

# Bluetooth™のウェアラブルコンピューティングへの応用

## Application of Wearable Computing Using Bluetooth™ Technology

竹林 洋一  
TAKEBAYASHI Yoichi

金澤 博史  
KANAZAWA Hiroshi

コンピュータを常に身に付けて使う,ウェアラブルコンピューティングが注目されてきている。これは,将来的にはコンピューティングを衣服のレベルまで一体化することで,人間の記憶や感覚を拡張しようとする試みである。そこでは,ペリフェラル(周辺機器)がセントラル(中心)となり,センサ,入出力デバイス,無線,音声認識,エージェントなどの要素技術開発が進み,様々な応用が広がる。そのペリフェラルに必須の技術としてBluetooth™がある。Bluetooth™を利用することで,モバイル環境でのヒューマンインタフェース(HI)が変わり,新しいアプリケーションやサービスが創造されると考えられる。

Wearable computing will be an important next-generation computing environment. It is an attempt to expand the human memory and senses by the integration of wearable computing units. Peripherals play a central role in the wearable computing environment, and key technologies such as sensors, devices, wireless communication, speech processing, and interface agents are being developed for several applications. In particular, Bluetooth™ technology is effective for the development of such peripherals.

This paper describes the integration between Bluetooth™ technology and wearable computing technology.

### 1 まえがき

モバイルコンピューティングの発展形として,コンピュータを常に身に付けて使うウェアラブルコンピュータが注目されてきた<sup>(1)(2)</sup>。現時点のウェアラブルコンピュータは,小型・軽量化したパソコン(PC)とディスプレイ(FMD: Face Mount Display)を装着するレベルであるが,将来的には衣服のレベルまで一体化することで,人間の記憶や感覚を拡張し,社会や文化を変革する可能性を秘めている。言い換えれば,ウェアラブルコンピューティングは,人間中心の観点でデジタル技術(bit)とデバイス/機器技術(atom)とを融合させ,快適で役に立つデジタル機器と価値あるサービスを生み出す技術分野と言える。今後,ペリフェラルがセントラルとなり,センサ,入出力デバイスなどの要素技術の開発が進み,医用機器からファッション,サービスまで,広範囲にわたり利用されると考えられる。

一方,Bluetooth™は,世界標準の近距離無線データ通信技術であり,低消費電力,低価格,小型という特長を持ち,PC,携帯電話,オーディオ機器,プリンタ,デジタルカメラ,時計などの様々なデジタル機器・システムへの搭載が見込まれている。これら二つの技術は,モバイル,デジタル,ネットワークというキーワードでくくると,非常に親和性の良い技術であり,その融合が新しいHIのキーになると考えられる。

### 2 モバイルからウェアラブルへ

ウェアラブルコンピュータは,常時電源をONにし身に付け,行動しながら使うという点で,新しいHIのパラダイムを作った。モバイルコンピュータや携帯電話の延長線上と考える人もいるが,新しいサービスを生み出し,人間の行動や社会を変えるパワーを持つ第4のコンピュータ革命とも言え



図1. ソムリエ エージェント PC,ディスプレイ,マイクなどを身につけたユーザーが,システムと相互連携を行う。  
Sommelier agent

る。ファッション,時計,スポーツ,靴などの新産業の創出にも寄与するであろう。ハードウェア的には,ペリフェラルが中心となり,ユーザー及びサービス指向で,要素研究とシステム研究とを融合し,様々なサービスや研究領域を開拓できる。

当社は,1998年に開催されたウェアラブルコンピュータのファッションショーと,ワークショップを米国マサチューセッツ工科大学のPentland教授などと開催し,コンピュータを身に付けて,何がうれしいか,どんなサービスが可能か,どんな要素技術開発が必要か,どのように進化するのかを集中して考えた。ここで,ファッションショーでのビジョン提示と並行して,近未来の大型ワインショップでの応用を想定し,“ソムリエ エージェント”を試作した(図1)。客(ユーザー)は,ミニノートPCとメガネ型ディスプレイ及びマイクを装着して,話しことばでソムリエエージェントと対話し,客の嗜好(しこう)や料理に合ったワインを選択し購入する。音声による対話は歩きながらでも自然であり,必要なときに,必要な知識や情報をすばやく取得でき,極めて効果的であった<sup>(3)</sup>。

当社のウェアラブルコンピューティングのキーワードは,“Digital Sensation”である。これは「デジタル情報環境(社会インフラストラクチャ,以下,インフラと略記)とコンピュータが互いに様々な情報をセンシングし,理解することで,人間の知覚・情動に合致した相互連携を行い,快適で安全な社会の実現を目指す」という意味である<sup>(3)</sup>。コンピュータは常時使用するので消費電力を抑える必要があり,デジタル情報環境側との,巧みな連携が必要である。

“Digital Sensation”とは,情報システムが感覚器や意図及び感情を持つようなものであり,コンピュータ側にも情報インフラ側も,センシングと理解の技術の高度化がキーとなる。今後,低次の物理センサやバイオセンサから,高次の意図センサまで,センサ開発と意図状況理解の研究に注力する必要がある。それと並行して,新しいセンサ及びメディア対応の知識辞書の充実も重要である。アプリケーションの面では,バリアフリー,非常時対応,健康管理,ショッピング支援,スポーツ支援など色々と考えられるが,高性能センサやデバイスの開発と低価格化,種々のPUI(Perceptual User Interface)関連技術の高度化が必要である。

### 3 音声メディアの有効性

先に述べたソムリエ エージェントでは音声インタフェースによるコンピュータとのインタラクションを実現したが,音声には以下のような性質があることが知られている。

- (1) 両手や視覚がフリーで,制約の少ないコミュニケーション手段である。
- (2) 空間的に情報を伝達するため,動作への制約が少ない。

(3) 迅速で高速な情報発信ができる。

(4) 言語情報のほかに,話し手の感情や個人性情報も伝達する。

常時装着し行動しながら使うウェアラブルコンピュータでは,キーボードやマウスは使いづらい。音声入力を使えば,入力デバイスは小型のマイクで済み,上記の音声の性質を有効に活用できる。当社は,対話メディアとしての音声の優位性に着目し,自由な発話で対応できる,キーワードに基づく音声による自然な対話を実現した。その設計の際には,次の点に留意した<sup>(4)</sup>。

- (1) 音声入力は騒音を発生するので,周囲に迷惑を掛ける恐れがある。
- (2) 音声認識エラーをなくすことはできない。
- (3) 音声認識は雑音や不用意な発声に弱く,発話様式や単語数を制限すれば性能は安定する。
- (4) 音声はキーボードの代用ではなく,対話メディアである。
- (5) キーボード入力による自然言語理解も不完全であり,音声理解は更に難しい。

以上,ウェアラブルコンピュータと音声について述べてきたが,これらをより密につなぐ役目を担うのがBluetooth™である。ウェアラブルコンピュータには,両手が制約を受けない“Hands free”,常時動作の“Always on”,身体への拘束感がない“No attention”という三つのコンセプトがあるが,Bluetooth™を用いることで,マイクのケーブルがなくなり,ユーザーの動きへの制約を軽減でき,“No attention”という特徴をより強化できる。また,Bluetooth™は,Ad-Hoc(“一時的に”の意)なワイヤレス接続を提供できるので,“Always on”という観点からもウェアラブルコンピュータとの親和性が高い。

## 4 ウェアラブルコンピューティングとBluetooth™の融合

ウェアラブルコンピューティングとBluetooth™の融合は世界的に広く試みられており,様々なデバイスやアプリケーションが提案されている。昨年12月に米国カリフォルニア州のサンノゼで開催されたBluetooth Developer's Conferenceでも,Bluetooth™チップを組み込んだ携帯電話向けのヘッドセットや,ペン,時計などが展示され,新しいHIデバイスとして注目された。

当社でも,ウェアラブルコンピュータの有力なインタフェースとなる音声とBluetooth™の統合,あるいはBluetooth™による動画配信など,メディア処理技術とBluetooth™を組み合わせた新しいインタフェースを提案している。

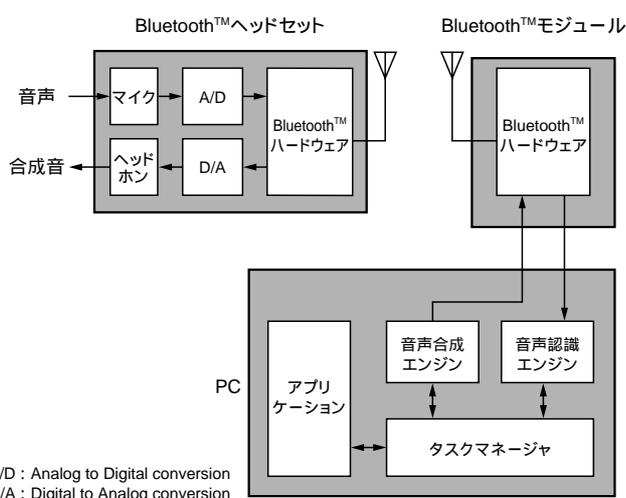
4.1 Bluetooth™ヘッドセットによる音声インタフェース  
当社は,ウェアラブルコンピューティングの基本コンセプト

である“ Hands free ”な操作環境を提供し ,更に“ Always on ”を実現するため ,図2 に示すBluetooth™ヘッドセットによる音声インタフェースを試作した。ヘッドセットとPC間はBluetooth™で接続され ,Bluetooth™を介した音声データの送受信が行われる。PCでは ,受信した音声認識してコマンドに変換し ,PCアプリケーションソフトウェア(以下 ,アプリケーションと略記)の操作を行うとともに ,認識結果のトークバックやアプリケーションからの出力を音声合成により音声に変換し ,ヘッドセットに送信する( 図3 )。

Bluetooth™は ,SCQ( Synchronous Connection-Oriented )リンクを通信リンクとし ,ヘッドセットプロファイルにより電話品質の音声( 8kHzサンプリング ,量子化8ビット)が伝送される。音声インタフェースにBluetooth™を採用することにより ,PCは ,例えば ,かばんの中にあればよく ,ユーザーがPCの存在を意識することなく ,PCアプリケーションを制御できる



図2 . Bluetooth™ヘッドセット Bluetooth™モジュール及び電源を内蔵し ,単体で音声の送受信を行うことができる。  
Bluetooth™ headset



A/D : Analog to Digital conversion  
D/A : Digital to Analog conversion

図3 . Bluetooth™ヘッドセットによる音声インタフェースの構成 Bluetooth™を利用することで ,ユーザーはPCの前にいる必要はなくなり ,ハンズフリー環境を実現することができる。  
Configuration of speech interface system using Bluetooth™ headset

ようになる。

Bluetooth™を介してハンズフリーの音声インタフェースを実現する場合 ,技術的には次のような課題がある。

- (1) 音声認識におけるBluetooth™による伝送ひずみへの対処
- (2) 音声認識時のリジェクト機能の強化
- (3) 効率的な音声応答方法の検討

まず ,(1)に対しては ,音声認識に用いる音響モデルを学習することで対処する。ここでは ,雑音免疫学習<sup>(4)</sup>の枠組みを利用し ,Bluetooth™による伝送ひずみを模擬した音声データを作成し学習に供する。伝送ひずみを含む音声データの学習で ,ひずみによる音声パターンの変形を音響モデルに取り込むことができ ,認識性能の向上が期待できる。

また “ Always on ”を実現するためには ,音声を常時取り込み ,トリガなしに入力された音声を認識する必要がある。このため ,ユーザーが意図しない発声や ,周囲の音声 ,雑音など本来認識対象とならない音声までもがPCに入力されることになる。したがって ,使い勝手の良い音声インタフェースとするためには ,(2)に示すように ,認識対象とならない音声に対しては ,その認識結果を確実にリジェクトする必要がある。そこで 認識結果のスコアに対するしきい値処理と ,1位 ,2位のスコアの差を用いた判定ルールを作成し ,リジェクト機能を強化した。

更に ,PCの画面を見ずに ,ハンズフリー環境でPCアプリケーションの操作を行うためには ,音声によりアプリケーションの状態を効率よく ,かつ自然にユーザーに伝達する必要がある。このため ,言語による音声応答だけでなく ,非言語による応答も利用する。例えば ,リジェクトしたことをユーザーに知らせるために ,「リジェクトしました」と言語情報でユーザーに応答するのではなく ,「えっ? 」と返すことで ,ユーザーに瞬時に状況を理解させ ,応答文を聞き続けるストレスから開放させることができる。

#### 4.2 Bluetooth™を用いたウェアラブル環境でのアプリケーション

Bluetooth™を用いたウェアラブル環境でのアプリケーション例について次に述べる。

4.2.1 音声によるメールツール操作 前節で述べたBluetooth™ヘッドセットを用いて ,PCで動作するメールツールの操作を行うシステムを試作した。このシステムでは ,音声コマンドにより ,メールの読上げ ,返信メールの作成 ,送信などを行える。

ユーザーは受信メールリストに対して “ 前 ” “ 次 ” “ 先頭 ” “ 最後 ” などの音声コマンドを用い ,読みたいメールを選択する。フォーカスされたメールのサブジェクト ,送信者 ,日付は音声合成でユーザーに提示される。ユーザーはこの合成音により ,メールの内容を判断し “ 読上げ ” と発声することにより ,メールの本文が音声合成され ,Bluetooth™を介して

ユーザーに送信される。更に、返信メールの作成では、音声マクロ機能により、“OK(オーケー)”と発声すると“了解しました”、“NG(エヌジー)”と発声すると“申し訳ありませんが、後程連絡いたします”という文面を挿入するような機能も搭載した。

このシステムは、ハンズフリーな環境を実現しており、常時音声入力レディーの状態であるため、意図しない発声を誤認識して受理する場合がある。この結果ユーザーの意図しない操作が実行され、使い勝手が悪くなるだけでなく、メールツールの状態が変わり、ユーザーが混乱し、大きなストレスを受ける。そこで、リジェクトの判定を厳しく行い、意図した発声を多少リジェクトしても、意図しない発声を受理しないように設定することで、比較的快適に利用することができた。また、Bluetooth™による無線環境での音声インタフェースは、ケーブルによる身体への拘束感がなく、ユーザーには極めて好評であった。これらのことから、現状の音声インタフェースで一般的な有線でのPCへのマイク接続が予想以上にユーザーへの制約となっていることがわかった。

また、現在のPCアプリケーションはGUI(Graphical User Interface)を基本に作成してあるため、PC画面なしでの操作には限界があり、音声インタフェース用のオーサリングや、音声向けのアプリケーションの設計が必須であると考えられる。

#### 4.2.2 音声インタフェースによる動画配信システム

Bluetooth™によるMPEG4(Moving Picture Experts Group 4)動画伝送技術と、Bluetooth™ヘッドセットによる音声インタフェース技術とを統合した動画配信システムを試作した。システム構成を図4に示す。システムはビデオカメラ、VCR(Video Cassette Recorder)、Bluetooth™ヘッドセット、ホームサーバ、MPEG4デコーダから成り、ビデオカメラ、VCRはIEEE1394(IEEE:米国電気電子技術者協会)でホームサーバと接続される。ホームサーバは、全体システムの制御を行うとともに、音声認識及び動画のMPEG4エンコードを行う。また、IEEE1394のゲートウェイとなり、MPEG4に変換された動画をBluetooth™を介して、離れた場所に置かれたMPEG4デコーダへ伝送する。音声インタフェースは、どこに画像を配信するかを指示したり、動画の再生、停止、早送り、巻戻しなどのAV機器の制御などを行う。

このシステムは、ユーザーが任意の場所に動きながら、移動先で所望の画像を見たり、機器の制御を行うことができる。例えば、家庭で親が子供部屋のようにすをモニタしながら家事をしたり、ビデオの続きを別の部屋で見たりするなどの家庭応用や、工場の現場担当が、各作業場の状況を移動しながら確認するなどのFA(Factory Automation)応用、更には、オフィスでの利用など幅広い応用が考えられ、Bluetooth技術とウェアラブルコンピューティングの統合によ

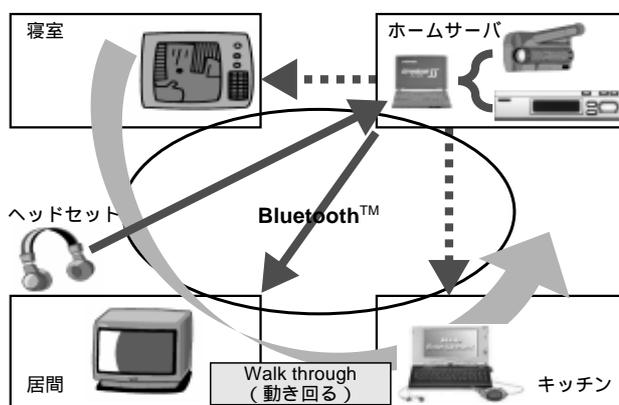


図4. Bluetooth™による動画配信システム Bluetooth™によるMPEG4画像転送技術と音声インタフェースを組み合わせることにより、任意の場所に動画を配信することができる。  
Video distribution system using Bluetooth™

る新しい応用が期待できる。

## 5 あとがき

Bluetooth™とウェアラブルコンピューティングの融合について、具体的なシステムの例を示しながら、その意義を述べた。Bluetooth™は、メディア処理技術、HI技術など、ウェアラブルコンピューティングのコア技術と組み合わせることで、単なるケーブルの置き換えではなく、新しい応用を創造する可能性を持った通信技術である。今後、計算機本体は目に見えるところから消え、センサ、デバイスなどのペリフェラルが中心となる時代が来る。当社は、このような時代を見据え、今後もウェアラブル環境でのBluetooth™の新しい応用を提案していく。

## 文献

- (1) A. Pentland. Wearable Intelligence. Scientific American. 276, 11, 1998-11.
- (2) <http://www.media.mit.edu/wearables/>
- (3) 竹林洋一. デジタルメディア時代のヒューマンインタフェースの研究. 電子情報通信学会誌. 82, 1, 1999, p.22-27.
- (4) 金澤博史, ほか. 雑音下の連続音声からのキーワード検出. 電子情報通信学会論文誌. D-II, J76-D-II, 3, 1993. p.427-435.



竹林 洋一 TAKEBAYASHI Yoichi, D. Eng.  
研究開発センター ヒューマンインタフェースラボラトリー技監, 工博。Bluetooth™の規格化及び応用システムの研究・開発に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本音響学会会員。  
Human Interface Lab.



金澤 博史 KANAZAWA Hiroshi  
研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務。音声インタフェース, Bluetooth™応用システムの開発に従事。電子情報通信学会, 日本音響学会会員。  
Multimedia Lab.