

---

# コミュニケーションツールのための簡易型 AR システム

## A Simple AR System for Casual Communication

椎尾一郎 山本吉伸\*

**Summary.** We have developed an augmented reality (AR) system called *AirPen*, that can be used for a casual communication tools for wearable computer users. The AirPen provides virtual drawing on the air, and sharing them among users. Users of this system wear head mounted display (HMD) and draw messages using gyro-mouse. These messages are stored in a server computer and transmitted to wearable computers. Comparing to conventional AR systems, the AirPen system can be assembled using less precise components because the application focused on casual communication. To make the system handy, we have adapted inexpensive sensors, and consumer products. We also develop a simple and scalable positioning system called NaviGeta and ID-carpet, that detects user's position by reading RFID tags under carpets.

### 1 はじめに

コンピュータを服のように体に装着して、日常生活のあらゆる場面で人々の活動を支援するウェアラブルコンピュータの実用化が進んでいる。高性能で安価な小型コンピュータと無線ネットワーク、軽量な装着型ディスプレイ、高性能バッテリーと省電力ハードウェアにより、従来のデスクトップコンピュータに匹敵する機能を持つコンピュータ装置を身につけて携帯することが可能になった。その結果、ウェアラブルコンピュータは一部で商品化されて、メンテナンスや製造などの限られた分野で実用化されている。しかしながら、アプリケーションの多くは、デスクトップコンピュータで使われているシステムをそのまま外で使う形態が多く、誰でもウェアラブルコンピュータを使いたくなるような魅力的なアプリケーション（キラーアプリケーション）に欠けている。筆者らは、ウェアラブルコンピュータのキラーアプリケーションの一つは、人々のコミュニケーションを支援するメディアへ



図 1. 空気ペンの概念図。

\*Itiro Siio, 玉川大学工学部, Yoshinobu Yamamoto, 電子技術総合研究所

の応用であると考えた。そこで、仮想の手書きメモによるコミュニケーションをウェアラブルコンピュータにより実現する「空気ペン」システムを試作し、実用化に向けての要素技術を検証した。

## 2 空気ペン

図1に空気ペンシステムの概要図を示す。透過型ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着したユーザが、空中で描画ペンデバイスを動かすことで、その場所の空中に仮想の手書きメモを描画することができる。このメモ書きはサーバコンピュータに格納されて、透過型HMDを装着した別のユーザと共有できる。この結果、空中に書き込んだメモ書きによるコミュニケーションを実現する。漫画「ドラえもん」に登場する道具「空気クレヨン」に準じた機能や応用を実現するデバイスであるので、空気ペンと命名した。

空気ペンは、透過型HMDを使用した拡張現実(Augmented Reality: AR)システムである。同様の機能は、既存の実験的なARシステム[1]を利用すれば容易に実現可能である。ただし、従来のARシステムの研究は、精度は高いが、高価で限られた空間でしか使えない装置を使う場合が多い。これにたいして、空中への手書きによるカジュアルなコミュニケーションツールには、従来の本格的なARシステムで要求されるような高度なリアリティは必ずしも必要ではない。センサの精度、ディスプレイの視野角などの性能を落としたり、実世界物体のレジストレーションなどの機能を省略しても十分に実用的である。一方で、実験室の限られた空間ではなく、建物全体や、公共の場や屋外などの広い空間にローコストで適用できる位置センサなどが必要になる。そこで、安価・小型で広い範囲に渡って稼働するセンサや、市販の製品を利用した入手が容易な装置を組み合わせて試作した。その結果、表示品位や精度が低下するが、その許容の程度を評価することも課題であった。

空気ペンはユーザが装着するクライアントシステムと、描画情報を保持して配送するサーバで構成される。サーバには、Linux上で開発されたサーバプログラムが稼働し、メモ書きデータの保存と配送のサービスを提供している。サーバコンピュータには、過去に描画したメモ書きデータが保存されているので、複数のユーザでこの情報を見ることができる。クライアントシステムとしてユーザが携帯・装着するデバイスは、ウェアラブルコンピュータ、描画ペンデバイス、透過型HMD、各種センサである。クライアントシステムとサーバとは無線LANで接続される。図2にクライアントシステムの全容を示す。

ウェアラブルコンピュータはウェストポーチに格納されたサブノートPC(200MHz Pentium プロセッサ)である。ウェアラブルコンピュータでは、Windows上のVisual C++で開発されたプログラムが作動し、ユーザの立ち位置と視線方向にあるメモ書き



図2. 仮想のメモ書きをしている様子。



図3. 描画を行うペンデバイス。ジャイロセンサーによるマウス機構を内蔵している。



図4. 頭部に装着した透過型HMDとジャイロセンサー。

を閲覧する機能、描画ペンデバイスの操作によりメモ書きを作成する機能、サーバコンピュータと描画データを送受信する機能を提供している。

描画ペンデバイスを、図3に示す。ジャイロセンサ、加速度センサを内蔵したジャイロマウスの機構を内蔵しており、2軸の回転を検出する。これによりユーザが、前面の仮想平面に対して描画する際の、平面上の2次元の軌跡を記録できる。ペンデバイスの測定結果は、微弱電力のワイヤレス通信によって送出され、利用者が身につけたウェアラブルコンピュータに入力される。本体下部は開閉式のふたになっており、持ち運ぶときには卵型でありながら手にもったときにしっかりとグリップを握ることができるようになっていいる。電池が内蔵されたグリップ部には押しボタン(マウスのボタンに相当)が二つ装備されている。

透過型HMDと方向センサを図4に示す。透過型HMDには、小型軽量で低価格なSVGA出力対応のHMD(SONY PCグラストロンPLM-S700)を使用した。ステレオ視には対応していないが、メモ書きを表示する応用には十分な性能である。HMDには、ジャイロセンサ、加速度センサ、地磁気センサによる低価格の3軸方向センサ(Tokin試作機)を取り付け、ウェアラブルコンピュータのUSBポートに接続した。本センサにより、ディスプレイを装着したユーザの顔の向きと傾きを知ることができる。ユーザの顔の向きの移動と反対方向に、ディスプレイの内容を移動させるプログラムにより、あたかもその方向にメモ書きが表示されているかのような仮想現実感を実現する。

本装置を装着したユーザが仮想の手書きメモを描画するには、描画ペンデバイスのボタンをクリックする。すると描画のためのボードが視野中央に現れる。ユーザはこのボードに対して描画する。描画中は、頭を動かしてもボードは視野中央から移動しないようにした。このインタフェースは、複数の方式の描きやす



図5. 空気ペンで描画したメモ書きの例。

さを比べて決定された。描画終了後に再びボタンをクリックすればボードが空間に浮遊しているように表示される(図5)。描画情報は二次元の平面である。描画情報は、ユーザが描画を完了した時点で、無線 LAN 経由でサーバに転送される。

### 3 ID カーペットと NaviGeta

仮想的に空中に書かれたメモ書きを実現するためには、ユーザの顔の向きだけでなく、ユーザの立ち位置を検出する必要がある。空気ペンの初期の試作[2]では、超音波を利用した市販のセンサ(Inter Sense IS-600)を用いた。従来の AR システムで採用される磁場や超音波を利用した位置センサは、1mm程度の誤差範囲での3D位置測定が可能であるが、高価であり、稼働範囲も数m程度である。部屋全体、建物全体、公共の広場全体に本センサを張り巡らし、不特定多数のユーザが利用することはコストの観点から現実的ではない。超音波のセンサの精度は1mmであったが、ペンやユーザの視線方向に求められる精度と比較して、ユーザの絶対位置は必ずしも高精度である必要はなく、実質的には10cm程度の精度があれば十分な効果が得られることが、初期の試作による主観的な評価からわかった。

屋外においては、高精度なGPSによりユーザ位置を検出して、十分な拡張現実感を得ることが可能である[3]。しかし高精度なGPS装置は、高価で大型であるばかりでなく、屋内ではGPSを利用することができない問題がある。そこで筆者らは屋内でも使用できる簡易型の絶対位置測定センサを検討して、RFID (Radio Frequency Identification) システムを利用した方式を採用した(図6)。

RFID システムは、ID タグ(RFID タグ)の持つ情報を、タグリーダ/ライタ(RFID リーダ)からの電磁誘導により非接触で読み書きするシステムであり、バーコードなどと同様に、物流、製造、販売、人員管理の場面で利用されている[4,5]。RFID タグの多くは、RFID リーダから電磁誘導により供給される電力により無電源(電池を搭載しない)で動作する。床などの環境側にRFID タグを複数貼付して、ウェアラブル機器などにRFID リーダを取り付ければ、あらかじめ位置が判明しているタグを読みとることで、ユーザの位置を検出できる。

本研究では、円盤形の無電源RFID タグ(OMRON V700-D13P21、直径23 mm、厚さ1.2 mm)と、RFID リーダ(OMRON V700-HMD11)を使用した。RFID リーダが小型で(40 x 53 x 23 mm)ウェアラブルデバイスや携帯デバイスに組み込みやすいことから採用した。このシステムは125kHzの電磁波を使用して、1個のタグに最大112 Byteの情

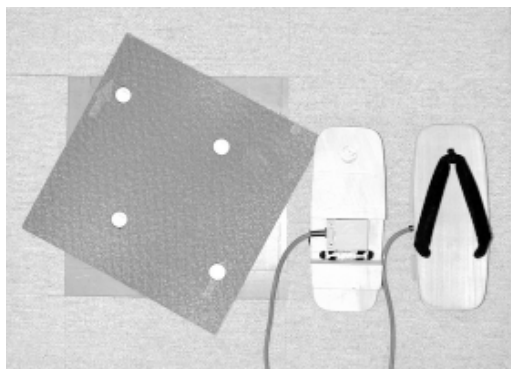


図6. RFID タグを敷設した ID カーペットと、RFID リーダを装着した NaviGeta。

報を読み書きすることができる。この組み合わせで交信可能なタグとリーダの位置を見ると(図7 [6])、RFIDリーダの前面の、直径と高さがほぼ40 mmの円柱の範囲で交信可能であることがわかる。交信に必要な時間は、電力供給に66ms、データ読み出しに8 Byteあたり48msであるので、この範囲にRFIDタグが114 ms以上留まっていれば、8 Byteの情報を読み出せる。

### 3.1 IDカーペット

人の位置を検出できる床面を作る目的で、一辺が30 cmの正方形タイル状のカーペット(協和トレフィット30、厚さ7 mm)の裏面に、一枚あたり4個のRFIDタグを取りつけた(図6)IDカーペットを試作した。タグにはそれぞれ個別のIDを書き込んでおき、RFIDリーダで読み取れば、タイルカーペット上のリーダの位置を15 cmの解像度で求めることが出来る。このタイルカーペットを25枚作成して、1.5 x 1.5 mの床に敷設した。

RFIDタグは、正方形格子状ではなく、図6のように交互にずらして取りつけた。全体としては図8のような、最密充填に近い二等辺三角形型に配置される。この配置により、円形の検出範囲を持つRFIDタグ同士の干渉を低減する効果が期待される。一方、廊下での歩行のように、人が建造物の特定方向に直進する場面がある。正方形格子状のRFIDタグ配置では、人が格子の間を直進することでタグが検出されない可能性もある。RFIDタグを交互にずらすことで、廊下などの歩行においてタグの検出率向上も期待できる。

コストとのトレードオフがあるものの、カーペットに取り付けるRFIDタグの密度を上げれば、位置検出の解像度を向上させることができる。図7に示したRFID検出範囲の特性から、RFIDタグを40 mm程度の間隔まで近づけることができるので、位置分解能は4 cmまで向上させることが可能である。これ以上の密度で配置した場合は、複数タグの同時読みとり処理が必要になる。しかし読みとり時間が長くなり、後述する一歩あたりの読みとり頻度が低下するので不利である。

本研究で使用したRFIDタグの価格は、1個あたり約500円である。今回試作したタイルカーペットを例えば100平米の部屋に敷設することを考えると約220万円のコス

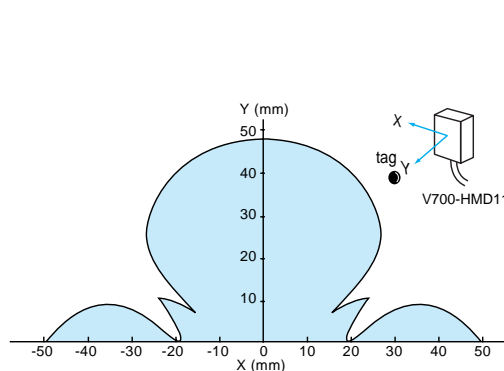


図7. RFIDリーダの指向特性。

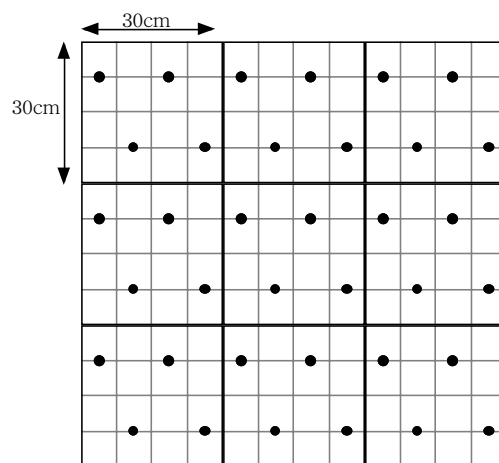


図8. カーペット裏のRFIDタグ配置。

トがかかる。一方、最近は、13.56MHzや2.45GHzなどの高周波帯のRFIDタグも使われるようになってきている。これらはPET樹脂のフィルムに印刷したアンテナで稼働するので、125MHz帯のRFIDタグの1/10程度の価格にできる。近い将来、RFIDタグの価格は1個10円程度になるとの予測もある[5]。その場合、タイルカーペットにRFIDタグを数枚取りつけたとしても、タイルカーペット価格(300円程度/1枚)と比べてコスト増は問題にならない程度になり、「位置を知ることができる・情報を読み書きできる建材」として普及する可能性もある。

本方式を、従来のARシステムなどで利用される磁気や超音波を使用する位置検出システムに比べると、解像度が低いものの、検知可能面積あたりのコストは非常に安価である。また検知領域を拡張する場合にも、RFIDタグの敷設枚数を増やすことで対応できるので、面積に比例する程度のコスト増で拡張可能である。

### 3.2 NaviGeta

前節のIDカーペット上でのユーザの位置を検出するウェアラブルなデバイスとして、図6に示すRFIDリーダ組み込み履き物、NaviGetaを試作した[7]。RFIDリーダのアンテナ面が床面から1mm程度の高さになるよう、下駄の歯の間に取り付けられたRFIDリーダにより、床のRFIDタグを読み取る。

図7に示したRFID検出範囲の特性から、RFIDタグ一つにつき、半径20mmの範囲、約13平方cmの領域をカバーできることがわかる。900平方cmのタイルカーペット一枚あたり4個のタグを取りつけたので、試作したIDカーペット上を歩行すると、5.6%の確率でRFIDの読みとり範囲に足を降ろすことになる。しかし実際には、RFIDタグ検出可能距離以下の高さに、読みとり必要時間以上停留すれば、RFIDタグを読みとることができるので、一步あたりの検出確率はさらに高くなると期待できる。予備実験として、6名の20歳代男性が自然に歩行した様子を撮影し観察した結果、移動の約50%以上にわたって、靴裏と床の高さがRFIDタグの読みとり範囲に収まることがわかった。次に、実際にNaviGetaを装着した10名の被験者にIDカーペットの上を歩行してもらい、RFIDタグの読みとり回数を測定した。床面の大きさ(1.5m四方)に制限があったためか、どの被験者も通常の活発な歩行に比べて、より摺り足に近い歩行を行ったことが観測された。ただし、家具等が多数設置されたオフィス環境を想定すれば、実際の歩行に近いデータであると考えている。

100歩の歩行のうちRFIDタグを読みとることができた回数(hit回数)と、RFIDタグの読みとりエラーが発生した回数(error回数)を、表1に示す。読みとりエラーの現象は、RFIDタグを発見することはできたが、読みとり距離内での十分な停滞時間が得られなかったことを示す。読みとり時間がさらに高速なRFIDタグを使用できれば、error回数をhit回数に取り込むことが可能であろう。この結果から、歩数の1/3以上の頻度でRFIDを読み

表1. 100歩あたりのRFIDタグ検出回数(hit)と読みとりエラー回数(error)。

被験者	hit	error
40歳代男性	34	9
20歳代男性	37	18
20歳代男性	29	2
20歳代男性	39	6
20歳代男性	56	8
20歳代男性	42	6
20歳代男性	54	21
20歳代女性	32	1
20歳代女性	37	3
20歳代女性	41	7

とれる様子がわかる。ユーザが2-3歩歩けば、位置を特定することが可能であり、これは空気ペンのアプリケーションでは実用的な性能である。

#### 4 空気ペンの応用

空気ペンにより、実世界に手書きメモを仮想的に貼り付けて、他人と共有できるようになる。このことにより、以下のような利用例が考えられる。

たとえば、駅の伝言板のように、場所にメモ書きをして人にメッセージを伝えることができる。道案内や作業指示などにも利用できる。サーバに置いたメモ書きデータは、本物の伝言板の文字と違い、見せ方を任意にコントロールできる。たとえば仲間内だけに公開するメモ書きが可能である。これを応用すれば、見える人を限定できる仮想看板なども実現できる。必要な人だけに広告を出すことができれば、広告場所の有効利用になり、無秩序な看板で景観を損なうことが無くなるかもしれない。

電子的なメモ書きは、インターネット経由で遠隔地から削除したり変更する事も可能である。メモを訂正するために、書いた場所にもう一度出かける必要はないのである。インターネット経由で、複数の遠隔地に同時にメモ書きを行うことも可能である。道案内のために道路脇に順路を書き込むために、実際にその場に出かけなくとも、たとえばタブレット上の地図をなぞるだけで、実世界に矢印を書き込むことができるであろう。

空気ペンの仮想のメモ書きは、本物の持つ直感的なわかりやすさに加えて、コンピュータデータであることの魔法的な便利さを兼ね備えているといえる。

#### 5 評価と今後の予定

空気ペンのシステムは、デモンストレーションの場で多数の人に使用してもらった。透過型HMDの画質・透過特性・視野角、位置センサ、頭部方向センサなどの性能は、本格的なARシステムと比較して劣っているが、これに対する不満はほとんど聞かれなかった。空中に文字が描けることの面白さや可能性が評価された様子であった。

しかし、ジャイロセンサを使ったペンにより思い通りの描画を行うことは、初心者にとって困難であった。ジャイロの特性から、手首のひねりをつかって、レーザポイントで壁に字を書くような動作を行う必要がある。そのことを説明すると描画結果が向上した。小型のタブレット[8]、ビデオカメラなどによるペン先追跡の手法も検討すべきである。

描画したメモの内容、位置などを変更したり、削除する機能の要望も出された。しかし、ウェアラブルコンピュータの限定されたユーザインタフェースデバイスにより、複雑な編集作業を行うことはユーザにとって負担であろう。このような作業は、ネットワーク経由で遠隔地のデスクトップコンピュータから行うよう実現したいと考えている。

#### 6 関連研究

場所に仮想的なメモ書きを貼り付けることで、携帯端末ユーザ同士のコミュニケーションを実現しようとするシステムにSpaceTag [9]がある。応用分野はほぼ同様であるが、本研究では場所へのメモ付け操作を、空中への書き込みという直感的なユーザインタフェースで提供することに重点を置いている。

カメラで撮影した画像をカード形式で実世界に貼り付ける AR システム[10]を使用すれば、仮想的な手書きメモを作成できる。本研究では、円滑なメモ描画操作の実現にはまだ課題が残るものの、紙への描画とカメラ撮影の操作を経ずに、空中への直接の描画を実現している。

床に敷設した RFID タグと靴に組み込んだリーダの組み合わせで、人の位置を検出する方式が、本研究と同時期に発表されている[11]。この研究が、CG で構成された 3D 世界をウォークスルーする高精度な AR/VR システムの位置検出装置を目指して高密度に配置した RFID タグを使用しているのに対して、本研究では、コミュニケーションメディアとしての応用を目指して、少量の RFID タグにより安価で広範囲に展開できる位置検出システムを目指している。

### [謝辞]

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「新規産業創造型提案公募事業」の支援を受けた[12]。NEDO 事業の共同研究グループである株式会社アルゴクラフトには、ソフトウェア開発とデバイス外形設計を担当していただいた。NaviGeta は、ソニーコンピュータサイエンス研究所の暦本純一氏が提案した架空の下駄型ナビゲーションシステムの名称であったものから、使用許諾いただいたものである。

### [参考文献]

1. Ronald T. Azuma. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4):355-385, August 1997. <http://www.cs.unc.edu/azuma/ARpresence.pdf>.
2. 山本吉伸, 椎尾一郎, "空気ペン 空間への描画による情報共有 - ", 第 59 回情報処理学会全国大会講演論文集(4), pp.39-40, 1999.9.29
3. S. Feiner, B. MacIntyre, T. Hollerer, and T. Webster, A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. Proc. ISWC '97 (First Int. Symp. on Wearable Computers), October 13-14, 1997, Cambridge, MA.
4. 椎尾一郎, 早坂達, "モノに情報を貼りつける - RFID タグとその応用 - ", 情報処理 Vol.40, No.8, pp.846-850, ISSN 0447-8053, (社)情報処理学会, 1999.8.15
5. エーアイエムジャパン, "これでわかったデータキャリア", オーム社, 1998
6. <http://www.omron.co.jp/ib-info/>
7. 椎尾一郎, "RFID を利用したユーザ位置検出システム", 情報処理学会研究会報告 00-HI-88, pp.45-50, 2000.5.12.
8. R. Linderman, J. Sibert, and J. Hahn, Towards Usable VR: An Empirical Study of User Interfaces for Immersive Virtual Environment, Proc. CHI '99, pp. 64-71, 1999.
9. 垂水浩幸, 森下健, 中尾恵, 上林弥彦, "時空間限定オブジェクトシステム: SpaceTag", インタラクティブシステムとソフトウェア VI (WISS98), pp. 1-10, December 1998.
10. 仲村 元亨, 大隈 隆史, 竹村 治雄, 横矢 直和, "AR 環境におけるカード型情報管理システム" 第 13 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.353-358, October 1997.
11. 島田義弘, 志和新一, 石橋聡, "屋内二次元位置測定システム", 信学 2000 総大, A-16-5, 2000.
12. 椎尾一郎, 大脇正彦, "場所依存情報共有システムに関する研究", 平成 11 年度新規産業創造型提案公募事業成果報告会予稿集, pp. 228-233, 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 2000.3.14-15.