

## (4) 常時装用インタフェース技術 - 思考支援を目指して -

「ウェアラブル」に必要なのは小さなコンピュータではない。身に着けたまま日常生活を送れ、必要なときにはすぐに使える(=常時装用)インタフェース機構が本質といえる。

常時装用を前提に考案された各種インタフェース・デバイスについて、実現例を交えて紹介する。

ふくもと まさあき すぎむら としあき  
福本 雅朗 杉村 利明

### 1. 「脳力強化装置」としてのコンピュータ

コンピュータ(電子「計算」機)は、もともと計算を行うための機械として考案されたが、今や人間同士はもちろんのこと、人間と「情報」の世界を継ぐためにも必要不可欠な存在となった。メールやWebを通じて世界中の人々に対話でき、ネットワーク上の無限ともいえる知識を得ることができるコンピュータは、いわば人間の知識やコミュニケーション能力を強化する機械(=「脳力強化装置」)であるといえるだろう。

「脳力強化装置」としてコンピュータを見た場合、限られた場所や時間だけではなく、日常生活のあらゆる場面で使いたいと思うのは当然の流れである。当初は困難と思われたこの課題も、一般家庭へのパソコンの浸透や、小型のコンピュータともいえるネット接続型携帯電話の普及によって解決されつつある。もはや日常生活の中で情報アクセスが困難なのは就寝中ぐらいであろう。未来の情報社会の姿として、古くからいわれてきた「いつでも・どこでも」という言葉は、今日ではほぼ達成されたといっても良い。

しかし、自分自身の記憶や思考と同じレベルで「情報」を扱えるようにするためには、欲しいと思ったとき「すぐ

に」情報が得られること(即時性)が重要である。例えば、ウェアラブル・コンピュータの研究者である Thad Starner 博士は、「2秒ルール」を提唱している。欲しいと思っても2秒以内に結果が得られなければ、機会を逸してしまうことが多く、日常生活での思考支援には使えない。従来の携帯機器は、その名が示す通り「持ち運ぶ」ものであった。しかし、いかに機器が小型で高性能になると、ポケットや鞆に入れておいたのでは、使おうと思ったときにすぐ使い始めることはできない(まず始めに、機器を「取り出す」動作が必要になる)。これを解決する1つの方法が、機器を「身に着けて」生活することである。しばしば「携帯」の進化系としていわれる「ウェアラブル(装着)」は、小型化による運搬性の向上だけではなく、即時性の確保という重要な要素も持っている。

従来のウェアラブル研究は、「身に着けられるコンピュータ(処理装置)を作る」ことに主眼が置かれていた。しかし、ネットワークへの常時接続が普及した世界を考えた場合、コンピュータ(情報処理機構)を個々の身体に装着する必要性が薄れてくる。計算や記憶は、強大な処理能力を持ち、大きさや電力消費への制約が少ないネットワーク側に持たせれば良いと考えられるからである。この場合、「身に着ける」ことが最後まで求められるのは、人間の意図をネットワークに伝え、得られた情報を人間に提示する「インタフェース」部分だけになる。その意味では、「ウェアラブル」の本質は、「身に着けられるコンピュータ」ではなく、「身に着けて使えるインタフェース機構」にあると考えられる。しかし従来は、ボタンやディスプレイなどの既存の装置を単に小さくしただけにとどまっていた。

CPU(Central Processing Unit)やメモリなどの処理機構は、小型化しても操作性が悪化することは少ない。しかし人間と直接触れ合うインタフェース機構では、むやみな小型化は操作性の悪化を招いてしまう(例えば、腕時計型の

電卓などに用いられている微小なボタンでは、快適な入力操作は難しい。デスクトップ（机上）での使用を前提に考案されてきた従来のインタフェース機構を小型化するアプローチでは、操作性と装着性の両立は困難であると考えられる。「脳力強化装置」のように常時装着を求められる機器には、装着使用を前提に新たなインタフェース機構を考案する必要があると考えられる。

以下の条件を満たすようなインタフェース機構を「常時装着用インタフェース」と名づけ、研究開発を行っている。常時装着とは、「ウェアラブル（＝身に着けることが可能）」ではなく、「常に身に付けて使える」という意味である。

携帯性...常時装着しても日常生活を妨げない。

操作性...操作者の思考の流れを妨げずに迅速な入力が可能。

即時性...使おうと思ったときに、即座に使用が可能。

以下に、常時装着に適した各種インタフェース機構と、いくつかの実現例について述べる。

## 2. 常時装着用インタフェース

表1に常時装着可能なインタフェースの例を示す。

以下に、文字・音声・画像などの各種の入出力メディアごとに、常時装着を可能とするための実装手法の考察を行う。

### 2.1 入力機構

#### (1) キーボード型文字・コマンド入力機構

指でボタンを押して操作を行う従来のキーボードでは、快適な入力を行うために、14.5mm以上のキートップサイズが要求され[1]、操作性を保ったまま小型化するのは難しい。一方、キーボードを「指の動きで入力する機構」と考えれば、ボタンを羅列する必要がなくなる。また、特定の場所を正確に押下する必要がないために、歩行中などの不安定な状況下でも確実な入力が行えるといった利点もある。このタイプではグローブ型の入力機構[2]が良く知られているが、感覚の鋭敏な指の先端部分などを覆ってしまうので、装着したまま日常生活を行うのは難しい。手を覆わない手法には、手首などに設置した電極で筋電信号を検出し、指の曲げ角度を得る方式[3]や、指先や指の付け根に加速度センサを装着する方式[4]

がある。これらの方式は、(原理的には)従来のフルキーボードと同じ操作での入力が可能であるが、現状ではセンサの精度や信号解析が十分ではないため、打鍵時の微妙な指先の動きの検出は難しい。一方、同じ加速度センサを用いたものでも、指先の打鍵によって生じた衝撃を検出する手法[5]、[6]もある。この方式は、微小な打鍵動作が検出可能であり、指先も覆わずに済む。次節では、本方式を用いた入力方式の実現例を示す。なお、これらとは逆に、大きな面積が使用可能な衣服などの表面にキースイッチをプリントしてしまう解決策もある。

#### (2) ポインティング（指示）機構

代表的な指示機構であるマウスは、移動のためのスペースが必要であり、装用型システムには向かない。トラックボールは移動スペースこそ不要だが、小さなボールでの細かい操作は難しい。これに対して、棒状のポインティング機構[7]は、設置面積を小さくしても操作性の悪化が少ないため、装着が容易に行える。特に、平面状の多軸圧力センサを爪や指の側面に貼り付ければ、指先の接触による片手操作が実現できる。なお、キーボードと同様に、身体表面や衣服にポインティングパッドを貼り付ける手法も考えられる。

#### (3) ペン入力機構

ペン入力方式は、文字や簡単な図形を入力でき、しか

表1 常時装着可能なインタフェースの例

	INPUT	OUTPUT
INPUT	キーボード	<ul style="list-style-type: none"> <li>キースイッチの羅列では常時装着使用は困難</li> <li>指の動きを検出し、スイッチ動作を行う</li> <li>・加速度（衝撃）センサで打鍵時の衝撃を検出（UbiButton/FingerRing）</li> <li>・筋電位から指の曲げ角度を検出（CyberFinger）</li> <li>・光ファイバや抵抗薄膜（DataGlove）</li> <li>・超音波や光の反射を使用</li> </ul>
	ペン入力	<ul style="list-style-type: none"> <li>パッドを保持しなくてはならない</li> <li>ペンとパッドの分離</li> <li>・位置（加速度）センサ内蔵のペンとHMDの組み合わせ</li> </ul>
	音声テキスト化	<ul style="list-style-type: none"> <li>人前での使用は困難（迷惑）</li> <li>騒音下でも話し声が大きくなりにくい操作方法（FingerWhisper）</li> <li>口腔形状の変化（口パク）から発話音を推定</li> <li>・小型カメラで唇形状を認識（Lip Reading）</li> <li>・口腔周辺の筋電を利用</li> </ul>
	画像入力	<ul style="list-style-type: none"> <li>後処理が大変だが、デバイス自体の装着性は良い</li> </ul>
OUTPUT	音声	<ul style="list-style-type: none"> <li>並列性が高い（ながら使用が可能）</li> <li>超小型イヤホンによる常時使用</li> <li>・テキスト読み上げによるフィードバック</li> </ul>
	画像	<ul style="list-style-type: none"> <li>並列性は低い（視界を奪うので危険）</li> <li>必要などきのみ使用</li> <li>・高精細大視野角画面の小型化にはHMDが最適</li> </ul>
	他の感覚器官	<ul style="list-style-type: none"> <li>触覚、痛覚、温覚、痒み</li> <li>特殊用途向け（注意喚起など）</li> </ul>

赤字は本稿で紹介する実現例

も訓練が不要である。しかし、利点の1つである直接操作（書きたいと思った場所に、原寸大で書き込めること）を実現するためには、比較的大きな描画兼表示装置が必要となる。例えば、小型のペン型入力装置と頭部装着ディスプレイ（HMD：Head Mounted Display）を組み合わせ、相互の位置関係の検出によって、手掌などの手近な描画面上に仮想的な入力パッドを構成する手法が考えられる。さらに、指輪や爪先部分に装着した加速度センサで指先の動きを検出すれば、ペンすら不要にできる。

#### (4) 音声入力

音声認識によるコマンドや文字の入力は、訓練が要らず、入力速度も速い。また、小型のマイクを装着すれば良いので常時装用に向く。しかし現在では、1人で喋る風景が社会的に認知されているとはいえない。将来、イヤホンマイクの装着が認知されれば、有効な手段になると思われるが、それまでの間は、社会的に受け入れられやすい手法を考える必要があるだろう。一例として、手首を受話器の一部として使うことで、電話のような操作スタイルを実現した腕時計型ハンドセットを次章で紹介する。なお、声を出さずに（無発声）音声入力を可能とする方式には、口腔周辺に貼り付けた電極で筋電信号をとらえ、発話内容を推定する手法[8]や、口腔形状を小型カメラで撮影して「読唇」を行う手法[9]もある。

#### (5) 画像入力

画像によるコマンド入力（口腔認識や表情認識）は、周囲に迷惑をかけずに使用できる。しかし、自身を撮影するためには、ある程度の撮影距離が必要であり、設置場所の確保が問題となる。一方、装着したカメラによる周囲環境の認識は、装着位置や光学系の制約を受けにくく実現性が高い。例えば、周囲を撮影した画像内から文字領域を切り出して認識[10]すれば、看板や住居表示から自身の置かれている場所を推定できる。また、対話相手の顔画像を撮影・認識し、過去のデータベースとの照合によって、記憶の補助を行うこともできる。

## 2.2 出力機構

### (1) 画像出力

従来のディスプレイパネルは、キーボードと同じく、装着性と操作性（文字の読み易さや一覧性）の両立が難しい。この問題は、小さな表示パネルで大きな視野角を実現できるHMD方式を用いれば解決可能である。さらに、網膜に直接画像を投影すれば[11]、投影部を豆粒大にまで小型化できる可能性がある。一方、衣服にフレキシブルな表示パネルを貼り付ける手法も有効である。し

かし、画像フィードバックを常時用いるのは安全性の点からいって好ましくない。画像出力は、必要なときにのみ明示的にスイッチを入れて使われるべきであろう。

### (2) 音出力

小型のワイヤレスイヤホンは装着性に優れる。また、音による情報伝達は、他の動作を妨げずに使用できる（＝並列性がある）ため、常時装用型の出力手段として適していると考えられる。反面、文章読上げでは高速な情報伝達は難しいので、要約による短文化、楽音アイコンを用いたシンボル化などの情報圧縮のほか、3次元音場による情報量の付加などの手法が併用されるだろう。

### (3) 触覚・痛覚・温覚など

これらの出力手段は、音出力よりさらに並列性が高く、周囲にも迷惑がかからない反面、多量の情報を伝えるには適していない。

いずれにせよ、単一の出力手段だけですべての状況に対応するのは困難である。例えば、

振動などの触覚メディアを用いて情報到着が報知され、  
音出力による短文読上げなどで概要を把握し、  
画像出力装置をONにして詳細を把握する、

のように、複数のメディアの組合せによって情報を得るようになるだろう。

## 2.3 Awareless

なお、日常的に用いるインタフェース機構にとって、「使用していることを周囲の人々に気づかれない（＝Awareless：「気づき」を示すawarenessに引っ掛けた筆者らによる造語）」ことも重要である。例えば対面での会話の際に、相手がHMDを使って自分の情報を検索している「らしい」ことが解ってしまうと、円滑なコミュニケーションは難しくなる。例えば、アイコンタクトをしながら、視線の位置やピントを反らさずに情報を得られるような仕組みが必要になるだろう。

## 3. 常時装用インタフェースの実現例

本章では、常時装用インタフェースの実装例として、打鍵衝撃を用いた入力機構、および骨伝導を用いた音声伝達機構について述べる。

### 3.1 常時装用型コマンド入力機構

UbiButton（ユビボタン）[6]は、常時装用可能なコマンド入力機構である。手首部分に設置した単一の加速度センサ（1軸）を用いて、指先による打鍵動作によって生じた衝撃を検出する。打鍵のタイミングを用い、モールス符号



に似たコマンド体系（通常のモールス符号とは異なり、最後は必ず長符号となる）によって、10～30種類のコマンドを表現できる。小型の検出部は腕時計内部への設置も可能であり、装着したまま日常生活が行える。机や鞆、あるいは大腿部など打鍵面を選ばずに入力動作が可能であり、常時装用に必要な即時性が実現されている。また、打鍵面が身近にない場合でも、指先同士を軽く触れ合わせる「指パチ」動作による入力ができる。特に、UbiButtonを腕時計に設置



写真1 常時装用型コマンド入力機構 (UbiButton)  
 (「指パチ」動作によって歩きながらでも入力が可能)



写真2 常時装用型文字入力機構の例 (FingeRing)

した場合には、「腕時計を装着した手で腕時計をコントロールする」完全片手操作が実現できる。また、UbiButtonをメガネやイヤホンなどに組み込めば、小さなボタンを押すことなく、機器周囲を指先で軽く叩くだけで操作できるようになる。今後は、微小加工技術を用いた検出部のさらなる小型化と、打鍵強度や打鍵指の弁別による表現能力の拡張を行っていく。UbiButtonの検出部と指パチ動作の様子を写真1に示す。

### 3.2 常時装用型キーボード

UbiButtonと同様のセンサを各指に装着すれば、打鍵を行った指の弁別が可能になり、表現できるコマンドの数が増加する。一例として、各指の付け根に指輪型の加速度センサ（1軸）を設置したFingeRing [5]が挙げられる。手袋型キーボードとは異なり指先を覆わないので、日常生活への悪影響が少ない。UbiButtonと同様に、打鍵面を選ばずに入力動作が行えるので、あらゆる場面に対応できる。コマンドは打鍵を行った指の組合せによって表現する。複数の指を同時に叩く「同時打鍵」と、短い時間を空けて叩く「順序打鍵」を組み合わせることで、30～50種類のコマンドや文字を比較的高速（熟練者では200文字/分）に入力可能である。FingeRingのセンサ部を写真2に示す。これらの常時装用型コマンド・文字入力装置の技術が進めば、腕時計のように手首に巻くだけで通常のフルキーボードと同様の入力ができるようになる「仮想キーボード」が実現されるであろう。

### 3.3 手首装着型ハンドセット機構

“FingerWhisper”（以下Whisper）は、常時装用を目的に考案された手首装着型のハンドセット[12]である。装着した手の指先（人差し指もしくは中指）を耳穴に挿入して使用する。受話音声は、手首に設置されたアクチュエータ（電気～振動変換器）で振動に変換され、手から指先を經由して耳に伝達される（骨伝導受話方式）。また、発話音声は

手首内側に設置されたマイク（指先を耳穴に挿入した姿勢を取った場合、口の近くに来る）でとらえられる。骨伝導を用いることで、機器を小型化しても、マイクとレシーバの実効的な間隔（指先-手首）を伸ばすことができ、小型化に伴う操作性の悪化を抑えることに成功した。また、骨伝導受話を用いることで、騒音下においても音量を上げずに受話可能（周囲騒音90dBの場合、従来比13dBの改善）であり、同時に発話音量も抑制可能（同6dBの改善）である。手首に設置することが可能なWhisperは、従来の腕時計と見分けが付きにくく、従来のウェアラブル機器のように、「変な機械をつけている」とは思われにくい。また、使用する姿勢も遠目には「小さな受話器を持って電話をかけている」ように見え、イヤホンマイクのような「一人喋り」には見られにくい。この特徴は、通話だけでなくコンピュータに対する音声操作機構として見た場合にも有効である。なお、前述のUbiButtonと組み合わせれば、小さなボタンを押すことなくフックやダイヤルの操作が可能となり、より操作性が向上する。Whisperには、「機械を身につけて生活する」ことへの抵抗感を下げることで、将来のウェアラブル時代への橋渡しとなることが期待されている。図1にプロトタイプの外観と構造図を示す。

## 4. あとがき

以上、次世代の携帯情報機器のための操作機構である常時装用型インタフェースの構成および実現例を述べた。ここで挙げた方式は一例に過ぎない。常時装用インタフェースの研究が広がることで、さらに斬新な機構が登場することを期待する。

携帯情報機器を思考支援装置としてみた場合のゴールは、「得られた情報を自身の記憶や考えと同じレベルで活用することにある。常時装用インタフェースによって即時性は高められるが、自身の思考との間には依然「機器を操作して情報を得る」という溝がある。一方、神経を流れる信号をダイレクトにとらえることができれば、いちいち手

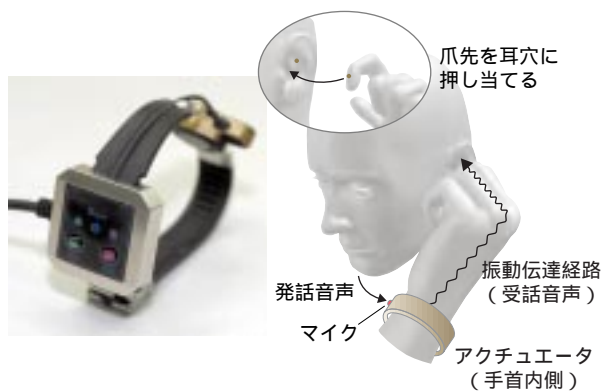


図1 手首装着型ハンドセット (FingerWhisper)

指（操作器）や目耳（感覚器）を動かすことなく，自身の思考と同じレベルで情報アクセスを行える可能性がある。従来も皮膚表面電極を用いたインタフェースが試みられてきた[13]が，得られる情報量が少ないために実用的な入力速度を得ることが困難であった。これに対しドコモでは，時間・空間分解能が高い神経磁界に着目し，インタフェースへの応用を目標として計測および解析技術の確立を目指している。神経磁界を直接用いたインタフェース機構のほか，ウェアラブルの次に来るといわれている「インプラント（埋込み）」型機器実現には欠かせない，神経信号の解析にも役立てることができるであろう。人類は情報とダイレクトに繋がるのである。

#### 文 献

[1] 大塚巖，小野普一，石垣一司，松本啓太，上田義弘，“片手キーボードの入力性能”，第7回HIシンポジウム論文集，pp.5-8（1991）。

[2] T.G.Zimmerman, J.Laniar,“ A Hand Gesture Interface Device ”, Proc. of ACM CHI ' 87, pp.189 - 192 (1987).

[3] J.Kramer, L.Leifer,“ The Talking Glove: An Expressive and Receptive ' Verbal 'Communication Aid for the Deaf, Deaf - Blind, and Non - vocal ”, Technical Report, Stanford Univ., Dept. of Elec. Engr. (1989).

[4] J.K.Perng et. al,“ Acceleration Seising Glove (ASG) ”, Proc. of 3rd Int ' l Sympo. on Wearable Computers, pp.178 - 180 (1999).

[5] 福本雅朗，外村佳伸，“Wireless FingerRing：人体を信号経路に用いた常装着型キーボード”，情処論文誌 Vol.39, No.5, pp.1423 - 1430 (1998)。

[6] 福本雅朗，外村佳伸，“指鉤：手首装着型コマンド入力機構”，情処論文誌 Vol.40, No.2, pp.389 - 398 (1999)。

[7] Joe Rutledge, Ted Selker,“ In - Keyboard Analog Pointing Device - A Case for the Pointing Stick ”, CHI ' 90 Video Program (1990).

[8] 真鍋，ほか，“無発声によるコミュニケーション技術”，本誌，Vol.10, No.3, pp.43 - 47, Oct. 2002 .

[9] 間瀬健二，Alex Pentland,“ オプティカルフローを用いた読唇 ”, 信学論，Vol.J73 - D - II, No.6, pp.796 - 803 (1990)。

[10] Steve Mann,“ An histrical account of the ' WearComp ' and ' WearCam ' inventions developed for applications in ' Personal Imaging ' ”, Proc. of 1st Int I Sympo. on Wearable Computers, pp.66 - 73 (1997).

[11] E.Viirre et. al,“ The Virtual Retinal Display: A New Technology for Virtual Reality and Augmented Vision in Medicine ”, Proc. of Medicine Meets Virtual Reality, pp.252 - 257 (1998).

[12] 福本雅朗，外村佳伸，“手首装着型ハンドセットWhisper ”, 信学論，Vol.J82 - D - II, No.10, pp.1835 - 1843 (1999)。

[13] 山田奨治，“脳波キーボードの入力速度向上手法と評価”，信学論，Vol.J79 - A, No.2, pp.329 - 336 (1996)。