

## 携帯電話と連携可能な振動デバイスを利用した 視聴覚障害者のための触覚ディスプレイの開発

Development of a vibrotactile display using mobile phone for the blind and the deaf

○ 上田一貴 (東大先端研) 大河内直之 (東大先端研) 千川文子 (東大先端研)  
伊藤篤 (KDDI 研究所) 平松裕子 (KDDI エボルバ) 伊福部達 (東大先端研)

Kazutaka UEDA, RCAST, The University of Tokyo  
Naoyuki OKOCHI, RCAST, The University of Tokyo  
Ayako CHIKAWA, RCAST, The University of Tokyo  
Atsushi ITO, KDDI R&D Laboratories  
Yuko HIRAMATSU, KDDI Evolva Inc.  
Tohru IFUKUBE, RCAST, The University of Tokyo

**Key Words:** Vibrotactile display, Mobile phone, Visually impaired, Hearing impaired

### 1. はじめに

現在、ユニバーサルデザイン(UD)携帯電話は、ユーザの様々なニーズに応えるべく開発・改良が進められている。携帯電話の情報呈示装置であるモニタ部分に関しては、モニタ画面を大きくする、文字表示を大きくするなどの配慮が行われている。また、スピーカによる音声読み上げ機能なども多くの機種で取り入れられている。これらの配慮により、高齢者や障害者の携帯電話の利用が促進されたと言えよう。一方で、従来の携帯電話の機能は、そのほとんどが視聴覚モダリティを使用することを前提としていることから、視覚、聴覚、あるいはその両方に障害を持つユーザや、加齢により視聴覚機能が低下する高齢者ユーザのニーズに十分に対応しきれていない可能性があることも考慮する必要がある。

視聴覚モダリティに加えて、携帯電話で活用可能な感覚モダリティとしては触覚モダリティが考えられる。触覚モダリティを活用した携帯電話の機能として、既に振動機能がほぼ全ての携帯電話に搭載されている。振動機能が活用されている例としては、「電話の着信を知らせる機能」「メールの着信を知らせる機能」「マナーモードに切り替わったことを知らせる機能」などが挙げられる。これらの振動機能は、二値的情報(マナーモードが ON か OFF かなど)を呈示するなどの単純なものがほとんどであり、視聴覚機能をフルに利用できるユーザにとっては、補助的な機能として、その役割を果たしていると言えよう。しかしながら、見ることや聞くことに日常的な困難を抱える障害者ユーザにとってはどうであろうか? 携帯電話が単なる「電話」としてだけではなく、様々な生活場面で利用される「情報端末」としての性格が強くなった現在、視聴覚の補助・代替として、より複雑な振動パターンを呈示するなどのように触覚モダリティも積極的に活用することが必要と考えられる。

携帯電話の触覚振動機能について、視聴覚に障害を持つユーザがどのようなニーズを持っているのか、また、そのニーズをどのような方法で満たしていけばいいのかを明らかにする必要がある。そこで本研究では、視聴覚障害者を対象としたニーズ調査を行い、そのニーズに基づいて振動デバイスを利用した触覚ディスプレイの開発および評価を行うこととした。

### 2. ニーズ調査

#### 2-1 目的

視聴覚障害者が、携帯電話の振動機能にどのようなニーズを持っているのかを明らかにすることを目的とした。

#### 2-2 方法

視覚障害を持つ大学生 9 名、聴覚障害を持つ大学生 10 名を対象とした。先行研究<sup>(1)</sup>において、パソコンによる情報呈示を補助するための振動デバイス「TAJODA」の有効性が確認されていることに着目し、調査対象者に TAJODA の触覚振動機能を体験してもらい、類似した振動機能が携帯電話に搭載された場合、あるいは携帯電話と同時に利用した場合、どのような活用方法が考えられるかを聴取した。

#### 2-3 結果

視覚障害者からは「(携帯電話の)ナビ使用時に方向からずれたことを教えてくれる機能」「方角を知らせてほしい。近所のコンビニに行くつもりで外出したが、2,30 分程迷ったことがある」「赤外線通信の時に方向がうまく合わないことがあるので、その補助があるとよい」など、方向や方角の呈示に関するニーズが得られた。

聴覚障害者からは「通話の開始と終了を知る」「相手の声の大きさ、感情表現、音楽のリズムを知る」「消防車などのサイレンや何らかの警報音が鳴った際、振動で知らせてほしい。また、振動パターンで何の音が鳴っているか知らせてほしい」「電子レンジの音などを知らせてほしい」など、音情報を認識する時に振動機能が有効だと考えている人が多いことがわかった。また、視・聴覚障害者双方から「(携帯電話で)電子マネー利用時にかざした時に振動で教えてほしい」「アナウンスが聞こえないことがあるので、電車などで駅に着いた時に振動で知らせてくれる機能があると良い」という意見が出されており、振動を報知音やアナウンスの代替手段として利用したいとのニーズも見受けられた。

これらの調査結果を踏まえ、視聴覚障害者のための触覚ディスプレイとして、携帯電話のコンパス機能と連携した方角情報の呈示機能、マイク機能と連携した音情報の呈示機能を持った振動デバイスを開発することとした。

本研究では、開発の基礎検討として視覚障害者、盲ろう者を対象に触覚ディスプレイによる方角の弁別、音の周波数の高低の弁別、音の強さの弁別などの評価実験を行った。

### 3. 評価実験

#### 3-1 目的

視覚障害者、盲ろう者を対象として触覚ディスプレイによる方角の弁別、音の周波数の高低の弁別、音の強さの弁別を行ってもらい、弁別の正答率、反応時間を計測した。また、振動の「区別のしやすさ」、振動による呈示方法（振動と情報の組み合わせ）の評価を行ってもらい、視覚障害者、盲ろう者における触覚ディスプレイの有用性を検証した。

#### 3-2 方法

**参加者**：視覚障害者 13 名（男性 6 名、女性 7 名、平均年齢  $26.85 \pm 5.18$  歳、22-35 歳）、盲ろう者 3 名（男性 2 名、女性 1 名、33-66 歳）。利き手は、視覚障害者は右利き 12 名、左利き 1 名、盲ろう者は右利き 3 名であった。触覚ディスプレイの評価は利き手の人差指により行ってもらった。参加者のこれまでの携帯電話使用歴は、視覚障害者は 6 年 11 ヶ月～13 年 10 ヶ月、盲ろう者が 0～13 年、携帯使用台数は視覚障害者が 3～7 台、盲ろう者が 0～4 台であった。触覚ディスプレイの評価を行う前に、全ての参加者について 2 点弁別閾調査と振動感覚調査を行い、皮膚感覚、振動感覚が正常であることを確認した。

**評価対象の触覚ディスプレイ**：評価対象とする触覚ディスプレイの外観を Fig.1 に示す。筐体（ $190 \times 55 \times 37$ mm）の上面の触覚ディスプレイにより、方角情報や音声情報と振動ボタンを対応させることで、それぞれの情報を触覚で呈示することができる。触覚ディスプレイは、6 行×6 列の計 32 本の触覚振動子を配置し（4 隅の振動子を除く）、指先に触覚振動刺激を呈示するものである。触覚振動子の触覚ディスプレイ表面からの高さは、通常時で約  $100 \mu\text{m}$ 、振動時で最大約  $160 \mu\text{m}$  である。また、それぞれの触覚振動子の配置間隔は、行方向、列方向ともに  $2.0\text{mm}$  である。触覚ディスプレイと携帯電話はBluetoothを介して通信を行う。

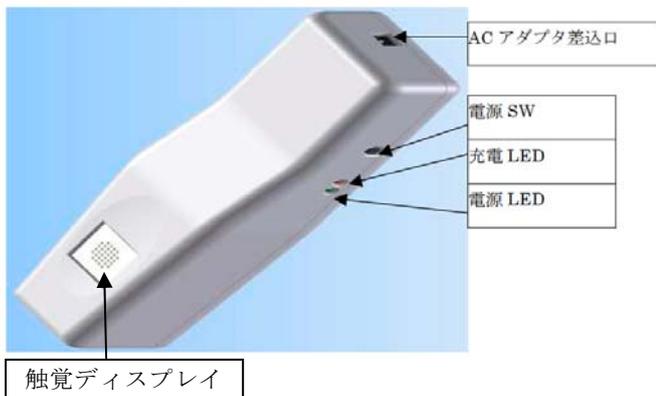


Fig.1 Overview of vibrotactile display

**触覚ディスプレイによる方角の弁別**：参加者に触覚ディスプレイおよび携帯電話（AU W62CA）を示し、触覚ディスプレイと携帯電話のコンパス機能を組み合わせることにより、方角を振動部分の動きにより呈示することを説明した。参加者には、パターン A、パターン B の 2 種類の呈示方法について評価してもらった（Fig.2）。パターン A は、触覚ディスプレイの上を北として東西南北の各方角に振動部分が動いていく呈示方法である。一方で、パターン B は、実際の北の方角に向かって振動部分が動いていく呈示方法である。いずれのパターンでも振動ディスプレイの振動回数は 1 秒間に 100 回に設定した。パターン A とパターン B の評価の順序は参加者間でカウンターバランスを取った。

参加者は、部屋の中央で椅子に座り雑音の流れるヘッドホン（視覚障害者のみ）およびアイマスク（光覚のある参加者のみ）を着用した。方向感覚をリセットするために実験者が椅子を回転させた。その後、参加者に触覚ディスプレイを渡し、利き手の人差指・第 1 関節を振動ディスプレイに載せてもらった。振動の流れにより正面の方角を判断してもらい、分かった時点でできるだけ早く口頭で東西南北のいずれかを回答してもらった。各方角（東西南北）2 試行ずつ計 8 試行をランダムな順序で繰り返した。正答率および反応時間（振動呈示が始まってから参加者が回答を始めるまでの時間）を算出した。反応時間は、各方角それぞれについて参加者毎の平均反応時間を算出し（参加者が正答した試行のみを平均）、その後、参加者全員の平均反応時間を算出した（盲ろうの参加者に関しては、通訳者を介しての回答、評価となる。厳密な意味での反応時間は算出できないため、本研究では、正答率、コメントのみの検討とした）。また、上から下、下から上、左から右、右から左の振動の流れの「区別のしやすさ」について（①区別しにくい、②どちらかという区別しにくい、③どちらともいえない、④どちらかという区別しやすい、⑤区別しやすい）、方角の呈示方法（方角と振動の流れの組み合わせ）について（①良くない、②どちらかという良くない、③どちらともいえない、④どちらかという良い、⑤良い）、それぞれ 5 件法で回答してもらった。ボタン A、ボタン B の両方の試行を終了後、どちらがわかりやすかったかを回答してもらい、その理由について聴取した。

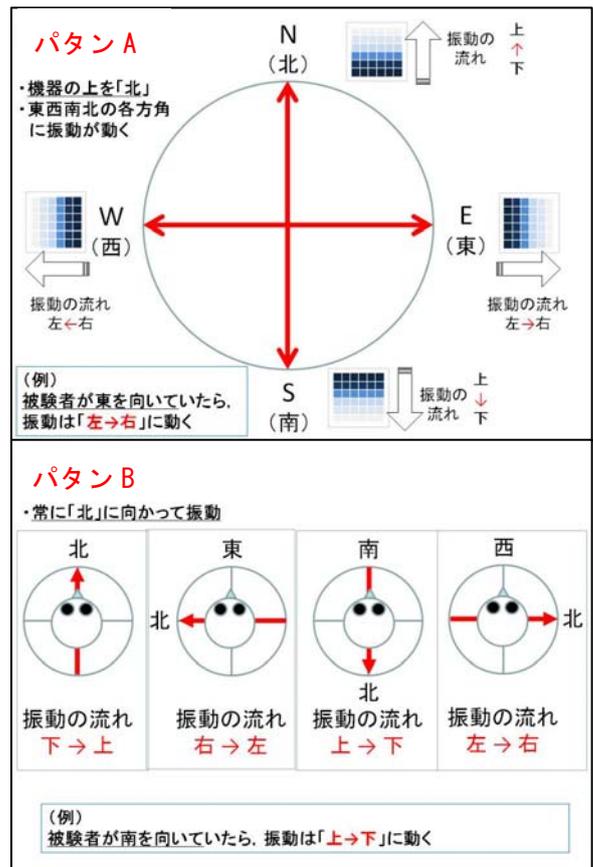


Fig.2 Tactile vibrating patterns of direction

**触覚ディスプレイによる音の周波数（高低）の弁別**：視覚障害の参加者には、まず、スピーカから呈示した高音（ $2000\text{Hz}$ の純音）と低音（ $500\text{Hz}$ の純音）を聞いてもらい、これから評価する高音、低音のイメージをつかんでもらった。

た。次に、触覚ディスプレイおよび点図による説明図 (Fig.3) を示し、高音をマイクで検出した場合は触覚ディスプレイの上2段が振動し、低音をマイクで検出した場合は下2段が振動すると説明した。練習として高低それぞれの振動を触ってもらった (振動ディスプレイの振動回数は1秒間に100回に設定)。

その後、参加者に雑音の流れるヘッドホン (視覚障害者のみ) およびアイマスク (光覚のある参加者のみ) を着用してもらい、利き手の人差し指・第1関節を振動ディスプレイに載せてもらった。高音の振動3試行、低音の振動3試行の計6試行をランダムに呈示した。参加者には、高音の振動だと判断した場合は「高い」、低音の振動だと判断した場合は「低い」、判断がつかない場合は「わからない」と回答してもらった。正答率および反応時間を算出した。また、上2段と下2段の振動の区別のしやすさについて、高い音を上2段の振動、低い音を下2段の振動で呈示する方法 (音と振動の組み合わせ) について、それぞれ5件法で評価してもらった。

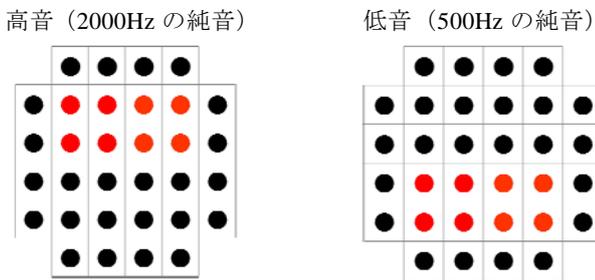


Fig.3 Tactile vibrating patterns of pitch of sound

触覚ディスプレイによる音の強さの弁別: 視覚障害の参加者には、まず、スピーカから呈示した4段階の強さのホワイトノイズを聞いてもらい、これから評価する音の強さのイメージをつかんでもらった。次に、触覚ディスプレイおよび点図による説明図 (Fig.4) を示し、マイクで強さ1の音を検出した場合は触覚ディスプレイの左1列が振動し、強さ2の音を検出した場合は2列が振動し、強さ3の音を検出した場合は3列が振動し、強さ4の音を検出した場合は4列が振動すると説明した。練習として4段階の強さそれぞれの振動を触ってもらった (振動ディスプレイの振動回数は1秒間に100回に設定)。

その後、参加者に雑音の流れるヘッドホンおよびアイマスクを着用してもらい、利き手の人差し指・第1関節を振動ディスプレイに載せてもらった。4段階の強さの振動を各2試行、計8試行をランダムに呈示した。参加者には、何段階目の強さか「1」「2」「3」「4」の数字で回答してもらった。判断がつかない場合は「わからない」と回答してもらった。正答率および反応時間を算出した。また、それぞれの振動 (1列、2列、3列、4列) の区別のしやすさについて、音の強さを4段階の振動で呈示する方法 (強さと振動の組み合わせ) について、それぞれ5件法で評価してもらった。

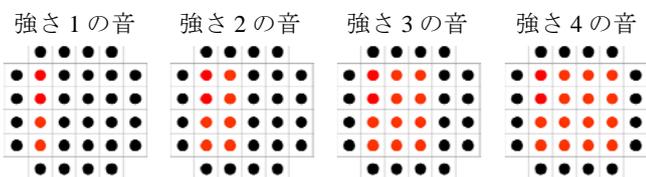


Fig.4 Tactile vibrating patterns of intensity of sound

### 3-3 結果と考察

#### 触覚ディスプレイによる方角の弁別

ボタンA (触覚ディスプレイの上を北として東西南北の各方角に振動部分が動いていく呈示方法) およびボタンB (実際の北の方角に向かって振動部分が動いていく呈示方法) による方角の弁別の平均正答率は、視覚障害者においてはボタンAでは東100%、西95.83±14.43%、南91.67±28.87%、北100%と高い正答率であった。一方で、ボタンBでは、東95.83±14.43%、西91.67±19.46%、南87.50±31.08%、北87.50±31.08%と高い値ではあるが、ボタンAの正答率と比較すると低い結果であった。盲ろう者においては、1名の参加者においてボタンA、ボタンBともに正答率100%であった (2名は練習のみ行った)。

視覚障害者の平均反応時間を Fig.5 に示す。ボタンBの東と西における反応時間が6秒以上であるが、その他では3~4秒付近である。ボタン (A,B) ×方角 (東西南北) の2要因分散分析を行ったところ、交互作用が有意であり (p<.05)、ボタンBの東および西は他と比較して統計的にも有意に反応時間が遅いことが示された。

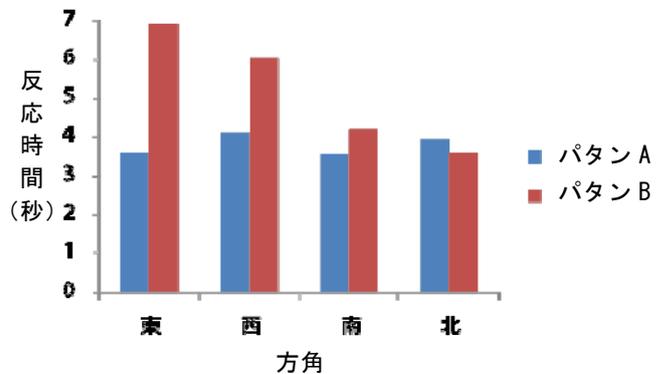


Fig.5 Reaction time for direction discrimination

方角の弁別時における振動の流れの「区別のしやすさ」については、視覚障害者では「⑤区別しやすい」83%、「④どちらかという区別しやすい」17%と高い評価であると言える。評価の理由としては「振動が動いていくのでわかりやすかった」との意見が大半であった。盲ろう者では3名とも「⑤区別しやすい」と回答した。

ボタンAの方角の呈示方法 (方角と振動の流れの組み合わせ) の評価については、視覚障害者では「⑤良い」75%、「④どちらかという良い」25%と全員が良いと感じていた。盲ろう者では3名が「⑤良い」と回答していた。一方で、ボタンBの方角の呈示方法の評価については、視覚障害者では、「⑤良い」41%、「④どちらかという良い」17%、「③どちらともいえない」25%、「②どちらかという良くない」17%とボタンAと比較すると評価が低いと言える。盲ろう者では3名とも「⑤良い」との回答であった。

ボタンAとボタンBのどちらかわかりやすかったかを回答してもらったところ、視覚障害者、盲ろう者ともに全員がボタンAの方がわかりやすいと回答した。多くの参加者が、方角をイメージするとき地図上の方角を思い浮かべるとコメントしている。視覚障害者、盲ろう者では振動ディスプレイの上を北として東西南北の各方角に振動部分が動いていくボタンAの方が、振動ディスプレイに地図上の方角を当てはめやすいために、方角の認識しやすいことが考えられる。

触覚ディスプレイによる音の周波数（高低）の弁別

高音,低音の振動それぞれの視覚障害者の平均正答率は、高音 97.22±9.62%、低音 94.44±19.25%といずれも高い正答率であった。盲ろう者では、2名の参加者において高音、低音とも100%の正答率であった(1名は練習のみ行った)。

視覚障害者における高音の振動に対する平均反応時間は1.79±1.30秒、低音の振動に対する平均反応時間は1.89±1.56秒と低音で反応時間がやや遅い結果となったが、統計的に有意な差は認められなかった。個人毎の反応時間をFig.6に示す。ほとんどの参加者が高音、低音とも1秒付近で回答をしている。

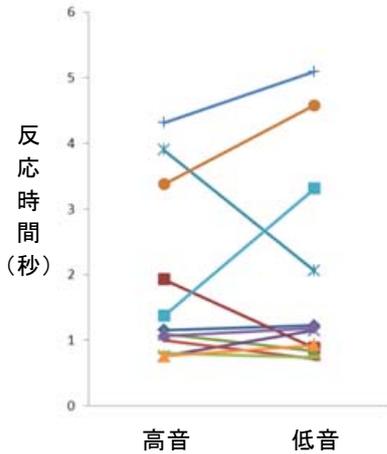


Fig.6 Reaction time for pitch discrimination

音の周波数（高低）を振動で弁別する際の上2段と下2段の振動の「区別のしやすさ」については、視覚障害者では「⑤区別しやすい」67%、「④どちらかという区別しやすい」25%と評価が高いと言える。評価の理由として「上段と下段の間隔はわかりやすい。」「左右だとわかりにくい時もあるかもしれないが、上下だと感じやすい」「指先と根元で区別しやすい」というコメントが得られている。視覚障害者は日頃より、点字などを認識する際に指先の触覚を利用している。点字は2行×3列と左右方向と比較して上下方向の情報量が多く、上下方向の触覚情報取得により慣れていることが考えられる。盲ろう者においても、「⑤区別しやすい」1名、「④どちらかという区別しやすい」1名との回答を得ている。

高い音を上2段の振動、低い音を下2段の振動で呈示する方法の評価については、視覚障害者では「⑤良い」が92%と高い評価であった。「高いと上、低いと下というイメージに合っている」とのコメントが多く得られており、周波数の高低を上下2段の振動に割り当てることで直感的な使用が可能と考えられる。盲ろう者においても、「⑤良い」1名、「④どちらかという区別しやすい」1名で、「上下がよい、すぐわかる、間違えない。左右だと逆にとってしまいそう」とのコメントであった。

触覚ディスプレイによる音の強さの弁別

強さ1~強さ4の振動それぞれの視覚障害者の平均正答率は、強さ1は87.50±22.61%、強さ2は83.33±32.57%、強さ3は62.50±37.69%、強さ4は79.17±25.75%であった。強さ3の正答率が他の強さと比較すると低かった。盲ろう者では、2名の参加者において強さ1、強さ2で正答率100%、強さ3、強さ4で50%であった(1名は練習のみ行った)。

視覚障害者における平均反応時間をFig.7に示す。強さ1の反応時間が早い一方で、強さ3の反応時間が最も遅い結果となった。

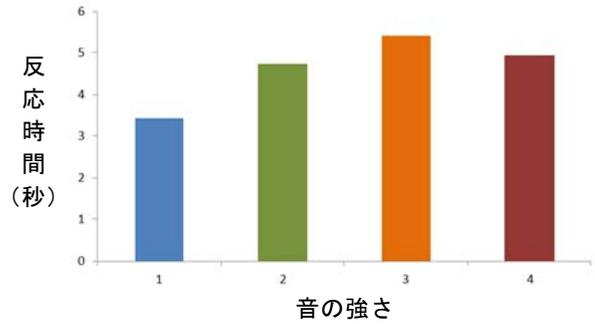


Fig.7 Reaction time for intensity discrimination

音の強さを4段階の振動で弁別する際の、それぞれの振動の「区別のしやすさ」については、視覚障害者では「④どちらかという区別しやすい」34%、「②どちらかという区別しにくい」58%、「①区別しにくい」8%と参加者の半数以上が区別しにくいと感じていた。評価理由として「1と2など隣り合っているところがわかりにくい」「1はわかる。2,3,4は細かすぎてよくわからない」などのコメントが得られた。これらの評価理由として指の縦方向(上下方向)よりも横方向(左右方向)の弁別解像度が低い可能性が考えられる。日頃使用している点字が縦方向が3点あるのに対し、横方向は2点しかないため、横方向の振動の弁別力が落ちることが考えられる。

音の強さを4段階の振動で呈示する方法の評価については、「⑤良い」50%、「④どちらかという区別しやすい」17%と半数以上の参加者が良いと感じていた。ただし、「振動の速さで変えても良い」「細かく弱くふるわせたり、細かく強くふるわせたり、長めで弱くとか、長めで強くとか」「振動のリズムの方が良い」などの振動パタンの改善に関するコメントが多く得られた。

以上の評価実験の結果から、携帯電話と連携可能な振動デバイスを利用した視覚障害者のための触覚ディスプレイの有効性と今後の検討事項を以下にまとめる。

触覚ディスプレイによる方角情報の呈示機能について

振動ディスプレイの上を北として東西南北の各方角に振動部分が動いていくパターンAが正答率、反応時間、主観評価の結果からみて、視覚障害者、盲ろう者の方角認識に適していると考えられる。パターンAを採用しつつ、呈示する方角を8方位に増やした場合、振動部分の流れを速くした場合などの方角認識について検討を加えていく必要がある。

触覚ディスプレイによる音情報の呈示機能について

マイクで検出した音を周波数の高低で分け、振動の上下2段で呈示する方法は、視覚障害者・盲ろう者において、弁別性も高く、直感的な使用が可能である。特に、盲ろう者にとっては、日常生活における注意喚起や情報取得に利用できると考えられる。一方で、音を4段階の強さに分け、1~4列の振動で呈示する方法については、振動の区別のしやすさの評価やコメントなどから考えると改良の余地がある。「音の強さを4段階の振動で呈示する方法」に対する評価は概ね良好であるので、4段階の振動リズムに割り当てるなどの検討が必要であろう。

参考文献

(1) 上田一貴, 大河内直之, 伊福部達, 視覚障害者のための触覚ジョグダイアルTAJODAによるマルチモーダル呈示法の開発と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.12, no.2, pp.123-127, 2010.