

Half-Implant: 情報提示のための半侵襲型装置の提案

岩崎健一郎^{†1} 玉城絵美^{†2}

従来のハンドジェスチャ入力のためのフィードバックデバイスには、電源供給としてバッテリーが必要不可欠であった。そのため、装置が大きくなるか有線となり、特定の状況で短期的にしか利用できないという問題があった。本報告書では、RF(Radio Frequency)から電源供給を行うことで、バッテリーが不要となったフィードバックデバイスを提案する。また、提案デバイスを様々な状況で長期的に利用できるように、爪の上に固定できる半侵襲性を持たせた。提案デバイスに LED もしくはバイブレーションをとりつけて、その操作性について実験を行った。フィードバックデバイス装着時に任意の位置を指し示す実験では、提案デバイスを付けてない状況ではタスク成功率が 97%であったのに対して、LED もしくはバイブレーション型の提案デバイスを付けている状況では、タスク成功率は 100%であった。また、提案デバイスを付けた状態では、タスク試行時間も 12.3%短縮した。最後に、提案デバイスの社会的受容性を調査し、今後の利用例について議論した。

Half-Implant: Device for Hand Gesture Feedback

Ken Iwasaki^{†1} Emi Tamaki^{†2}

Hand gesture feedback systems using tactile or visual information can only be used in given situations because of the limitations of the device features such as the need for a battery. In this paper, we propose a half-implant device located on the fingernail. The half-implant device consists of a radio frequency (RF) receiving antenna, small electronic parts, and UV gel. The UV gel is used to glue the parts onto the user's nail and cover the parts meant to be waterproof. The device receives power from the RF antenna; therefore, it does not require a battery to function. It notifies whether the finger is in a gesture space by lighting an LED or activating a vibration motor. The primary benefit of this device is that the user can feel hand gesture feedback, anytime and anywhere. The device can be placed on the users' fingernail for approximately three weeks. To verify the devices' influence on the users' gesture task, we conducted a preliminary user study. The task success rate was 100% over the sessions with tactile and visual feedback and 97% without feedback. The experiment revealed that the tactile notification reduced the task time by 12.3% compared to that of the test with no feedback. We also investigated user's acceptability of this kind of technology. It revealed that this technology is acceptable only when it can be removed in the user's will and used in daily-life.

1. はじめに

HCI (ヒューマンコンピュータインタラクション) やユビキタスコンピューティングにおいて、多くのハンドジェスチャ入力システムが提案されている。ハンドジェスチャ入力システムは、「いつでもどこでも」使用できるよう発展してきた。一方で、フィードバック装置はバッテリーの問題などにより、「いつでもどこでも」使用することは難しかった。本報告書では、「いつでもどこでも」使用することができるフィードバック装置について議論する。ハンドジェスチャ入力のためのフィードバック装置は、タッチパネル型、室内固定型、およびウェアラブル型に分類される。以下に、これら3つの分類について説明する。

タッチパネル型: タッチパネル型デバイス[1-4] は、タッチパネルで手のジェスチャを認識することにより、音声、視覚、および触覚フィードバックを生成する。入力センサとフィードバックが同じ場所に設定されているため、ポインティングの学習をすることなく使用することができる。ユーザはタッチパネルに手を置いたときのみ、ジェスチャ入力を行うことができる。また、タッチパネ

ルに常に手を触れている必要があるため、ハンドジェスチャの種類は限られている。さらに、このタイプのデバイスは2次元上でのみ動作する。

室内固定型: 室内固定型は、スピーカやプロジェクタを使用して、ユーザに聴覚と視覚的なフィードバックを与える[5, 6]。このタイプには、触覚フィードバックを与えるデバイスは少ない。例外として、超音波を用いて触覚フィードバックを与えるものがある[7, 8]。このデバイスは、ユーザの手が空中のどこにあっても、触覚フィードバックを与えることができる。しかしながら、デバイスが与えられる力は最大 0.8 グラム重である[7]。これはユーザが他のことに集中している際に通知するには弱すぎる。

ウェアラブル型: ウェアラブル型デバイスは、フィードバックの種類に応じて様々なものが提案されている。本節では、ハンドジェスチャ入力のフィードバックに焦点を当てて議論する。視覚的なフィードバックについては、Google glass [9]のようなHMD(ヘッドマウントディスプレイ)装置とAiRScouter [10]が存在する。HMD装置は小型軽量になり、眼鏡のように装着できる。しかしながら、HMD装置はユーザの安全のため、就寝時や入浴時など、いくつかの状況においては取り外す必要がある。小型のプロジェクタもまた、ウェアラブルなフィードバ

^{†1} H2L 株式会社
H2L, Inc.

^{†2} 早稲田大学
Waseda University

ック装置として使用することができる。Sixth Sense [11] と BrainyHand [12]は、ユーザのハンドジェスチャを検出するための小型カメラとバッテリーを備えており、プロジェクタで視覚的なフィードバックを与えることができるシステムである。これらのデバイスは、ユーザの頭や首に装着して使用する。これらのシステムは、ユーザの日常のジェスチャを妨げることなく、視覚的フィードバックをユーザの手に投影することができる。ユーザはどこにいても、ハンドジェスチャ入力を行うことができる。これらのシステムは常にユーザの手の動きを検出するため、日常のハンドジェスチャと入力用のハンドジェスチャを混合することがないように、システム起動のためのコマンドやスイッチが必要となる。また、どちらのシステムもユーザが携帯することができるように、バッテリーを必要とする。これらの理由から、日常の使用における迅速なハンドジェスチャ入力には不向きである。

音声フィードバックについては、一般消費者向けの Bluetooth イヤホン[13]が使用可能である。しかし、イヤホンは HMD 装置と同じ理由で、いくつかの状況では取り外す必要がある。

触覚フィードバックのために、Master Slave[14]と TELESAR[15]が提案されている。これらのデバイスは、グローブ型デバイスを使用することにより、ユーザに触覚フィードバックを与えることができる。Master Slave と TELESAR は、ユーザがロボットハンドを制御することができる。ロボットハンドの感覚と同期して、触覚が提示される。一方で、これらのデバイスはユーザの手を覆って自由な動作を阻害してしまうため、日常的に使用するのには難しい。ユーザの手を覆わないものとしては、PossessedHand[16]がある。PossessedHand は、非侵襲的な EMS（電氣的筋肉刺激）を前腕に与えることにより、ユーザの指関節の動きを制御する。皮膚及び筋肉の健康を維持するために、PossessedHand は使用できる時間が限られている。

その他: Ubi-Finger [17]とインプラント型 UI [18]は、デバイスそのものがフィードバックを返す。Ubi-Finger は、ユビキタス環境で指のジェスチャを入力するために設計されている。このデバイスは、ユーザが指差すことによってターゲットとなるデバイスを選択し、操作することができる。どちらもユーザの指を覆ってしまい、ユーザの日常動作を妨げてしまう。

爪の先に装着するタイプのフィードバックデバイスも複数 [19, 20, 21] 提案されている。これらの研究では、フィードバックデバイスは、ユーザの指の爪に設定され、ユーザの指を覆わない。しかしながら、これらの装置は電源供給のため、電線に接続されている。

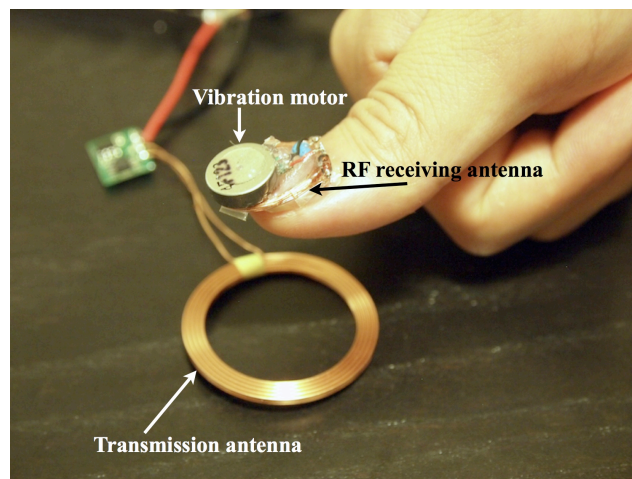


図 1. 半侵襲型装置のプロトタイプ

2. 目標

上述のように、ハンドジェスチャ認識が開始されたことをフィードバックするシステムは多数提案されている。しかし、「いつでもどこでも」使用するためには、以下の5つの基準を満たす必要がある。1)ワイヤレス、小型軽量、かつ安全であること。2)暗い場所でも明るい場所でも使用可能であること。3)手を覆わないこと。4)静かに動作すること。5)電池なしで動作する（あるいは軽量かつ急速充電可能なバッテリーで動作する）

我々の目標は、上記の基準を満たしているフィードバック装置を提案することである。「いつでもどこでも」使用するためには、24時間以上、使用者の身体にデバイスを装着することができる必要がある。また、どこでも使用するために、防水である必要がある。

3. 半侵襲型装置

3.1 概要

本報告書では、半侵襲型装置を提案する。我々は、ユーザの指の爪に装着する装置を試作した。図1に、プロトタイプを示す。

このデバイスの最大の利点は、「いつでもどこでも」使用できることである。デバイスはワイヤレスかつ防水であり、3週間以上装着し続けることができる。

この装置は、振動モータ（またはLED）、RFアンテナ、コンデンサ、整流ダイオード、およびUVジェルで構成されている。電力と振動（または発光）パターンは、電磁誘導により供給される。

UVジェルをユーザの爪の上に塗布し、デバイスを爪の上に装着する。デバイス全体を覆うようにUVジェルを上塗りすることで、防水性を備えるようになる。爪の表面をヤスリで削って荒くした後、UVジェルを塗布する。デバイスはその後、ユーザの爪にしっかりと固定される（図2）。デバイスをユーザの爪に装着する手順を図3に示す。

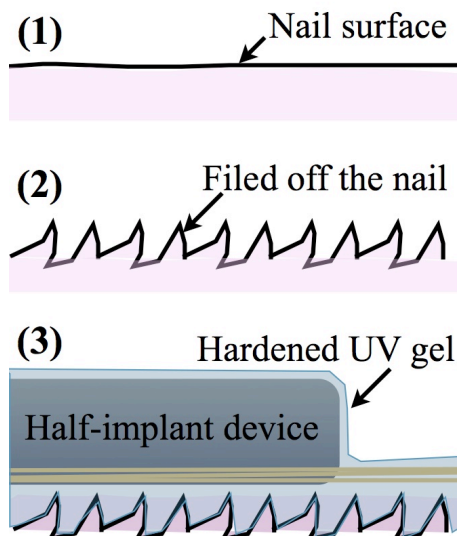


図 2. 半侵襲型装置の装着の概念図

UV ジェルは UV 光を照射することにより硬化する。今回は“UV GEL FSM Clear”を使用した。このジェルはネイルアート用に市販されているものである。デバイスを装着するのに必要な時間は約 20 分である。装着後はユーザの爪が伸びるまで 3 週間程度、装着したままであることが可能である。我々は研究のため、この半侵襲型装置を 5 週間装着した。

電力は RF 受信用の小型コイルアンテナから供給される。コイルのインダクタンスは、電磁結合のために 17.0 から 18.0 μH に設定した。錫めっき線は直径 0.2mm のものを使用した。コイルの内径は 15.0 mm、外径は 18.0mm である

(図 4). 電源供給には、SeedStudio の無線充電モジュール (POW01141B) を使用した。提案装置は、送信アンテナからの交流を受信する。

本報告書では、触覚フィードバック型と視覚フィードバックを試作した。

3.2 触覚フィードバック型

触覚フィードバック型は、振動モータを使用する。使用した T.P.C.社製の振動モータ (FM34F) は直流電力で動作するように設計されているため、提案デバイスの回路に整流ダイオード (40V, 600mA) とコンデンサ (0.1 μF) を使用して直流化した。振動モータには、本回路を介して 2.5V から 3V, 50 から 90mA が供給される (図 5)。

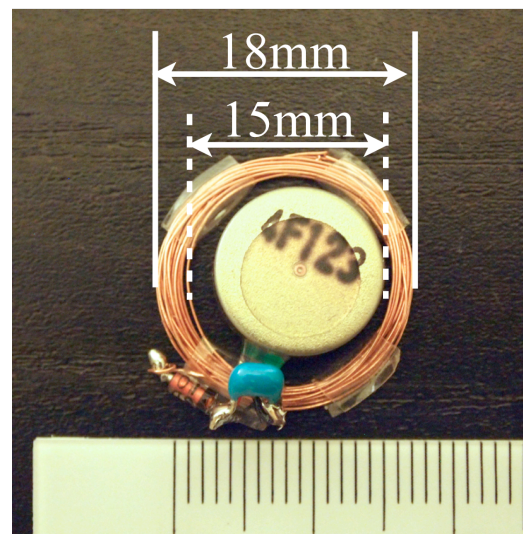


図 4. 触覚フィードバック型装置

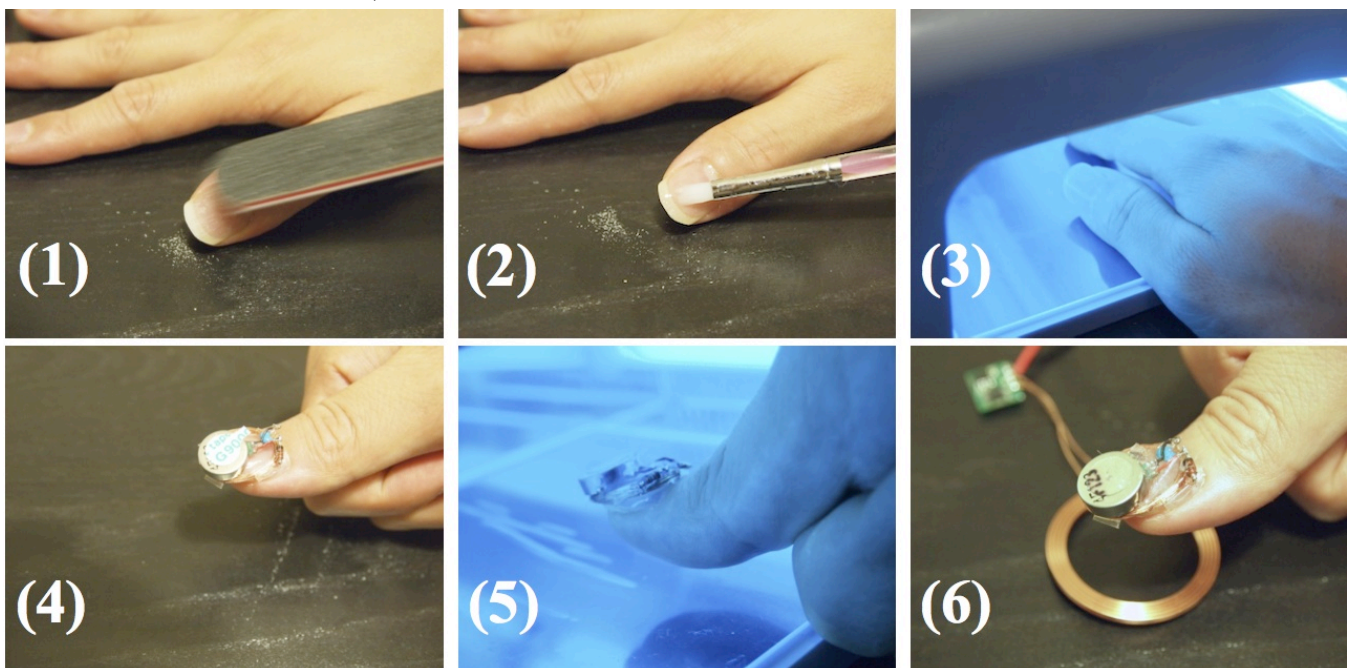


図 3. 半侵襲型装置の装着の様子. (1) 爪の表面をやすりで削る. (2) ベースとして、爪表面に UV ジェルを塗布する. (3) UV 光により、UV ジェルを硬化させる. (4) 半侵襲型装置をベースの上に装着する. (5) 防水のためさらに UV ジェルを塗布し、UV 光で硬化させる. (6) 完成図

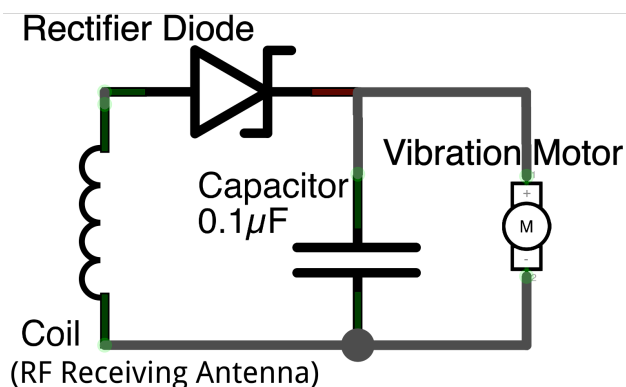


図 5. 触覚フィードバック型の回路図

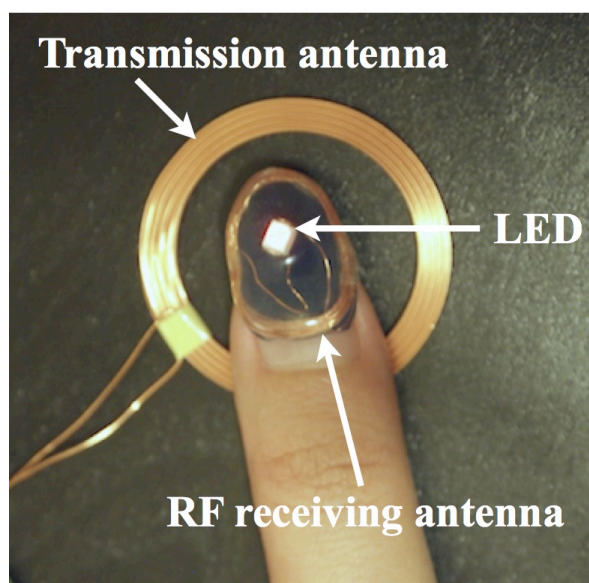


図 6. 視覚フィードバック型装置

3.3 視覚フィードバック型

視覚フィードバック型 (図 6) は、RF アンテナと LED で構成されている。LED は SIEMENS 社の LST676-R を使用した。

4. 実験 1: 精度とスピード

4.1 実験の目的

本節では、提案装置の使い勝手を検証する。この実験の目的は、情報入力のための場所を見つけるのに最適なフィードバックの種類を決定することである。調査項目は速度と正確さである。実験には、我々の目的 (2 節参照) の要件を満たす触覚フィードバック型装置 (振動モータ) と視覚フィードバック型装置 (LED) を使用した。また参照実験として、フィードバック無しの場合 (小型コイルのみ) と触覚フィードバック型、視覚フィードバック型とを比較した。

Task Success Rate

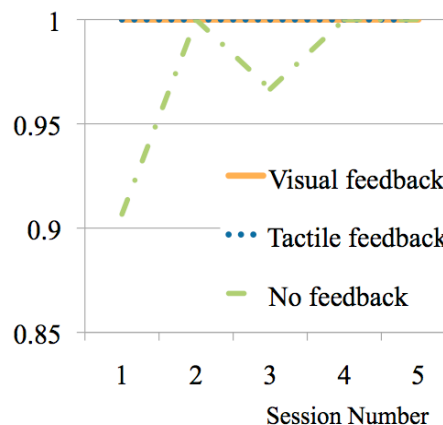


図 7. 視覚、触覚、フィードバック無し条件での精度の結果。フィードバックありではタスク成功率は 100% である。

4.2 仮説

ユーザへの触覚的、視覚的なフィードバックは、迅速かつ正確に情報入力の場所を見つけるのに役立つと仮定した。また情報入力の際にも、触覚的、視覚的なフィードバックは、フィードバック無しの場合よりも効果的になると仮定した。

4.3 装置

半侵襲型装置の 2 つのタイプ (触覚フィードバック型および視覚フィードバック型) を使用した。

実験スペース (24.0cm×27.0cm) を机の上に設置し、送信アンテナ (ジェスチャスペース) をカバーの下に隠すようにした。アンテナの電磁結合による電流の変化から、参加者がジェスチャスペースを正しく指し示したかどうかを検出した。

4.4 実験参加者

20~40 歳までの年齢の範囲の 4 人のボランティア (男性 2 名、女性 2 名、平均 (M) = 32、標準偏差 (SD) = 5.4) が実験に参加した。すべての参加者は右利きであり、右手人差し指に提案装置を装着した。

4.5 実験手順

まず、実験者は被験者に実験スペース (24.0cm×27.0cm) に置かれたアンテナ (ジェスチャスペース、2.0cm×2.0cm) を指差して見せた。その後実験スペース全体に無地のカバーをかけ、被験者はジェスチャスペースのおおよその位置を記憶する必要があるようにした。

次に被験者は、固定された開始位置に手を置き、ジェスチャスペースに指を指し示すように指示される。その後、開始位置に手を戻す。彼らは 10 回、可能な限り迅速に本ジェスチャの試行を繰り返した。被験者はこの 10 回の動作を 5 セッション繰り返した。各セッションの開始前に、実験者は無作為に、アンテナの位置を変更した。5 セッションは触覚フィードバック、視覚フィードバック、フィードバ

ク無しの各条件について測定した。

各条件を合わせると、各被験者は 150 試行を行っている。この実験では、精度と速度を評価した。結果を以下の節で述べる。

4.6 結果 1：精度

この実験のタスクの成功率を図 7 に示した。触覚フィードバックおよび視覚フィードバックの場合、タスク成功率はすべてのセッションにわたって 100% である。タスク成功率はフィードバック無しの条件では 97 パーセントに低下した。

4.7 結果 2：スピード

3 条件の 1 タスクの平均時間を図 8 に示す。平均時間はフィードバック無し条件で 21.0 秒、視覚フィードバック条件で 21.23 秒、触覚フィードバック条件で 18.3 秒であった。また分散については、フィードバック無し条件で 0.58、視覚フィードバック条件で 1.83、触覚フィードバック条件で 0.88 であった。

5. 実験 2: ユーザの受容性

5.1 実験の目的

我々の次の関心は、この提案装置に対するユーザの受容性である。提案装置は、ユーザの指の爪に約 3 週間装着したままにできる。ユーザがデバイスを取り外したい場合は、ネイルポリッシュリムーバーを用いて除去することができる。提案装置はユーザの爪の上にインプラントされているが、ユーザの意思によって取り外すことができる。よって、我々は当技術を半侵襲 (Half-Implant) 型デバイスと名付けた。これは、ウェアラブル型のデバイスとインプラント型のデバイスとの間に新たに分類することが可能である。新しい分類のため、この技術の社会的受容性について調査する必要がある。

本稿では、ウェアラブル型デバイス、半侵襲型デバイス、およびインプラント型デバイスのそれぞれの技術について、ユーザの受容性を調査した。

5.2 実験参加者

インターネットを用いて被験者を募集し、47 名のボランティア (20 歳～50 歳、平均 (M) = 25.2、標準偏差 (SD) = 10.3) に参加いただいた。

5.3 実験手順

参加者には、Web 上でアンケートに答えていただいた。アンケートは、自分の年齢についての質問、ウェアラブル型、半侵襲型、およびインプラント型のそれぞれの受容性についての多項選択型の質問と、自由記述形式のコメント欄で構成されている。アンケートは匿名にて回答できるようになっている。

多項選択型の質問については、ユーザのデバイスの好みについて、ウェアラブル型、半侵襲型、およびインプラント型デバイスのそれぞれの特徴が出るように設計した。質問

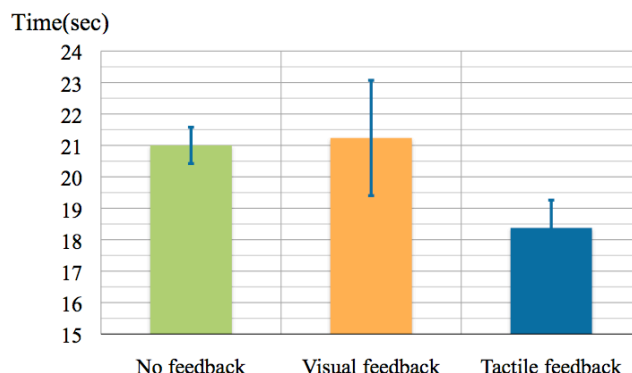


図 8. フィードバック無し、視覚、触覚フィードバックの各条件での速度の結果。

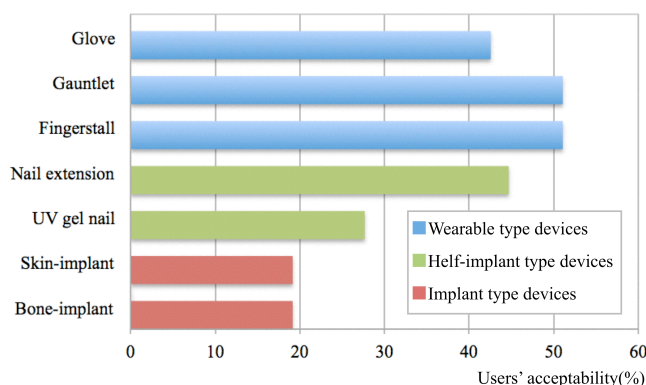


図 9. 各カテゴリのユーザの受容性。グラフは上から、グローブ型、ガントレット型、指サック型、つけ爪型、UV ジェルネイル型、皮膚インプラント型、骨インプラント型の 7 カテゴリの受容性を示す。

は、デバイスの覆う領域 (「指先のみ」から「手全体」まで) とデバイスを装着する期間 (「使用時のみ着用」から、「終生着用」まで) について、7 カテゴリを設定した。実験参加者は、彼らが好むカテゴリをいくつでも選択することができる。設定したカテゴリを以下に示す。1) 手全体をカバー、使用時のみ着用 (グローブ型)。2) 手の甲をカバー、使用時のみ着用 (ガントレット型)。3) 指をカバー、使用時のみ着用 (指サック型)。4) 指先をカバー、1 日着用 (つけ爪型)。5) 指先をカバー、3 週間から 5 週間着用 (UV ジェルネイル型)。6) 皮膚の下にインプラントされるデバイス、5 年から 30 年着用 (皮膚インプラント型) 7) 骨にインプラントするデバイス、終生着用 (骨インプラント型)。

5.4 結果

図 9 にアンケート結果を示す。明らかに、ウェアラブル型デバイスは、実験参加者に人気である。ウェアラブル型デバイスを好む人は、各カテゴリで 40% 以上だった。中でも、ガントレット型と指サック型は、参加者の 50% 以上が好ましいと回答した。半侵襲型はカテゴリによって異なる結果となった。一日だけ装着できるつけ爪型は、UV ジェルネイル型よりも好ましいという回答が多かった。

表 1. デバイスの装着面積と時間に関するコメント

参加者	コメント
A	画像処理を使って、手に何も装着しないのが望ましい。しかし、触覚フィードバックが可能であれば、爪型デバイスを装着したいと思う。
B	手を覆う領域が大きくなればなるほど、使用したいとは思わなくなる。十分に軽量であれば、爪に装着するタイプのデバイスを使ってみたい。
C	マウスのようにコンピュータを操作できるならば、長い間このようなデバイスを装着する価値はあると思う。
D	個人情報を与えるときには、インプラント型の装置が有用で適切だと思う。
E	プライバシー情報の漏洩が心配なので、使用していないときには明示的にデバイスを外しておきたい。そのため、私はつけ爪型を好む。
F	何に使用するかが鍵になると思う。数時間仕事に集中したい時は、グローブ型を選択すると思います。日常生活で使用したい時は、爪のタイプを好む。皮膚の下にインプラントしたいとは思わない。

つけ爪型は、グローブ型デバイスと同等 40%程度の人気があった。一方、インプラント型はいずれのカテゴリも「好ましい」と回答した人は 20%以下であった。

5.5 コメント

自由記述形式のコメント欄に記載されたコメントのうち、代表的なものを表 1 に示す。

6. 議論

実験 1 より、精度向上のためには、視覚または触覚フィードバックは、ジェスチャスペースを発見するために有効である。速度向上のためには、視覚的なフィードバックは効果的でない。しかし、触覚フィードバックは、フィードバック無しの条件と比較すると 12.3%、タスク作業時間を削減することができた。以上より、特に迅速な入力のためには、触覚フィードバックが適している。

実験 2 より、この種の技術に対するユーザの受容性も検討した。結果として、ユーザの意思で取り外し可能であり、日常生活で使用できる場合にのみ、この種の技術が許容可能であることが明らかになった。ユーザの受容性としては、UV ジェルネイル型の半侵襲型装置は、30%未満の受容性である。一方で、つけ爪型の半侵襲型装置は、ユーザの 45% に受け入れられている。これはグローブ型デバイスと同程度の受容性である。

7. 今後の利用例

7.1 本章の概要

この章では、半侵襲型装置によって実現するアプリケーションを列挙し、今後の利用例として議論する。

また、7.4 節では 6 章での調査結果をふまえた付け爪について議論する。

7.2 応用例 1 : 屋内での利用

まず、半侵襲型装置と屋内に取り付けられたハンドジェスチャ入力システムと連携して、TV、オーディオシステムや空調機などの家電製品のコントローラとして用いる例を挙げる。半侵襲型装置は、バッテリーや嵩張る回路を持たないため、従来のコントローラ用の装置を持つこと無く屋内の家電製品を操作するアプリケーションが構築できる。また、半侵襲型装置は爪に固定した際に防水処理されるため、シャワー室又は浴槽内での利用も考えられる。

一方で、RF アンテナは指向性を持つ。屋内の広い生活空間で 3 次元方向から電力供給するためには、大掛かりな多方向送信アンテナ (図 10) を室内の壁に設置する必要が出てくる。そのため、3 次元方向からの電力供給は、屋内の広い生活空間での利用には向かないと考えられる。

2 次元方向からの電源供給による半侵襲型装置を屋内の広い生活空間で利用するためには、電源を供給する RF アンテナにパンチルトや磁場範囲の調整機能を追加する等の対応が必要となり、この対応については今後の課題と言える。

7.3 応用例 2 : 屋外の公共空間内の装置への利用

次に、屋外の公共空間内の装置、例えば信号機、エレベータや自販機等を半侵襲型装置で利用する例を挙げる。

半侵襲型装置は、一つの電気供給用の RF アンテナから視覚や触覚といった複数のフィードバックを与えられるため、ユーザに適したフィードバックをユーザ自身が選べるという利点がある。つまり、公共空間内の装置からの情報を健常者だけでなく視覚障がい者や聴覚障がい者に適した情報で与えられる。

例えば、現在の道路横断に関する情報は、信号機上部に設置された青、黄と赤のランプによる色情報や、信号機に設置されたスピーカによる音の種類で提示されている。

半侵襲型装置を信号機と組み合わせることにより、近視のユーザには爪先の視覚フィードバックで情報を与え、視覚障害者や聴覚障害者には触覚フィードバックで情報を与え、より明確に情報を提示できると考えられる。

また、半侵襲型装置は電源取得部分がコイルであるため、コストの面で他のウェアラブルデバイスよりも普及しやすいと考えられ、公共空間内の装置との組み合わせが今後期待される。

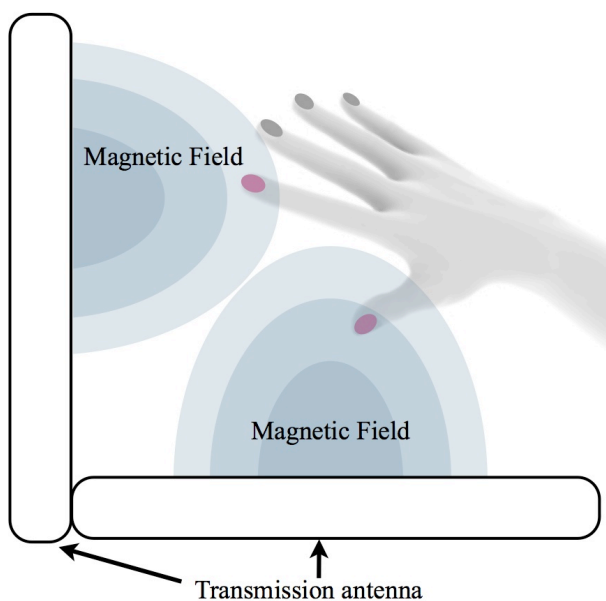


図 10. 3D 触覚フィードバックシステムの概念図

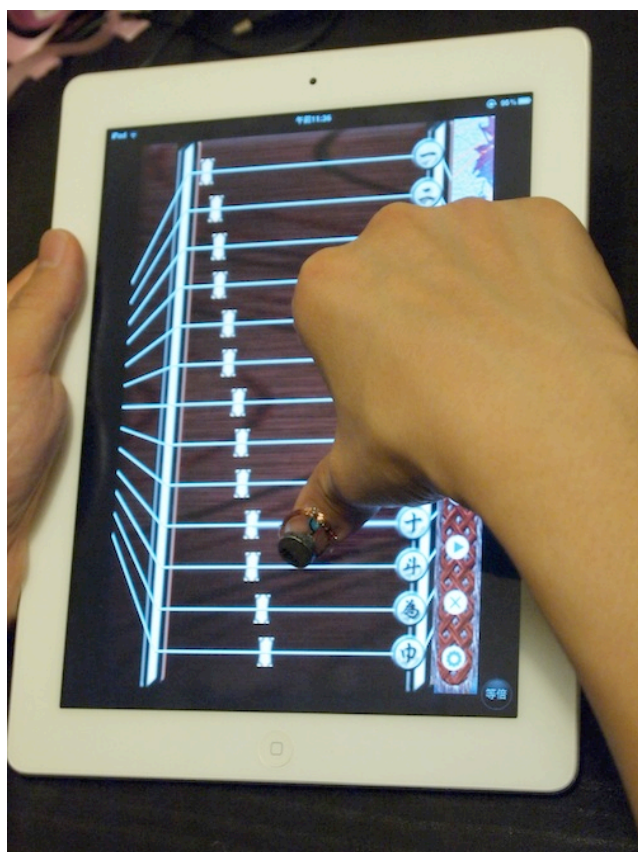


図 11. タッチパネル装置と組み合わせた応用例

7.4 応用例 3 : タッチパネル装置との利用

最後に、タッチパネル装置と半侵襲型装置を組み合わせる例を挙げる。電源を供給する RF アンテナをタッチパネルディスプレイの背面に複数設置し、半侵襲型装置でフィードバックを与えると想定する。

タッチパネル装置との組み合わせ利用のイメージを図 11



図 12. つけ爪型装置

に示す。従来のバイブレーションや微弱な電気刺激といったタッチパネルの触覚フィードバックと比較すると、各指に異なる触覚フィードバックを与えることが出来るため、マルチタッチ用のタッチパネルに適したより豊かな種類の触覚フィードバックが与えられると考えられる。

7.5 つけ爪型装置

第 6 章での調査結果で、つけ爪は従来のウェアラブルデバイスと同等にユーザから受容されていることがわかった。そこで、半侵襲型装置をつけ爪型装置にしたプロトタイプを作製した(図 12)。

つけ爪装置は、つけ爪と同様に強力接着テープや接着剤で爪の上に固定する装置であり、1日~2日ほど固定することができる。半侵襲型装置と利用方法は同じであるが、つけ爪装置は取り外しに数分しかかからないという利点がある一方、固定時間が短くなるという欠点もある。今後、つけ爪装置と半侵襲型装置との比較実験や利用別に検証する必要がある。

謝辞 実験に協力いただいた全ての参加者に、謹んで感謝の意を表する

参考文献

- 1) J. Rekimoto, "SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces", ACM, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 8(2002), pp. 113-120.
- 2) Han Y. Jefferson, "Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection", ACM, Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology(2005), pp.115-118.
- 3) iPad, Apple, Inc, <http://www.apple.com/ipad/> (2010).
- 4) Microsoft PixelSense and Microsoft Surface, Microsoft Corporation, <http://www.microsoft.com/en-us/pixelsense/> (2007).
- 5) H. Kajimoto, "Skeletouch: transparent electro-tactile display for mobile surfaces", ACM, SIGGRAPH Asia 2012 Emerging Technologies(2012), pp. 21:1-21:3.
- 6) M. Sato, I. Poupyrev, and C. Harrison, "Touché: Enhancing Touch Interaction on Humans, Screens, Liquids, and Everyday Objects", ACM,

- Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 10, pp. 483-492(2012).
- 7) G-Speak, oblong industries, inc, <http://www.oblong.com/g-speak/> (2005).
- 8) Gallo, L. Placitelli, A.P. and Ciampi, M, "Controller-free exploration of medical image data: Experiencing the Kinect ", IEEE, Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2011 24th International Symposium on(2011), pp. 1-6.
- 9) R. Xiao, C. Harrison and Scott E. Hudson, "WorldKit: rapid and easy creation of ad-hoc interactive applications on everyday surfaces", ACM, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems(2013), pp. 879-888.
- 10) T.Iwamoto, M.Tatezono and H. Shinoda, "Non-Contact Method for Producing Tactile Sensation Using Airborne Ultrasound", Proc. EuroHaptics 2008, LNCS 5024(2008), pp. 504-513.
- 11) Google Glass, Project Glass, Google.Inc., <http://www.google.com/glass/start/> (2012).
- 12) AiRScouter, Brother Industries, Ltd., <http://www.brother.co.jp/product/hmd/wd100ga/index.htm> (2008).
- 13) P. Mistry, P. Maes and L. Chang, "WUW - Wear Ur World - A Wearable Gestural Interface", ACM, In the CHI '09 extended abstracts on Human factors in computing systems, No. 6(2009), pp.4111-4116.
- 14) E.Tamaki, T.Miyaki and J.Rekimoto, "Brainy hand: an ear-worn hand gesture interaction device", ACM, In the CHI '09 extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, No. 6(2009), pp. 4255-4260.
- 15) E.Tamaki, T.Miyaki and J.Rekimoto "BrainyHand: a wearable computing device without HMD and it's interaction techniques", Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces, No. 2(2010), pp. 387-388.
- 16) Bluetooth Wireless headphone BackBeat 903+, Plantronics.Inc., <http://www.plantronics.com/us/product/backbeat-903-plus> (2010).
- 17) K. Sato, K. Minamizawa, N.Kawakami and S.Tachi, MasterSlave in "Haptic Telexistence", ACM, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, SIGGRAPH2007 Emerging Technologies(2007).
- 18) C. L. Fernando, M. Furukawa, T. Kurogi, K. Hirota, S. Kamuro and K. Sato, K. Minamizawa and S. Tachi, "TELESAR V: TELEXistence surrogate anthropomorphic robot", ACM, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, SIGGRAPH2012 Emerging Technologies(2012), pp. 23:1.
- 19) E.Tamaki, T.Miyaki and J.Rekimoto "PossessedHand: techniques for controlling human hands using electrical muscles stimuli", Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No. 10(2011), pp.543-552.
- 20) K. Tsukada and M. Yasumura, "Ubi-Finger: Gesture Input Device for Mobile Use", Companion Proceedings of Ubicomp'2001, Technical Report: GIT-GVU-TR-01-7(2001).
- 21) K. Tsukada and M. Yasumura "Ubi-Finger: a Simple Gesture Input Device for Mobile and Ubiquitous Environment", journal of Asian Information, Science and Life(AISL),Vol.2, No.2, Nova Science Inc. (2004), pp. 111-120.
- 22) M. Ando, M. Inami, "SmartFinger: "Nail-Mounted Tactile Display" ", Emerging Technologies SIGGRAPH (2002).
- 23) H. Ando, E. Kusachi and J. Watanabe, "Nail-mounted tactile display for boundary/texture augmentation", ACM, Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology(2007), pp. 292-293.
- 24) J. Rekimoto, "SenseableRays: opto-haptic substitution for touch-enhanced interactive spaces", ACM, CHI '09 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems(2009), pp. 2519-2528.