

薄型触覚呈示デバイスによる高次知覚を利用した触覚情報呈示

水上 陽介 澤田 秀之

香川大学 工学部 知能機械システム工学科

sawada@eng.kagawa-u.ac.jp

あらまし 形状記憶合金を利用した薄型触覚呈示デバイスの構築と、触覚の高次知覚であるファントムセンセーション(PS)および仮現運動(AM)による触覚情報呈示について述べる。糸状に加工した形状記憶合金が温度により伸縮する特性を利用し、これを呈示部に応用した小型振動アクチュエータを作成した。本アクチュエータは、振動呈示部が 2mm 程度であり、これを周期信号により駆動させることによって、1~300Hz という広い周波数範囲で明確な振動刺激の呈示が可能であることがわかった。また複数個のアクチュエータを面状に配置して、触覚呈示デバイスとして利用することにより、触覚の高次知覚である PS および AM の生成が可能であることを確認した。振動強度や呈示周波数の変化など、様々な条件下で触覚感度の評価をおこない、2 個の刺激子間の任意の位置への触知感度の呈示や、なぞるような触覚感度の呈示が可能となることを明らかにした。また被験者による触覚情報呈示実験をおこなった結果、触覚感度の認識や弁別が十分に可能であり、薄型触覚呈示デバイスとして新たな情報呈示手段になりうると考えている。

A Tactile device using Shape-memory Alloys for the Information Transmission by Higher-level Perception

Yosuke Mizukami and Hideyuki Sawada

Faculty of Engineering, Kagawa University

Abstract The paper introduces the development of a tactile device using a shape-memory alloy, and describes the information transmission by the higher-level perception such as the phantom sensation and the apparent movement of the tactility. The authors paid attention to the characteristic of a shape-memory alloy formed into a thread, which changes its length according to its temperature, and developed a vibration-generating actuator electrically driven by periodic signals generated by current control circuits, for the tactile information transmission. By coupling the devices as a pair, an information transmission system was constructed for presenting the phantom sensation and the apparent movement of the tactility, to transmit quite novel sensation to a user. The information transmission by the device was tested by subjects, and was evaluated by questionnaires. The apparent movement was especially well perceived by users as a sensation of something running across fingers or as being tapped by something, according to the well-determined signals given to the devices. Several users reported that they perceived a novel rubbing sensation given by the apparent movement, and we further experimented the presentation of the sensation in detail to be used as a tactile display for the information transmission.

1. はじめに

人間どうしのコミュニケーションにおいては、言語に加えて視覚、聴覚、触覚といった五感が有効に活用されている。特に対面対話においてはジェスチャやスキンシップが、また対象物を用いた会話や議論においては、触覚や力覚などの、身体や動作を元にしたコミュニケーション手段が大きな意味を持つことが少なくない。このようにコミュニケーションとは、身体や感覚を通じた情報のやりとりであるということができ、これを計算機を利用して支援、活性化しようとする多くの提案がなされている。

現在、視覚や聴覚情報の呈示、あるいはこれらの情報を実世界の対象物と融合して呈示しようとする提案が多くみられる。その一方で、触覚や力覚を直接、身体部位に感覚として呈示しようとするものも幾つかの試みがみられるが^{[1]-[5]}、これまでに良好な成果が得られているとは言い難い。またこれらの成果を遠隔コミュニケーションや拡張現実感の呈示に利用する研究も進められているが、相手や対象物の存在感を、触覚や力覚として感じる事ができるコミュニケーションの実現には、未だ課題も多い。視覚や聴覚が、外界に存在する物理現象を視覚・聴覚受容器によって検出しているのに対し、触覚は、自分自身の皮膚の変形や熱伝導といった物理現象を元に知覚さ

れる。また対象物表面のテクスチャの知覚には、皮膚の変形ばかりでなく、手を能動的になぞるといった機械的運動が不可欠である。このような人間の能動的センシングに着目した触覚呈示装置の提案や、触覚感覚の情報処理機構の解明に関しては、未だ有効な成果は得られていない。

一方、視覚障害者のための情報呈示装置では、幾つかの触覚を利用したものが実用化されている^[6]。例えば、アレイ状に並べたソレノイドや圧電素子によって振動を生成し、文字や図形パターンの伝達をおこなうものや、電極を使用し、電流によって情報を伝達するもの、ピンを段階的に上下することによって表面形状を形成して呈示するものなどがある。しかしながらこれらの呈示装置は、静的なパターン呈示を前提として設計されており、動的な触覚情報や「なぞり」といったような触知感覚の呈示は困難である。また、呈示部のアクチュエータおよびその駆動装置の物理的構造の制限により、小型化や、省電力化への課題が多く、携帯型の触覚情報呈示に適しているとは言い難い。

本稿では、形状記憶合金を利用した触覚呈示デバイスの開発と、触覚の高次知覚であるファントムセンセーションおよび仮現運動による情報呈示手法について述べる。糸状に加工した形状記憶合金が温度により伸縮することを利用し、これを呈示部に応用した小型振動アクチュエータを作成した。これを2個組み合わせることで触覚呈示デバイスとして利用することにより、従来の触覚呈示装置では困難であった、薄型省電力化が可能となる。また触覚の高次知覚を利用して、少数の刺激点による任意位置への情報呈示や、なぞる、こする、叩くといった、動的な触覚感覚の情報呈示が可能であることも実験によって明らかにし、新しい情報呈示手法の可能性について述べる。

2. 振動アクチュエータと触覚呈示システム

2.1 触覚の高次知覚

ファントムセンセーション(Phantom Sensation: PS)^[7]とは、皮膚上の2点を同時に刺激した際に、その間のある特定の部位に、あたかも新たな刺激(これを刺激像と呼ぶ)があるように感じる現象である(図1)。刺激像の出現位置は主に、2刺激の強度差に依存する。これまでに、義手装着者への関節角度の呈示や、聴覚障害者への音源方向の呈示に利用された報告がある^[2]。

一方の仮現運動(Apparent Movement: AM)^[8]は、皮膚上の2点を、立上り位相差付きで刺激した場合に、刺激像が一方の刺激点から他方の刺激点に連続して移動しているように感じる現象である(図2)。AMは特に視覚においてその機構の解明と

応用が進んでおり、たとえば電光掲示板の動く文字表示等に利用されている。

これら触覚の高次知覚を利用した情報呈示手段が実現できれば、少数の刺激点により、任意の点への触覚情報の呈示や、これまで困難であった動的な触覚感覚の呈示が可能になると考えられる。

2.2 小型振動アクチュエータ

本研究では、糸状に加工した形状記憶合金が温度により伸縮する特性を利用し、これを呈示部に応用した小型振動アクチュエータを製作した^[9]。本アクチュエータの構造と寸法を、図3に示す。

このアクチュエータは、2本の導線を絶縁パイプでまとめて、その先端に、直径50 μ mの糸状に加工した形状記憶合金を、アーチ状に曲げて取り付けている。先端に取り付けた形状記憶合金の長さは3mmとしており、身体の1~2mm程度の微小部位に、刺激の呈示が可能である。

ここで使用した形状記憶合金の熱伸縮特性を、図4に示す。長さ3mmの糸状形状記憶合金の抵抗値は2 Ω 程度であり、これに微弱電流を流すと即座に加熱される。温度がT1に達すると、全体長の7%程度の収縮をおこす。電流印可をやめると加熱が止まり、熱が拡散されて自然冷却される。温度がT2以下になると元の長さに戻る。我々はこの性質に着目し、周期的な微弱パルス電流を用いて、振動を発生できると考えた。つまり、パルス信号の山の部分で形状記憶合金の収縮がおこり、谷の部分で冷却されて元の長さに戻ることに、これを繰り返して振動が発生することになる。

まず形状記憶合金の振動発生実験をおこなった。ここで用いたパルス入力信号の概形を、図5に示す。なお、形状記憶合金を最も効率よく伸縮させるためには、導体の温度をT1とT2の間に保つ必要があるため、印可する熱量を考慮して、パルス信号の波高値Hおよびパルスのデューティ比W/Lを決める必要がある。実験により、 $H =$

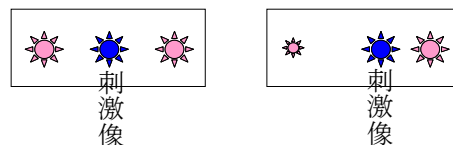


図1 PS説明図

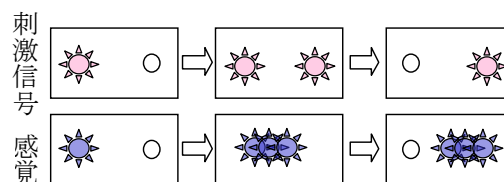


図2 AM説明図

0.5[V]、W:L=1:20 程度のパルス信号を用いて、1～300[Hz]の周波数範囲で充分に触知が可能な振動が発生することがわかった。

また、上記の条件で連続駆動させる試験を行ったところ、2ヶ月(1440時間)経過した時点でも同じ強度の刺激を呈示できていることを確認した。1回の情報呈示のために駆動させる時間が最長でも30秒程度であり、1日に2時間使用しても2年間の使用に耐えうると考えられる。

2.3 触覚呈示システム

本研究で構築した触覚情報呈示システムの構成図を図6に、実験装置の概観を図7に示す。このシステムは、形状記憶合金を用いた小型振動アクチュエータを2個用いて、PSとAMを発生させる。

まず、計算機によりパルス信号を生成し、これをD/Aボードによってアナログ信号に変換する。変換された信号は、反転増幅アンプによって呈示デバイスの駆動に十分な電力に増幅される。パルス周波数に同期して2つの振動アクチュエータが振動し、PSとAMを発生させて、動的な触覚

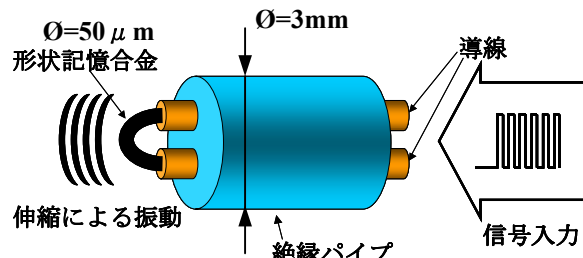


図3 振動アクチュエータの構造

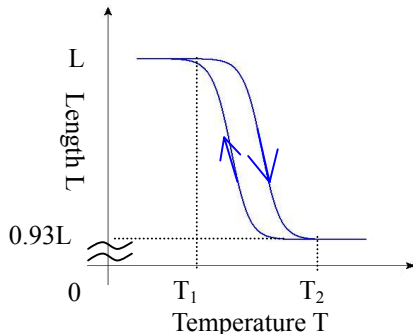


図4 形状記憶合金の熱伸縮特性

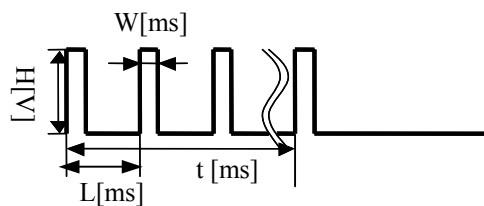


図5 パルス入力信号

情報の呈示をおこなう。その際、使用者の感覚に対して形状記憶合金が発する熱の影響が考えられるが、素子が細く、パルス電流によって加熱される時間も短時間であるため、灼熱感が発生することはない。

3. 振動アクチュエータによる触覚呈示実験

3.1 予備実験

触覚の高次知覚であるPSとAMの認識、弁別実験を行う前に、まず呈示条件を決定するための予備実験をおこなった。呈示信号生成パラメータと触覚感度の関係を調べるため、以下の3つの項目について感度評価実験をおこなった。

- a) 身体の呈示部位と振動強度、周波数
- b) PSにおける呈示部位と周波数、振動強度
- c) AMにおける呈示部位と立上り位相差

人の触覚受容ユニットは4種類存在し、そのうちマイスナ小体とパチニ小体が振動刺激に応答する。マイスナ小体は40Hz程度までの比較的低い周波数に、またパチニ小体は50～300Hz程度までの高い周波数の振動に反応することが知られている^[1]。また皮下の受容器分布も異なっているため、同一の振動刺激でも身体の呈示部位によって感覚として知覚される強度が異なる。逆に全く違う刺激信号を与えても、異なる部位において似たような感覚として感知される場合もある。更に、同一刺激を与えても、被験者によって違った触知

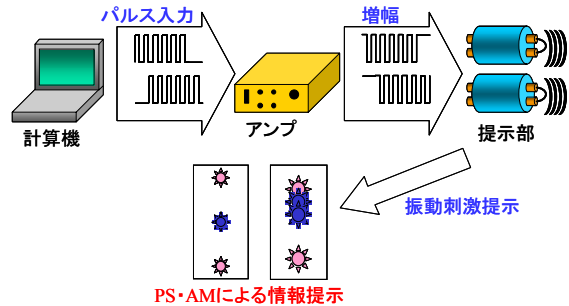


図6 触覚情報呈示システムの構成

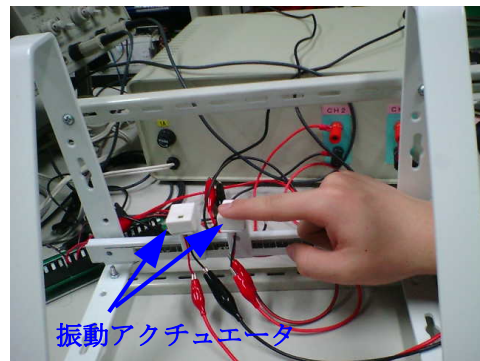


図7 実験装置

感覚として感知される場合があることも判っている。

これらの違いを統一的に扱うため、本研究では、標準的な触覚感覚を持つ一名の被験者において、感覚強度を1~10の10段階で数値化して表すこととした。最も強く感じる強度を10、刺激を感じることでできる最も小さな強度を1とする、絶対評価とした。

予備実験 a)では、一つのアクチュエータを振動させ、利き手の各指と掌、合計23箇所の部位(図8参照)に刺激を呈示した。パルス周波数1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 200, 300[Hz]に対し、波高値を各周波数につき3段階で変化させて刺激を呈示し、その感覚強度を評価した。

結果の一部として、表1に5, 50, 200Hzについて示す。同じ数値は、同一の触覚感覚強度で知覚されたことを表している。呈示部位についてみると、人差し指が最も感度が高く、親指、中指、小指が同程度の感度で、薬指が最も感度が低いことが明らかになった。指以外の呈示部では、指の付け根はどれも同程度の感度で、掌の中央部分が特に感度が悪いという結果が得られた。

呈示周波数の違いに対しては、触覚として知覚される感覚が、大きく違うことがわかった。数Hz程度までの低い周波数では脈のような鼓動を

感じ、数十Hz程度の周波数域では、機械的な振動、あるいは何かに叩かれている感覚が得られ、また50Hz以上300Hzまでの高い周波数では、高周波の振動あるいは、軽く触れられている感覚が得られることがわかった。

以上のことから、高次知覚を認識するためには、実際の振動刺激そのものを感じてしまうと考えられる低周波数の強い刺激よりも、刺激強度の弱い高周波域での刺激呈示が適していることがわかった。

予備実験 b)では、2つのアクチュエータを用いてPS刺激を生成した。人差し指、掌、手首を呈

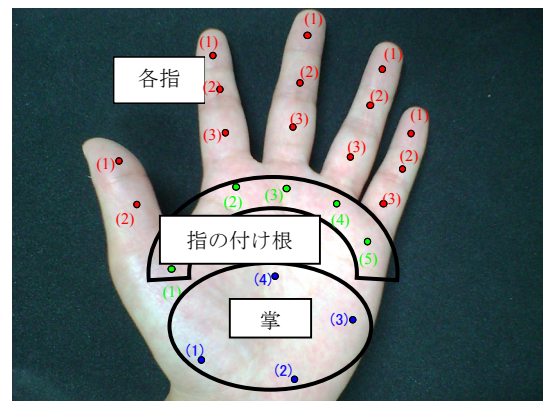


図8 感度評価実験

表1 呈示部位、周波数、波高値の違いによる触覚感度の評価

呈示部位		周波数[Hz]			5			50			200		
		波高値[H]			0.39	0.46	0.61	0.55	0.61	0.70	0.65	0.70	0.82
親指	(1)	2	3	7	3	3	4	0	1	2			
	(2)	1	3	5	2	2	3	0	2	4			
人差し指	(1)	4	5	8	4	5	7	1	2	2			
	(2)	1	3	5	2	2	4	0	1	3			
	(3)	2	4	7	2	3	5	1	3	4			
中指	(1)	3	4	8	2	3	4	0	0	1			
	(2)	1	2	6	2	1	3	1	2	2			
	(3)	2	3	7	1	2	4	1	1	1			
薬指	(1)	2	3	6	2	3	3	1	2	3			
	(2)	0	2	4	1	1	1	0	1	1			
	(3)	1	3	5	0	2	2	1	2	2			
小指	(1)	2	3	7	3	4	5	1	2	3			
	(2)	1	2	6	1	1	2	1	1	2			
	(3)	2	2	6	1	2	4	1	2	2			
指の付け根	(1)	0	2	5	1	2	2	1	2	2			
	(2)	2	3	4	1	5	4	1	2	2			
	(3)	3	4	5	3	3	4	2	3	3			
	(4)	1	1	6	2	2	1	1	1	2			
	(5)	2	3	7	3	4	3	2	2	3			
掌	(1)	2	3	3	1	2	5	1	1	1			
	(2)	3	4	6	1	3	6	2	2	3			
	(3)	2	5	7	3	5	7	3	3	3			
	(4)	0	1	2	0	2	1	1	0	1			

示部位として選び、それぞれ3種類の距離を隔ててアクチュエータを配置した。パルス周波数は5, 50, 200[Hz]の3種類とし、波高値は各周波数ごとに3段階で変化させてPSの感度評価をおこなった。呈示部位の大まかな位置を図9に示すが、人差し指と掌の場合は、円で囲んだ範囲の両端((1)-(3))、中央と爪側の端((1)-(2))、中央と手首側の端((2)-(3))の3種類とした。手首の場合は、掌の終端から120[mm]離れた点を基準点とし、それを中点とする線分の両端を刺激点とした。刺激点間の距離は、30, 60, 120[mm]とした。

実験結果を、表2に示す。なお、PSの刺激像の知覚が弱い部位があったため、感度評価0と1の間に、0.5という評価値も新たに加えた。この結果から、PSの刺激像の強度は、知覚はできるが実際の刺激と比べて弱いものとなることがわかった。また、手首以外の呈示部位においては、周波数や波高値が異なっても、感度にはそれほど影響しないという結果が得られた。手首の感度が特に弱いことがわかったが、実刺激と比較して、刺激像は高い周波数の方が触覚として知覚しやすいこともわかった。

c)は、2つのアクチュエータを用いてAM刺激呈示の実験をおこなった。呈示部位はb)と同様の箇所とし、立上がり位相差を50, 500, 1000 [ms]とした。波高値は、あらかじめ実験で調べておいた、AMに適している0.70, 0.75, 0.82[V]の3種類で変化させて、AMの感度評価をおこなった。なお、周波数は50[Hz]で固定とした。

表3に実験結果を示すが、AMの刺激像もPSと同様に、実際の刺激と比べて強度が弱いということがわかった。また、b)の結果同様、手首の感度が低いという結果が得られた。立上がり位相差500[ms]が、最も良好にAMを知覚できることがわかった。波高値は感度にほとんど影響せず、呈示部位に関しては、人差し指では中央と先端、中央と根元側の端の組み合わせが、掌では指の付け根側の点と中央の組み合わせで感度が良好であった。

以上のことから、以降で述べるPS、AMの認識、弁別実験に用いる入力信号は、周波数50[Hz]、波高値はPSで0.61[V]、AMで0.75[V]を基準とすることとした。呈示部位は、人差し指と中指および掌とし、人差し指と中指では先端と中央、根元側と中央の2種類の組み合わせ、掌では指の根元側と手首側の組み合わせと、その半分の距離の2種類とすることとした。

3.2 PSおよびAMの認識弁別実験

予備実験で得られた結果をもとに、PSとAMの認識弁別実験をおこなった。10名の被験者にそれぞれの刺激を呈示し、刺激感知の有無と、刺激像の位置及び移動について聞き取り調査をおこなった。

PS呈示実験で、デバイスに入力した信号の概形を図10に示す。2つのチャンネルへの入力信号の波高値A, Bを、予備実験で決定した基準値をもとに変化させることにより、刺激像を爪側寄り、中央、手首側寄りの3種類呈示する。被験者には、あらかじめPSについて簡単な説明をおこなった上で、実験直前に人差し指に3種類の刺激像をそれぞれ1度ずつ呈示した。実験では、ランダムに3種類のPSを呈示し、刺激像がどこに現

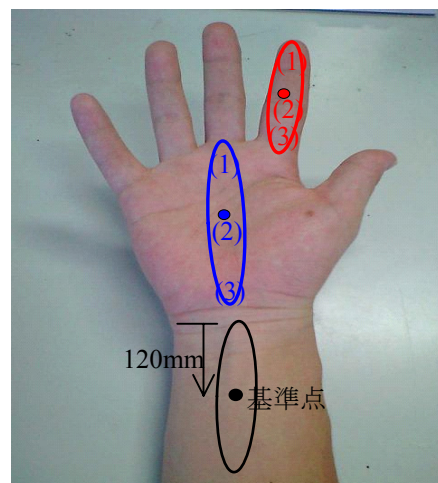


図9 PS, AM 感度評価実験部位

表2 PSの周波数、波高値、部位による感度変化

周波数[Hz]		5			50			200				
		波高値[V]			0.39	0.46	0.61	0.55	0.61	0.70	0.65	0.70
人差し指	(1)-(2)	1	2	2	1	2	2	1	2	2		
	(2)-(3)	0	2	2	1	3	3	2	3	3		
	(1)-(3)	1	2	3	2	1	3	2	2	3		
手のひら	(1)-(2)	1	1	2	2	2	2	0.5	1	2		
	(2)-(3)	1	2	2	1	2	1	0.5	1	2		
	(1)-(3)	1	1	3	2	2	2	0.5	2	2		
手首	30	0	0	1	1	1	1	1	1	1		
	60	0	0	2	1	1	0	1	1	2		
	120	0	0	1	0.5	1	1	0	0.5	0.5		

表3 AMの周波数、波高値、部位による感度変化

立上り位相差[ms]		50			500			1000		
波高値[V]		0.70	0.75	0.82	0.70	0.75	0.82	0.70	0.75	0.82
呈示部位										
人差し指	(1)-(2)	0	0	1	2	2	3	1	3	2
	(2)-(3)	0	1	1	2	3	3	2	3	2
	(1)-(3)	1	1	0	2	3	4	1	1	1
手のひら	(1)-(2)	2	2	2	2	2	2	0	1	0
	(2)-(3)	1	2	1	1	1	2	0	1	1
	(1)-(3)	1	1	1	1	2	1	1	2	1
手首	30	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	60	1	1	0	1	1	2	2	2	3
	120	0	0	0	0	2	1	1	1	1

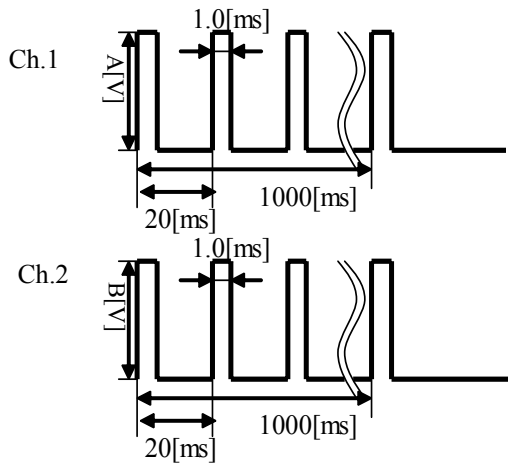


図10 PS発生入力信号波形(50Hz)

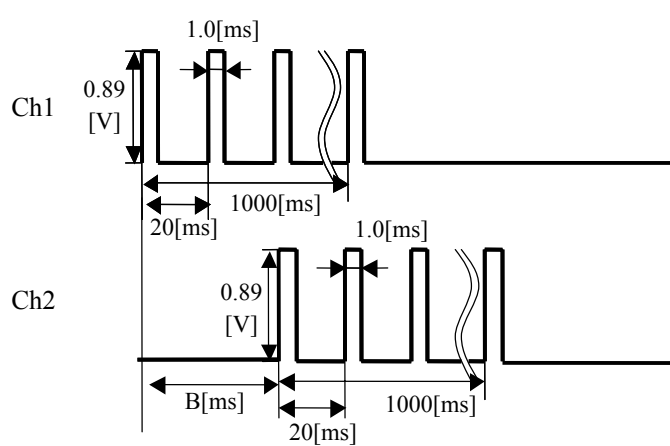


図11 AM発生入力信号波形(50Hz)

れたかを答えてもらった。これを各部位5回ずつ繰り返し、更に触覚感覚について聞き取り調査をおこなった。

結果を表4に示す。表中の数字は5回の試行のうち、正しく識別できた回数であり、“—”は刺激を知覚できなかったことを示している。本実験より、認識率87.5%、識別率67.3%が得られた。

AMの実験では、図11に示すような波形の信号を入力した。チャンネル間の立上がり位相差Bは、500[ms]で固定とした。10名の被験者には、AMについて簡単な説明をあらかじめおこなっていた。実験では、手の先端へ向かう刺激と手首側へ向かう刺激をランダムに呈示し、どちらに刺激像が移動したかを答えてもらう。この試行を各部位5回ずつ繰り返し、また触覚感覚について聞き取り調査をおこなった。

表5に結果を示した。表中の数字があらわすものは、表5と同じである。刺激の認識率は100%、移動方向の識別率は97%が得られた。

4. PSおよびAM呈示に関する考察

呈示部位と波高値、周波数を変化させて感度評価をおこなった実験により、作成した呈示デバイスを用いてPSおよびAMの触覚刺激呈示が可能であることがわかった。呈示部位によって大きく感度が異なるが、これは、皮膚組織や触覚受容器の物理特性と、人間の認知機構に起因するものであると考えられる。五指の中では人差し指と親指が感度が高く、また掌では中央部が感度が低いという結果は、人間が物体を摘んだり把持する場合に使う手の部位と良く一致している。

PS弁別実験では、人差し指、掌、中指の順で感度が良いことがわかる。また若干ではあるが、人差し指では距離が短いほうが弁別しやすいようである。刺激像の識別率としては低い、これはPSの認識には訓練が必要であることに起因していると考えられる。また刺激像の位置がぼんやりとしていて知覚しにくいという感想もあった。

表 4 PS 弁別実験結果 (5 回呈示中の正解数)

被験者 \ 部位	人差し指		中指		掌	
	(1)-(2)	(1)-(3)	(1)-(2)	(1)-(3)	(1)-(3)	half
A	2	3	4	4	3	3
B	5	3	2	3	5	5
C	0	0	2	4	4	3
D	5	2	5	—	4	5
E	3	2	3	4	2	4
F	5	3	4	4	4	4
G	4	4	4	5	5	5
H	—	—	—	5	5	2
I	—	—	1	2	3	3
J	4	1	4	2	4	4

表 5 AM 弁別実験結果 (5 回呈示中の正解数)

被験者 \ 部位	人差し指		中指		掌	
	(1)-(2)	(1)-(3)	(1)-(2)	(1)-(3)	(1)-(3)	half
A	5	5	5	5	5	5
B	5	5	4	5	5	4
C	4	5	4	5	5	5
D	5	3	4	5	5	5
E	5	5	5	5	5	5
F	5	5	5	5	5	5
G	5	5	5	5	5	4
H	5	5	5	5	5	5
I	5	5	5	5	4	5
J	5	5	5	5	5	5

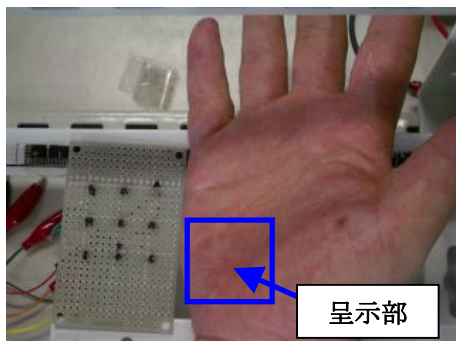


図 12 触覚情報呈示デバイスの試作

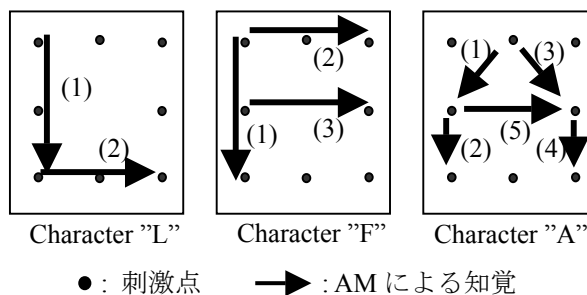


図 13 文字の書き順呈示の例

AM 弁別実験では、どの被験者についても呈示部位に依らず良好に識別されていることがわかる。今回の実験では、二つの素子に対して、刺激点となる手の部位を上方から接触させるという手法を取ったため、接触圧の違いで知覚しにくい場合があったことも考えられる。今後は、手の部位に均等な接触圧でアクチュエータを取り付けて実験を行う必要があるだろう。

AM 呈示実験では、何かが掌で動いた、指をタップされた、ヌルッと動いた、指先をなぞられた、などの感覚に関する様々な意見が得られた。これは、二つの振動アクチュエータから生成される同一の刺激によって得られる AM が、被験者によ

って違った感覚として知覚されることを示唆していると考えられる。今後これらを、人間の触覚認知機構と関連付けて考察していく必要がある。

5. 文字の書き順呈示

前章までの実験を踏まえ、触覚情報呈示デバイスを試作した。9 個の振動アクチュエータを 3×3 のマトリクス状に配置した呈示デバイスを図 12 に示す。任意の 2 点間に位相差付きでパルス電流を与えることにより、仮現運動による触覚刺激の呈示が可能である。図 13 に示す様に、各素子に順に信号を送出することにより、文字や図形パターンを書き順付きで呈示することが可能である。

また、送出信号を計算機上で対話的に作成する

ためのインタフェースを実装した。これにより、各素子に与えるパルス信号の周波数、振幅、位相差を視覚的に確認しながら入力が可能となり、また同時に触覚の呈示もできる。図 14 に、文字「F」を呈示するための送出信号パターンの例を示す。

本デバイスを用いて、10 名の被験者に文字を書き順呈示した。図 12 に示した掌の部位に“T”、“A”、“F”、“L”、“U”、“X”、“Z”、“Δ”の 8 文字をランダムに 10 回呈示し、その文字を回答させた。その結果、被験者によってばらつきはあるが、平均で 85%の正解が得られた。呈示後の感想として、全く新しい触覚呈示手法で面白い、掌に実際に文字を書かれたような感覚があった、などが得られた。9 個のアクチュエータにより、単純な文字であれば十分に認識可能な触覚情報として呈示可能であることが確認できた。

6. まとめ

本稿では、形状記憶合金を使用した触覚呈示デバイスにより、触覚の高次知覚を発生させて、動的な触覚情報の呈示をおこなう手法について述べた。本デバイスは、微小電力で動作する薄型振動アクチュエータを用いており、高次知覚の生成により、2 点間の任意の位置への触覚刺激像の呈示が可能であることがわかった。また被験者による仮現運動の呈示実験から、従来の触覚呈示デバイスによる文字や図形のパターン呈示とは異なった動的な感覚、つまり、なぞりや擦るといった感覚の呈示が可能であることも明らかになった。さらに、実験後におこなった被験者に対するアンケートから、入力条件の違いによって、様々な種類のなぞり感覚の呈示が可能であることがわかった。

これらの評価を基に、9 個のアクチュエータを平面上に配置した触覚情報呈示デバイスを試作し、文字の書き順が呈示可能であることを実験によって確認した。これにより、新たな情報呈示ツールやコミュニケーションツールの提案が可能となる。具体的には、視覚を通さずに時間がわかる腕時計やサイレントアラーム、自動車のハンドルに取り付けて、音声や画面表示によらない情報呈示が可能なナビゲーションシステムなどへの応用を考えている。さらに、本システムと視覚や聴覚呈示システムを組み合わせることにより、よ

り臨場感のある情報呈示が可能になると考えられる。

今後は、立上がり位相差以外の入力条件が、いかに触覚呈示に影響するのかを実験により調査していく。また、アクチュエータを空間的に密に配置することにより、様々な触覚像や動的触覚パターンの呈示が可能な触覚ディスプレイを構築していく。更に、刺激部位と振動周波数、振動強度などの関係を詳細に解析し、人間の触覚認知機構と関連付けて考察していく。

参考文献

- [1] 岩村吉晃: タッチ<神経心理学コレクション>, 医学書院 (2001)
- [2] 大西昇: 生体情報処理, 昭光堂 (2001)
- [3] 内田雅文・田中久弥・井出英人・横山修一: 単一の PZT 振動子を用いた 16 種類の変調波振動による触覚ディスプレイ, 電気学会論文誌 C, Vol. 120-C, No. 6, pp. 825-830 (2000)
- [4] 毛塚修一, 野澤昭雄, 内田雅文, 井出英人: 変調振動を用いた触覚ディスプレイの図形提示方法に関する基礎検討, 電気学会論文誌 C, Vol. 124-C, No. 9, pp. 1916-1917 (2004)
- [5] Yasutoshi Makino, Naoya Asamura and Hiroyuki Shinoda: "A Whole Palm Tactile Display Using Suction Pressure", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1524-1529 (2004)
- [6] Web ページ「触覚伝達機器の設計支援情報」
<http://www.tsukuba-tech.ac.jp/info/treky:8080/index.html/kaken/home.html>
- [7] D. S. Alles: "Information Transmission by Phantom Sensations", IEEE Transactions on Man-machine Systems, Vol. MMS-11, Vol. 1, pp. 85-91 (1970)
- [8] G. v. Bekesy: "Sensation on the Skin Similar to Directional Hearing, Beats, and Harmonics of the Ear", Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 29, No. 4, pp. 489-501 (1957)
- [9] Yosuke Mizukami and Hideyuki Sawada: Tactile Information Transmission by Apparent Movement Phenomenon Using Shape-memory Alloy Device, International Conference on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies, pp. 133-140 (2006)

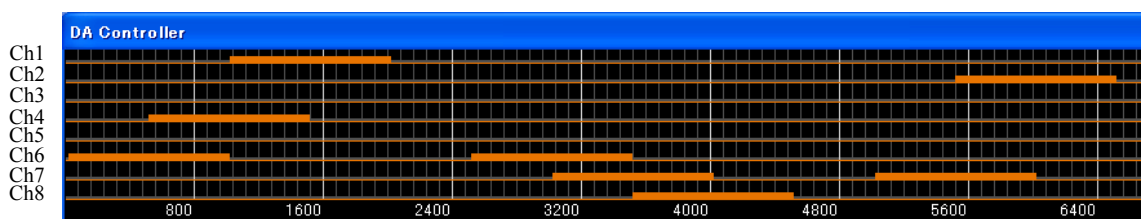


図 14 文字呈示入力パターン例 (Character "F")

[ms]