわかる。この傾向を図 3 のサンプルの感覚マップと比較してみると、デバイスにより提示される触感覚は、振幅が大きくなるにつれて、サンドペーパー #1000 や硬質樹脂 6 のような感覚から硬質樹脂 280 のような感覚へと遷移していると考えられる。図 2、図 3 で示した以外の感覚マップでは、サンプルにおける弾性因子および提示刺激における粘性因子・弾性因子について明確な傾向は認められなかった。

3.4.2 相関関係

各因子とサンプルの物理特性および提示刺激のパラメータとの関係を調べるため、相関係数を算出した。表 3 にサンプルの物理特性との相関係数を、表 4 に提示刺激のパラメータとの相関係数をそれぞれ示した。なお、サンプルの物理量については、Fechner の法則を考慮し、常用対数に変換して計算を行った。

表3 相関係数 (サンプル)

	粗さ因子	粘性因子	弾性因子
Ra	-0.79(**)	-0.58(**)	0.16
Rmax	-0.76(**)	-0.57(**)	0.14
基本波長	-0.32(**)	-0.01	0.01
動摩擦係数	-0.07	-0.42(**)	0.05

**、1%水準で有意(両側)

表3から、粗さ因子はRa, Rmax との間の相関が、粘性因子はRa, Rmax, 動摩擦係数との間の相関が高いことがわかる。この結果は、図3に示した傾向に一致すると考えられる。また表4から、粗さ因子は振幅との間に相関が高いことがわかる。この結果は、図4に示した傾向に一致すると考えられる。

	粗さ因子	粘性因子	弾性因子
振幅	-0.60(**)	0.35(**)	-0.09
波長項	-0.26(**)	0.10	-0.12(*)
速度項	0.05	0.11(*)	-0.08

**、1%水準で有意(両側)、*、5%水準で有意(両側)

表4 相関係数 (提示刺激)

3.4.3 考察

サンプルおよび提示刺激による触感覚は、主に「粗さ因子」「粘性因子」「弾性因子」の3つの因子で構成されていることがわかった。このうち「粗さ因子」については、サンプルでは粗さを表す物理量であるRa, Rmaxとの相関があり、提示刺激では感覚マップおよび相関係数から振幅との相関があることが示された。このことから、ホイール型触覚ディスプレイにおける粗さ感の提示は、振幅によって制御できるといえる。また、今回の実験では速度項の設定パラメータが少なかったこともあり、速度項と触感の関係を明らかにすることができなかったが、速度項の変化によってより多様な刺激を提示できる可能性があるため、速度項に焦点を絞った実験も行う必要がある。

4. 研究成果

知覚実験により、指先との相対的接触速度の変調による刺激を利用してなぞり感を提示する、ホイール型触覚ディスプレイの基本的な性能を明らかにすることが出来た。特に、粗さ感の提示は、振幅によって制御できることがわかった。しかしながら、粘性感や弾性感については明らかになっていない部分が多く、刺激提示法や実験条件などを工夫し、

今後さらなる検証を行うことが必要とされる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3件)

① Hidetomo TAKAHASHI, Toshikazu KAWASHIMA: Touch-Sensitive Augmented Reality System for Development of Handheld Information Appliances, IDMME Virtual Concept 2008, Beijing, China, APIAHD_P124, (2008.10.9), 査読有

②佐伯 航太, 黒柳 和夫, 田中 真二, 高橋 秀智, なぞり感を提示するホイール型触覚ディスプレイの感覚マップを用いた基本特性評価, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会講演論文集, 1B3-4(2008.9.24, 奈良先端科学技術大学院大学)

③豊泉徹平, 上田志重, 高橋秀智, 田中真二, なぞり感提示のためのホイール型触覚デバイスの開発, 日本機械学会関東支部第14期総会講演会講演論文集, pp. 203-204(2008.3.15, 東京海洋大学)

[その他]

Web :

<http://www.mech.titech.ac.jp/~t-souzou/research/research.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 秀智 (TAKAHASHI HIDETOMO)
東京工業大学・大学院理工学研究科
・准教授
研究者番号：10216749

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし