

体性感覚を用いた包囲的知覚ユーザインタフェース

木下誠子^{†1} 岡本誠^{†2} 伊藤精英^{†2}

概要: 本研究は、視覚障がい者が包囲的な空間を知覚するユーザインタフェースを研究するものであり、体性感覚を用いたことが特色である。新しい知覚ためのプロトタイプ制作による探索的な検討の結果、センサの向きの固定と身体動作と一体であることの二つが、包囲的な空間印象を伝えるために重要である可能性が示唆された。それら二つの要件を満たす UI として、左右に二つの赤外線距離センサと振動モータをそれぞれ備えた FB-tentacle の提案に至った。

キーワード: 体性感覚, 視覚障がい, 感覚代行, ユーザインタフェース

The Use Interface Enable Us to Get Ambient Information with Somatosensory

SEIKO KINOSHITA^{†1} MAKOTO OKAMOTO^{†2}
KIYOHIDE ITO^{†2}

Abstract: This research is study of the user interface which blind or visually impaired people perceive ambient information and characterized by using somatosensory sensation. As a result of exploratory investigation based on prototype for new perception, two important points were suggested. These are to fix direction of the sensor and to be combined with body motion. We have proposed FB-tentacle with two infrared distance sensors and vibration motors on the left and right as a UI meeting these two requirements.

Keywords: Somatosensory, Blind or visually impaired people, Sensory substitution, User interface

1. 背景

近年の情報技術の発展に伴い、感覚代行を行うユーザインタフェース（以下 UI）の研究が盛んになってきている。感覚代行とは、本来情報を取得すべき感覚系を他の感覚系によって代行させることである[1]。ある感覚系が得る情報の代替情報として認知できるように、いかにして別の感覚系で情報を再構成するかが、感覚代行機器の研究・開発の中で課題になっている。

動物は、環境の性質をマイクロな受容器ではなく、環境と持続して接しているマクロに構成された身体によって知覚している[2]。例えば視るシステムでは、視覚情報は光を受容する眼球によって知覚されるのではない。眼球に筋が加わることで一段階高次のシステムを構成し、さらに筋と眼球のシステムは左右に二つあり、それらがさらに動く頭部や移動する身体と結びつくことでさらに高次のシステムを構成していく。感覚代行機器研究において、こういった環境の性質を知りたいのかも未知であり、また感覚代行機器を知覚システムの中へ組み込む方法も多様に考えることができる。このため感覚代行機器研究において知覚について探索的な検討が必要であると言える。

2. 先行研究

Bech.Y.Rita は、tongue display unit を発表した[3]。tongue display unit は、カメラによって取得した視覚情報を電極ディスプレイによって舌にフィードバックするというものである。この研究では電気的な刺激の感度は、舌の方が良好であり、舌は指よりもはるかに少ない電流で実装できることに着目した。また被験者が、カメラの動きのシステムを一つ学習し、知覚できるようになれば、カメラを他の動きのシステムに切り替えても同様に知覚できると報告している。これは例えば、tongue display unit のカメラを手で持った状態で探索し、どのように知覚されるかを一度学習すると、手で持ったカメラを頭部に装着しても同様に知覚することができるということである。このように基礎的な感覚代行機器の研究は、視覚を皮膚感覚と対応づけることができるという人間の心理あるいは生理的な特性を明らかにしてきた。

視覚を皮膚感覚に置き換える以外の UI を提案する研究も行われてきている。有限会社アフエクシオンから発売されている「みるぶる」という UI は超音波距離センサによって障害物との距離を振動感覚に置換するものである[4]。また岡本ら(2011)の FutureBody finger は赤外線距離センサに

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院
Graduate School of Future University Hakodate.
^{†2} 公立はこだて未来大学

Future University Hakodate.

よって障害物との距離を指の関節覚に置換するものである [5]. これらは、狭い範囲の距離情報というプリミティブな情報を提示するには有効であった.

FB-surface は左右二つの赤外線距離センサと左右二つのサーボモータにより皮膚を振動させることで空間を知覚する UI である (図 1) [6]. この研究によって左右同時に振動させても左右それぞれの振動を感じることができ、振動の大きい方向を距離が近いと感じる傾向があるとわかった. 左右の振動の変化をそれぞれ感じることができるのであれば、複数方向の距離情報提示と能動的な動きによってより広い範囲の知覚ができるのではないかと考えられる (図 2).

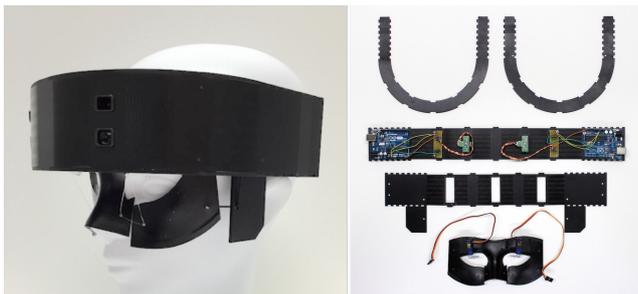


図 1 FB-surface
 Figure 1 FB-surface.

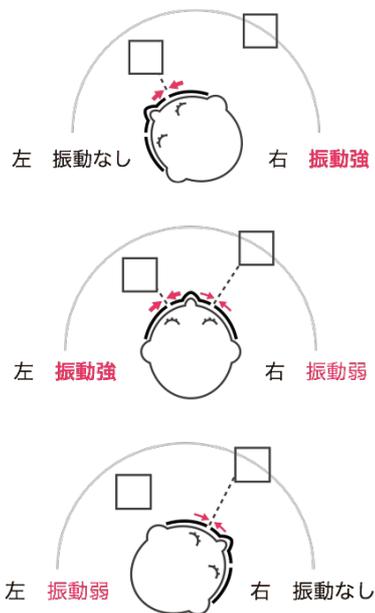


図 2 振動変化と広い範囲の知覚
 Figure 2 Vibration change and wide range perception.

基礎的な感覚代行機器の研究は、視覚を皮膚感覚と対応づけることができるといった、人間の心理あるいは生理的な側面について明らかにしてきた. 最近では、視覚を振動感覚や関節覚と対応づける UI についての研究が行われて

いる. これらの事例から体性感覚に適切な刺激を与えることができれば、距離感として対応づけることができるようになったと考えられる.

3. 研究目的

人間は、視覚においては周辺視のように、注意を向けている範囲より広く周囲のことを知覚している. FB-surface の研究では振動の大きい方向を障害物が近いと判断する傾向が見られた. その結果、左右それぞれの変化を感じることと能動的な動きによって、人間の周辺視のように、より広い範囲の知覚ができるのではないかと仮説を得た. つまり、複数の距離情報を人の知覚システムに統合することで、より広い範囲を知覚することができるのではないかと考えられる. ここではこのより広い範囲のことを包囲的な範囲ということとする. 包囲的な範囲とは、自分を中心とした球状の範囲である (図 3). 本研究では、体性感覚を用いて人間の知覚システムに複数方向の距離情報を統合し、視覚障がい者が包囲的な範囲を知覚できる UI を提案することを目指す.

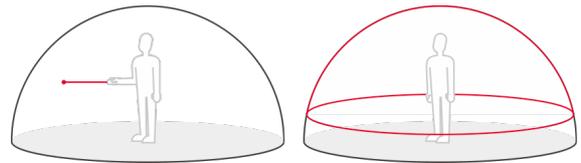


図 3 狭い範囲と包囲的な範囲
 Figure 3 Narrow range and ambient range.

4. 研究方法

4.1 体性感覚

体性感覚とは広義の触覚で、触覚の他に圧力覚や温度覚などを含む筋や腱の感覚受容器の興奮によって起こる感覚のことである [7]. 人間は体性感覚から姿勢や力の入れ加減といった身体の状態の状態を知覚しており、身体動作を考える上で重要な感覚であると言える. また、視覚障がい者は空間の情報を音から把握していることが推察される. それらの音情報を障害しないという点からも体性感覚へのフィードバックが適切なのではないかと考えられる.

4.2 探索的研究アプローチ

人間の知覚システムの中に感覚代行機器を統合する方法も多様である. そのため、身体の中のどの部位に何を伝えるとどのような効果があるのか明らかになっていない. そこで、動作プロトタイプを制作し、実際に著者をはじめとした晴眼者あるいは視覚障がい者が体感し、その体感を考察する. これによって人間の知覚について探索的に検討することが

できると考えている。

「make」「feel」「think」というプロトタイプ制作の三段階を繰り返すことによって探索的な検討を行う。「make」はプロトタイプを作る段階である。また「feel」はプロトタイプを研究者自身や視覚障がい者、晴眼者を含めた研究協力者らで、プロトタイプから生まれる感覚を体感する段階である。「think」は体感を振り返り、なぜそのような体感が得られたのか、問題点はどこかといった点を考察し、新たなプロトタイプを検討する段階である。この3段階を繰り返すことが未知の感覚について検討する上で有効な方法であると考えている。

5. 研究過程

5.1 プロトタイプ1: FB-clip

FB-clipの「make」段階

包囲空間で知りたいことを理解するために、身体のような部位に装着できるFB-clipを制作した(図4)。赤外線距離センサと振動モータによって障害物との距離が近いほど大きく振動する。



図4 FB-clip
Figure 4 FB-clip.

FB-clip 視覚障がい者の「feel」「think」段階

次に視覚障がい者がどのようにfeelおよびthinkするかを確かめるワークショップを行なった。具体的なUIがあることによって、リアルな用途や課題が明示できた。表1はfeel&thinkワークショップに協力していただいた3名の視覚障がいの方々の一覧である。FB-clipを実際に視覚障がい者に使用してもらい、日常のどんなところで利用できそうか、あるいは課題を考えてもらった。その結果が表2である。表3は利用法や課題を考えてもらった際に聞くことができた、視覚障がい者が、日常生活で困っていることや感じていることの一覧である。

表1 feel&think ワークショップ協力者

Table 1 feel&think workshop participants.

	性別	状態	症状	視界
Tさん	女性	先天盲	全盲	明暗・人の影程度はわかる
Oさん	女性	先天盲	視野狭窄	上と下が見えづらい
Fさん	女性	網膜色素変性症	夜盲 視野狭窄	腕を伸ばした中指の第一関節程度の範囲の視野

表2 インタビュー結果(知りたいこと)

Table 2 Result of interview

(what blind or visually impaired people want to know).

発言者	知りたいこと	理由
Tさん	テーブルの角	痛い
Oさん	廊下の角	ぶつかるまいと大きく回ったつもりでもぶつかる
	車止め	標識などの目印を探しているとぶつかる
	下りの段差	凸はまだ気づけるが凹は気づけないから怖い
Fさん	雪山	足が埋まって抜けられなくなる
	人	距離感がつかめずぶつかる
	実像	脳が補完してしまうために、ふたつの机がひとつに見えることがある

表3 インタビュー結果(その他)

Table 3 Result of interview(otherwise).

発言者	
Oさん Fさん	「白杖を持っている=視覚障がい者=全盲」が一般的なイメージなので白杖を持ちたがらない視覚障がい者も多い。
Oさん	市松模様の階段など、コントラストがはっきりしない段差に困る。
	電車の電光掲示板がよく見えなくて書いてあることを駅員に聞こうとすると不思議な顔をされる。 不審な顔をされるので、白杖を持って電車の中で本が読めない。
Fさん	電車が来たと思って乗ろうとしたら、電車が来ていたのは向かいのホームで、線路に落ちてしまった視覚障がい者の友人がいる。
	一人で白杖を持たずにスーパーに行くが、レジ待ちの列で人との距離感がわからずぶつかってしまうと不審な目を向けられる。

表2、表3より、視覚障がい者が知りたいこととして足元の障害物について多くあげられた。またインタビュー中にFさんの「動くときに頭が始めに動くから頭をぶつけやすい」といった発言に対し、TさんOさんも強く同意して

いた。これらのことから視覚障がい者は、包圍的空間のなかでも頭の周辺域と足の周辺域に特に関心があるのではないかと考えられる（図5）。

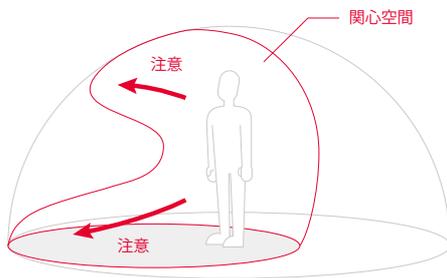


図5 関心のある範囲
 Figure 5 Range of interest.

FB-clip 晴眼者の「feel」段階

feel&think ワークショップの結果から視覚障がい者は特に頭部・脚部の障害物を知りたがっていることがわかった。それを理解するために、靴、襟、髪の毛、耳に FB-clip を装着し feel してみることにした（図6）。表4は著者自身が体感した結果である。



図6 FB-clip を襟、髪の毛、靴、耳に装着
 Figure 6 FB-clip wearing collar, hair, shoes, ear.

表4 FB-clip 「feel」結果
 Table 4 FB-clip result of “feel”.

部位	目的	振動の伝わり	結果
靴	足元を知る	○	歩くことでセンサの向きが常に変化し、どの障害物に反応しているかわかりにくい。
襟	身体の前領域を知る	△	動くとき服が歪み、センサがどこを向いているかわからなくなった。
髪	頭の周辺域を知る	○	頭の動きについてくるためセンサの向きを把握しやすかった。
耳	頭の周辺域を知る	◎	髪の毛に装着した時よりセンサが固定され、身体との一体感があった。

足元を知覚するために FB-clip を靴に装着した。歩くことでセンサの向きが常に変化し、どの障害物に反応しているのかわかりにくいことがわかった。また、身体の前領域を知覚するために、FB-clip を襟に装着した。自分が動くと服が歪みセンサの方向が変化するためセンサの向きの把握が困難になることがわかった。また、服を介して振動を皮膚に伝えるため振動を感じにくいことも問題であった。頭の周辺域を知覚するために FB-clip を髪の毛と耳に装着した。髪の毛に装着した場合も、耳に装着した場合も頭の動きについてくるため身体との一体感があった。特に耳に装着した場合は、髪の毛の場合よりもセンサが固定されセンサの向きが把握しやすいため、障害物の把握が容易であった。

FB-clip 晴眼者の「think」段階

「feel」の段階で襟に装着した場合、服の歪みでセンサの向きがわからなくなった。これは、服の歪みは体性感覚で把握しきれものではないため、人の知覚システムの一部として統合されないためだと考えられる。センサの向きが固定され、把握しやすいことと身体の動きと一体であることが人の知覚システムに統合するために重要なのではないかと考えられる。

靴に FB-clip を装着した場合、センサの向きが常に変化するため FB-clip では足元の包圍的知覚を実現するのは困難であった。頭部に装着した場合、左右のセンサが位置関係を保ったまま身体に付いて回る。一方で、足に装着した場合、左右のセンサの位置関係は変化しつづけるため、足元の包圍的知覚の実現が難しかったと考えられる。このため、足元での包圍的知覚には歩行等の身体の動作を加味して考えることが必要である。視覚障がい者の方々とのワークショップの結果から、足元の包圍的知覚による意義も見出されたが、本研究は包圍的知覚の実現を目指すものであるため、より実現可能性が高いと考えられる頭部について検討を進めることにした。

5.2 プロトタイプ2 : FB-clip ver2

FB-clip ver2 の「make」段階

FB-clip の「think」の結果、センサの向き固定と身体の動きと一体であることが包圍的知覚のために有効な可能性が見出された。しかし、FB-clip は大きく重いため、眼鏡等の身体に身につける道具に装着してみるのには困難である。センサの向き固定のため、頭とともに動き、歪むこともない眼鏡のような身につける道具に装着してみることは、包圍的知覚の新たな知見を得るために有効だと考えた。そこで FB-clip をより小型軽量化した FB-clip ver2 を制作した（図7）。

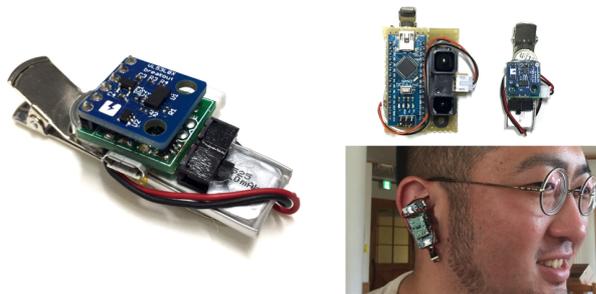


図 7 FB-clip ver 2
Figure 7 FB-clip ver2.

FB-clip ver2 の「feel」段階

センサの向きの固定方法について検討することを目的に FB-clip で包囲的知覚に有効な可能性が示唆された耳と、眼鏡のつるに FB-clip ver 2 を装着した (図 8)。

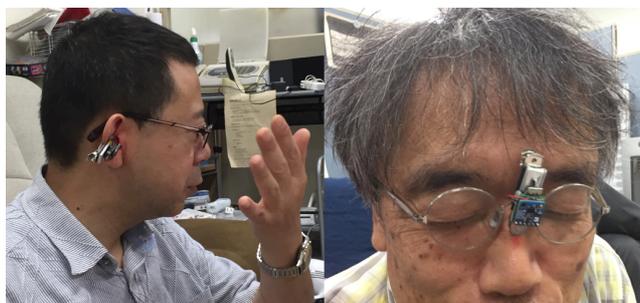


図 8 FB-clip ver 2 を耳, 眼鏡のつるに装着
Figure 8 FB-clip ver2 attached to ears, glasses vine.

耳に装着した場合, 小型軽量化した FB-clip ver 2 でもセンサの方向の把握しやすさは変わらなかったが, 小型化したため髪の毛の影響を大きく受けるという問題がわかった。一方眼鏡のつるに装着すると, 振動がくすぐったく感じられたが, 容易に障害物を知覚できることがわかった。

FB-clip ver2 の「think」段階

眼鏡のつるに FB-clip ver 2 を装着し, 振動を知覚すると振動がくすぐったく感じられた。これは頭が振動する感覚に慣れていないためだと考えられる。したがって, 使っていくうちに十分に慣れうるものであると考えている。眼鏡のつるによって容易に障害物を知覚することができたのは, FB-clip の「think」段階で得られた知見と同様に, センサの向きが把握しやすく, 眼鏡が頭部と一体となって動くためであると考えられる。眼鏡のような形で距離センサと振動モータを搭載することで, 包囲的知覚のために重要と思われるセンサの向きの固定と身体の動きと一体になっていることという要件を満たすことができるのではないかと考えられる。

5.3 プロトタイプ 3 : FB-glass

FB-glass の「make」段階

ここまでで眼鏡のような形が包囲的知覚のために有効なのではないかという知見を得ることができた。しかし, 複数の振動をフィードバックに用いるため左右の振動モータが干渉し, 左右の振動を感じにくくなる可能性があると考えた。そこで複数の振動の影響を検討することを目的に, 眼鏡のつるに振動モータと距離センサを備えた FB-glass を制作した (図 9)。



図 9 FB-glass
Figure 9 FB-glass.

FB-glass の「feel」段階

FB-glass によって左右それぞれの振動を感じる事ができた。また, 障害物に向かって頭を動かすことで, どの方向に障害物があるのかを感じ取ることができた。しかし, 振動によって眼鏡そのものがずれてくるのが問題点であった。

FB-glass の「think」段階

FB-glass は左右の振動モータが違いに干渉することなく, 左右それぞれの振動を十分に感じることができると考えられる。障害物の方向を感じ取れたことも, 頭を動かすことによる左右の振動の変化が感じられたためだと考えられる。

6. FB-tentacle

これまでのプロトタイプを考慮し, 本研究で最終的に提案するのが FB-tentacle である (図 10)。FB-tentacle は左右に二つの距離センサと振動モータを備えた UI である。



図 10 FB-tentacle
Figure 10 FB-tentacle.

7. まとめ

本研究では、複数方向の距離情報を赤外線距離センサで取得し、振動モータでユーザに伝えることで、包囲的な空間印象を知覚できる UI を提案した。結果として、頭部の包囲的知覚にはセンサの向きの固定と身体の動きと一体になっていることが重要であることが示唆された。左右二つの距離情報を振動で伝える FB-tentacle はその二つの要件を満たす UI であるため、十分に包囲的な知覚ができる可能性がある。

謝辞 本研究を進めるにあたりご指導いただいた公立ほこだて未来大学岡本誠教授、伊藤精英教授に感謝いたします。また、日常の議論の中で多くのご指摘をいただいた岡本ゼミの同期・後輩、そしてワークショップにご参加いただいた皆様に感謝します。

参考文献

- [1] 坂本和義, 清水豊, 水戸和幸, 高野倉雅人. 全体の震えと振動知覚-メカニカルバイブレーションの機能評価. 東京電機大学出版社. 2009.
- [2] 佐々木正人. アフォーダンス-新しい認知の理論. 岩波書店. 1994.
- [3] P. Bach-y-Rita and Stephen W. Kercel. "Sensory substitution and the human-machine interface," *TRENDS in Cognitive Sciences*, vol.7, no.12, pp.541-546. December 2003.
- [4] 有限会社アフェクション トップページ. <http://www.affection-j.com/index.html>. 有限会社アフェクション(2016/06/30).
- [5] Makoto Okamoto, Takanori Komatsu, Kiyohide Ito, Junichi Akita, Tetsuo Ono, *FutureBody: Design of Perception Using the Human Body*, In Proceedings of the 2nd Augmented Human International Conference (AH 2011)
- [6] 木下誠子, 岡本誠, 伊藤精英, 沢田護. 体性感覚を用いた自己包囲ユーザインタフェース. 日本デザイン学会 第 63 回春季研究発表大会, 長野大学(長野県, 上田市), 2016.
- [7] 内川恵二. 聴覚・触覚・前庭感覚, 講座 < 感覚・知覚の科学 >3. 朝倉書店. 2008.