

# 腕装着型カメラと反射指標を用いた装用型入力デバイスの検討

A Wearable Input Device Using Wristwatch-like Camera and Reflection Marker

正会員 久米 祐一郎<sup>†</sup>, 島田 正文<sup>†</sup>

Yuichiro Kume<sup>†</sup> and Masafumi Shimada<sup>†</sup>

**Abstract** Input interface devices worn by users are desirable for wearable computers. A tiny wristwatch-like TV camera was worn on the wrist of one hand and a retro-reflective marker was worn on a finger of the other hand. They were used for capturing hand gestures as a wearable input device. While looking at the positions of the camera and their own hands, the users pointed at captured areas with the marker for inputs by visual estimation. Near-infrared illumination, a retro-reflective optical marker, and a visual light-cut optical filter were used for extracting the marker from the captured images, and the position of the marker was calculated based on the captured images. LEDs mounted on the camera were also used for indicating the position of the marker. The pointing performances were empirically measured under various indicator conditions. Based on the experimental results, the device is sufficient for pointing at nine areas of a captured area with a high degree of accuracy.

キーワード：ウェアラブルコンピュータ，入力デバイス，腕時計型カメラ，再帰性反射，ポインティング，目測

## 1. ま え が き

PCの高性能化，小型化に伴ってウェアラブルコンピュータの研究開発が活発に行われており，商品化もされている<sup>1)2)</sup>。ウェアラブルコンピュータの入力デバイスとして，小型キーボードや片手操作型ポインティングデバイスのような，通常のPC用デバイスの流用や同様な概念のもの他に，音声認識や身につける装着型のものも提案されている。装着型としては機械式センサを用いるものや<sup>3)</sup>，テレビカメラと画像処理を組合せたものが提案されている<sup>4)~6)</sup>。テレビカメラと画像処理・認識の組合せとしては，小型テレビカメラを眼鏡に装着し，手のジェスチャを認識させるものや<sup>4)6)</sup>，手首に取り付けて，その手の指の動作を認識させるものも提案されている<sup>5)</sup>。

ウェアラブルコンピュータについては，決定的なアプリケーションが確立していないことが問題の一つとなっているが<sup>1)</sup>，その中で入力デバイスとして上記のようなものが提案されている。一方，近年の携帯電話等の入力デバイスとして，テンキーによりコマンドや文字入力が多くユーザに受け入れられている。一般的にPCの操作では，コマンドや文字入力に加えて，図形描画（ドロー）の機能も必要であるが，キー入力のみでは実現は難しい。またウェアラブルコンピュータは，使用者の動きを伴う作業時のアプリケーションが期待されており，その際できる限り両手を空けて

おく，ハンズフリー状態が望まれている。そのため，インタフェースデバイスとしては小型で常時装用可能であり，装着時の違和感が小さく，操作も容易なPCと同様のコマンド，文字，図形描画入力可能なものが必要と考えられる。

以上の背景から，本研究では腕装着カメラと再帰性反射指標を用い，目測による手指動作を利用する入力デバイスを試作した。コマンド入力等の操作に必要なポインティング特性について実験し，さらに一般的にPC操作に必要な図形描画および文字入力についても検討を行った。

## 2. 試作した入力デバイス

我々が日常，身につけている機器は腕時計，指輪，眼鏡などに限られている。その点を考慮して，本研究で提案する入力デバイスの基本概念は，片手の手首に装着した腕時計型の小型テレビカメラにより，もう一方の手の指に装着した指標の動きを撮像・検出し，ポインティングや描画等の入力に使用しようとするものである。これによってキーだけでは入力できない図形データなどの入力も可能となる。手の動きを検出する際に，ビデオ重畳等のディスプレイ表示は併用せずに，カメラと手指の位置の目測と運動感覚を頼りに動作入力することとした。これはウェアラブルコンピュータのディスプレイとしては，ヘッドマウントディスプレイ（HMD）が多く用いられているが，視野を遮るために作業の妨げになったり，行動時の安全性，また長時間装用による疲労等の問題もあり，表示デバイスとしては決定的なものではなく<sup>2)</sup>，また実際の応用では入力指示のみの用途も多いと想定されること，また装用するものが少ない方が望ましいこと等の理由による。

2005年7月19日受付，2005年11月7日最終受付，2005年11月25日採録

<sup>†</sup> 東京工芸大学 工学部

(〒 243-0297 厚木市飯山1583, TEL 046-242-9508)

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

(1583 Iiyama, Atsugi, Kanagawa 243-0297, Japan)

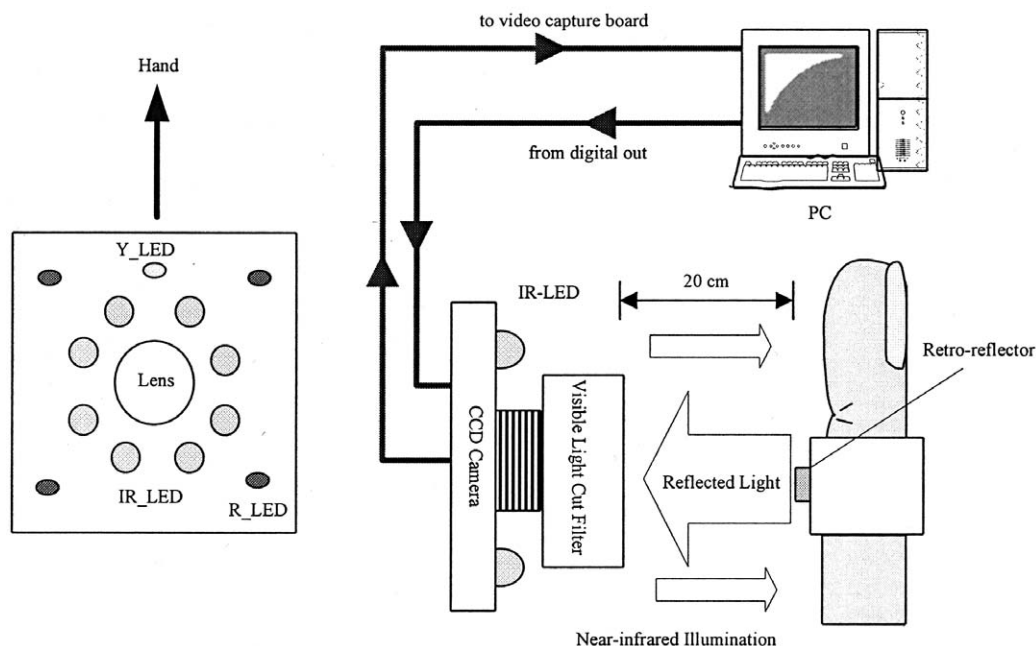


図1 試作した入力デバイスの概略  
Schematic diagram of prototyped input device.

本研究で提案する入力デバイスは製造、土木、物流等の作業現場において、行動や運動作業をしながら行うコンピュータへの指示や、検査結果等の簡単なデータ入力を想定しており、この点からも視野を蔽い作業の妨げとなる視覚ディスプレイを用いないこととした。

図1に、試作したデバイスの動作概念を、図2に、実際に装着して使用する様子を示す。腕に装着された近赤外領域にも感度があるモノクロテレビカメラ（秋月電子MK-0343E）の周囲には、近赤外LEDが取り付けられており、被写体となるもう一方の手を照明する。入力動作を行う手の指に、再帰性反射材のついた指輪を装着する。再帰性反射材は、光を入射した方向に反射させる性質を有し、道路標識等に広く使用されている。本研究で用いた再帰性反射材（3M Scotchlite）はシート状のもので、 $3 \times 3\text{mm}$ の大きさのものを伸縮性の布でできた指輪に取り付けた。そのため装着時、指の屈曲や伸張時により違和感を感じることはない。また再帰性反射材は、受動光学素子のため指標に電源も必要なく、反射光強度は他の部分からの反射と比較してはるかに大きい。さらに、環境光の影響を排除するために、カメラレンズには近赤外光を透過する可視光カットフィルタを取り付けた。

今回は試作システムであるため、PCはデスクトップ型であり、実時間で画像処理可能なPCIキャプチャボードを使用し、入力デバイスとの間はケーブルで接続されている。この構成では、カメラの自動利得調整（AGC）が動作する範囲で、直射日光が当たらない晴天時の屋外から、暗闇まで使用可能であった。いずれの場合においても、キャプチャされたモノクロ8ビット画像中で指標の画素値は255、周囲は約20、最も反射の影響がある皮膚で約60であった。指につけた指標を検出する範囲は、レンズからの距離が200mm、レンズの光軸に垂直な150mm四方の平面を想定



図2 カメラと指標を装着し操作している様子  
Tiny camera and retro-reflective maker worn by an user.

しており、図2の写真のように、使用者は自然な姿勢で、手を動かして入力作業を行うことができる。

図3にPCに取り込まれた画像の一例を示す。指や指輪も若干映っているものの、反射指標の輝度は周囲と比べて非常に高いことが見てとれる。そのため、前処理を行うことなく、キャプチャした画像中の最大画素値の位置をラスタ走査により検出することにより、周囲や背景に強い光源や、近赤外線反射率が極端に高い物体がない限り、指標の位置を実時間で計測できる。 $3 \times 3\text{mm}$ の指標はレンズから200mmの位置でキャプチャされたとき、画面内では約 $6 \times 6$ 画素の大きさであり、それらの画素値も飽和した255となり、周囲の画素値と比べて充分な差があり、ノイズの影響は無視できる。そのため最大画素値探索による指標の位置を求める方法でも誤差は小さく、ユーザから指標自体は見えないこと、手腕の運動を目測で行うことを考えると充分



図3 取り込んだ手と指標の画像例  
A captured image of hand and reflective marker.

な精度といえる。

今回試作したシステムでは、視覚ディスプレイを使用しないため、カメラの周囲にはコンピュータからの情報提示のために、黄と赤色のLED (図1に示したY\_LEDおよびR\_LED) を取り付けてある。

### 3. ポインティング特性

PCの入力デバイスとして必要とされる機能としては、文字入力、コマンド入力等のためのポインティング、描画等がある。ウェアラブルコンピュータの利用を考えると文字や図形入力より、作業時においては、各種のコマンドを入力するケースが多いと想定される。通常のPCでは、アイコンやダイアログのボタンをポインティング、クリックしてコマンド入力する。本研究では、入力平面にコマンド入力するアイコンを配置したと考え、そのアイコンに相当する領域をポインティングする動作を考えた。提案したシステムでは、目測により入力平面とポインティングすべき領域を判断して入力を行った。

カメラレンズから離れた位置に入力平面を配置したが、これをどの程度正確に目測により把握し、指示できるか検証するために予備実験を行った。被験者に目測により、カメラレンズから200mm離れた光軸上の点と思われる位置をポインティングさせた。その際のカメラレンズから指標までの距離をステンレススケールで測り、またキャプチャした画像中の指標の位置から、光軸が通る画像の中央からのずれを計測した。

被験者4名、各20回の結果として、距離については平均180mm、標準偏差19mm、光軸からのずれは平均17mm、標準偏差9mmであり被験者間の差も小さかった。この予備実験の結果より、入力に使用する平面を目測により、ある程度正確に把握できることが明らかになった。

本研究では、試作したデバイスを評価するために、以下に述べるようにポインティング特性の測定を行った。

カメラの検出領域の平面に図4に示すように、4および9等分した被ポインティング領域を作り、その領域をポインティングするタスクの精度を測定した。これはコマンド入力するために設定されたアイコンを正確にポインティングすることに相当する。

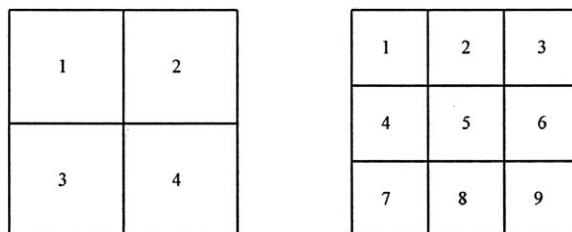


図4 ポインティング実験のための領域分割  
Area divisions for pointing experiments.

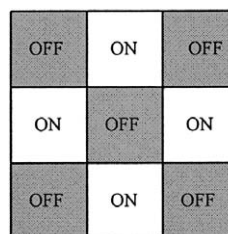


図5 条件 (3) の補助LED表示例  
LED indication under the experimental condition (3).

その際に黄色と赤色のLEDを使い、以下の三つの条件を設定した。

条件 (1) : LEDによる補助情報提示なし

この場合は、カメラと指の位置を自分自身で目測すると同時に、運動感覚を頼りにポインティングを行う。

条件 (2) : 黄色LEDによる検出領域の提示

反射指標がカメラでキャプチャされて、位置計測が行えているとき点灯させる。

条件 (3) : 赤色LEDによる隣接領域の提示

キャプチャされている状態を示す黄色LEDの点灯に加えて、図5のように市松模様状に指標の位置に応じて、隣接するポインティング領域を点灯、消灯により提示する。

実験は4分割領域について、上記の補助情報提示条件 (1)、条件 (2) について行い、9分割領域については条件 (1) ~ 条件 (3) について行った。各ポインティング領域を20回ずつ、ランダムに指示し、デバイスを着用した評価者が、指示されたポインティング領域を指示したと判断した際の位置を計測した。被験者は4名を用いた。

図6に4分割した場合、条件 (1) の場合のポインティングした平均座標と標準偏差を示す。図中の平均座標を示すマークは位置の順を示しているが、位置の順が入れ替わる現象がなかったため、凡例は省略してある。視覚と手腕の運動感覚を頼りにカメラの光軸と、その周囲の位置関係を判断し、精度良くポインティング作業が行えており、指定したポインティング領域への到達度は95%であった。また、4分割時に条件 (2) として、カメラによって指標が検出されている場合を黄色LEDで表示した場合の結果を図7に示すが、指示したポインティング領域への到達度は100%となった。図6に示した条件 (1) の結果と比べると、ポインティングした位置の平均は、入力平面の周辺部へ寄っている。これはLEDの補助提示により入力平面と、その外側を明確に識別できたためと考えられる。

9分割時に条件 (1) の場合の結果を図8に示す。9分割とし

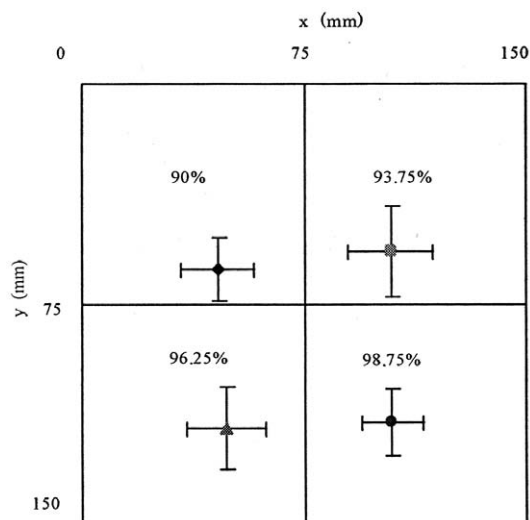


図6 条件(1)による4分割時のポインティング特性  
Pointing performance for four divisions under the experimental condition (1).

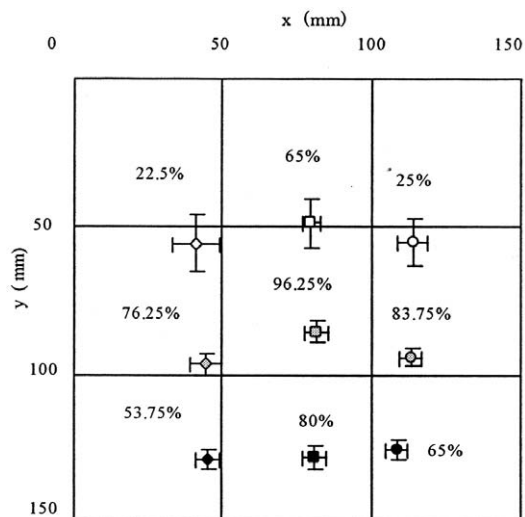


図8 条件(1)による9分割時のポインティング特性  
Pointing performance for nine divisions under the experimental condition (1).

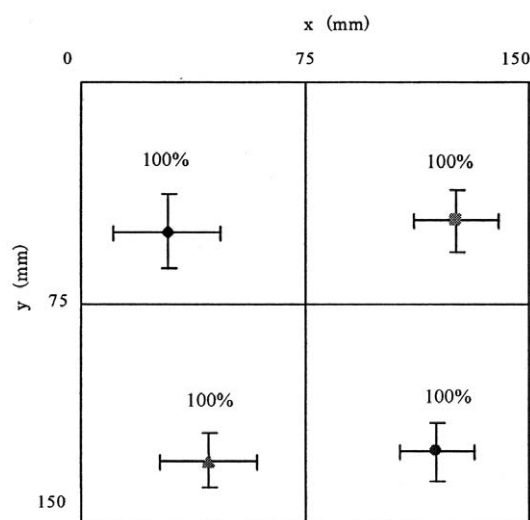


図7 条件(2)による4分割時のポインティング特性  
Pointing performance for four divisions under the experimental condition (2).

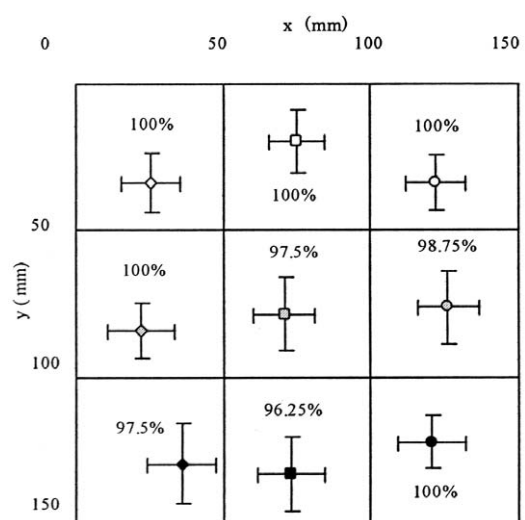


図9 条件(3)による9分割時のポインティング特性  
Pointing performance for nine divisions under the experimental condition (3).

たポインティング領域では、隣接する領域の判断が難しく、指示した位置は光軸寄りへ偏移しており、精度は低く、到達率は63%であった。

9分割時、条件(2)の場合には入力平面を補助提示により認識できるため、到達率は93%に向上した。傾向としては4分割時と同様、ポインティング位置は入力平面周辺部へ寄った結果となった。

9分割時に条件(3)として隣接領域を赤色LEDで補助提示した場合の結果を図9に示す。図8の結果と比較して、ポインティング精度は大幅に向上し、到達率は99%となった。到達率は高くなったが、逆に位置のばらつきは大きくなっている。これは、領域の境界をLEDによる補助提示により明確に識別できるため、指標がポインティングすべき領域へ入ったとき、境界近傍を指示しがちになったためと考えられる。

結果をまとめると、検出画面を4分割したポインティングでは、条件(2)で100%の目標領域到達率、9分割の場合、条件(3)として指標の入力平面内検出とポインティング領域の境界を補助提示することにより、99%の到達率となった。

#### 4. 考 察

本研究では近赤外照明、再帰性反射指標、可視光カットフィルタを用いて撮像することにより、簡単な画像処理によって、目測と手指の動作による入力システムの実現性を示した。提案したシステムでは、カメラによる検出領域を4分割にしたポインティングでも、目測と運動感覚によりある程度の精度が得られた。また補助情報をLEDで提示することにより、9つのポインティングによる入力を高精度で行えることを示せた。補助LEDの点灯方式の改良により、さらに多くの領域の指示も高精度で行える可能性がある。これによって、ウェアラブルコンピュータでコマンド入力等の操作が可能になると思われる。

ポインティングによるコマンド等の入力を行う際には、通常のPCではアイコン位置の指示と同時に、それを選択したことを入力するクリック動作が必要となる。今回の指に装着した再帰性反射指標では、コマンド入力等のための入力平面内のしかるべき領域をポインティングしたときに、その位置で指を折り曲げ、カメラに対して指標を遮蔽する

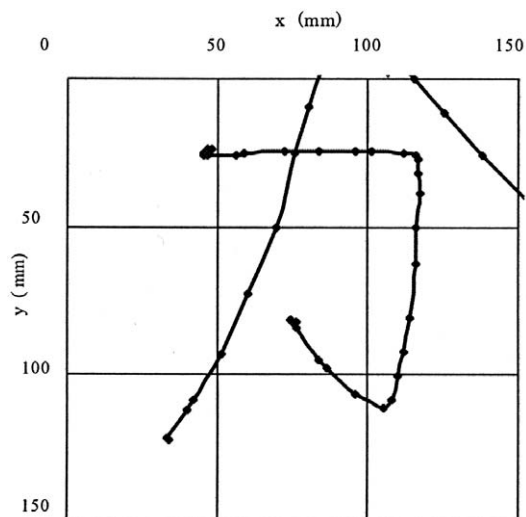


図10 空中に文字「か」を描いた軌跡の例。

A trace example of drawing a Japanese character, "ka", in the air.

ことにより、クリックに相当する指示が可能である。これについては、以下のような予備実験を行った。キャプチャされた画像中の反射指標の画素値は周囲と比べて大きいため、閾値を画素値200とし、画像から200以上の画素値がなくなったときをクリック相当の動作と判断した。またその直前のフレーム中の指標の位置をクリック時の位置として取得した。結果として違和感なく、指標が指の折り曲げにより指標の位置を入力することができた。フレームレートは30fpsであり、ポインティング時の人間の指の動きの速さを考えた場合に、この方法で誤差はほとんど発生しない。指の折り曲げ動作の方法など、検討の余地は有るが、指標遮蔽は有効な一つの方法と考えられる。

また、カメラの向きが自分自身の手であり、周囲の他人へカメラを向けることも少なく、心理的な影響も小さい利点もある。

文字入力については、本研究で述べたポインティング作業のように、腕に装着したカメラに向かって、文字の形態を空中に描いて入力する手書き方式が<sup>7)</sup>、可能であろうと考えられる。図10にこのシステムを用いて、指の折り曲げによる指標遮蔽を使い、空中に文字「か」を書き順通りに描いたときの軌跡の例を示す。これはカメラが反射指標を捕捉しているとき、画面内の指標座標を連続的にPCで取得し、それを図に描いたものである。この文字形状から提案したデバイスでは応用として、手書き方式による文字入力も可能と思われる。

文字入力については、携帯電話で広く利用されているテンキーの利用も考えられるが、文字選択肢の表示のための視覚表示も必要となる。今回の試作システムでは、視覚ディスプレイなしでも入力可能なデバイスを考えていること、またウェアラブルコンピュータの想定される用途では、文字入力の頻度はそれほど高くはないと考えられ、手書き入力でも対応可能と考えられる。また図10に示した文字の形状の正確さから、図形情報の入力にも使用できると考えられる。

本研究で試作したデバイスでは両手を用いて、動作によ

り入力を行うもので、手で持つものはないものの、ウェアラブルコンピュータで考慮されている完全なハンズフリーにはなっていない。しかしながらハンズフリーである必要性については、応用との関連であると考ええる。

本研究では、視覚ディスプレイを用いなかった。これまで提案あるいは商用化されているほとんどのウェアラブルコンピュータではHMDが用いられている。しかし、HMDについては常時装着するためには視界の制限、安全性、疲労等の解決すべき課題も多く<sup>2)</sup>、その他の視覚ディスプレイ、あるいは他の感覚として聴覚や触覚ディスプレイの使用も考える必要がある。

## 5. む す び

本研究で提案した腕装着カメラと、再帰性反射指標により、常時装着可能な入力インタフェースデバイスを試作、ポインティング特性を測定した結果、カメラと指標の位置関係を目測と運動感覚を頼りにして、入力平面を4分割した場合には、入力平面を補助情報提示した場合100%、9分割した場合には隣接領域を補助提示したときに99%の精度が得られ、実現の可能性を示すことができた。

今後は文字入力機能の実装や、情報の表示方法について検討を行っていきたい。またカメラ部分とPC本体間を無線化して、実際に装着して評価できるシステムの開発も課題である。

本研究は一部、文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業(平成17年度～平成21年度)の助成により遂行した。

## 〔文 献〕

- 1) “小特集：ウェアラブルコンピュータ”，映情学誌，57，3（2003）
- 2) 塚本昌彦：“ユビキタスコンピューティング，第3回ウェアラブルコンピューティング”，ヒューマンインタフェース学会誌，5，1，pp. 27-32（2003）
- 3) 福本雅朗，外村佳伸：“指鉤：手首装着型コマンド入力機構”，情処学論，40，2，pp. 389-398（1999）
- 4) 佐々木博史，黒田知宏，眞鍋佳嗣，千原國宏：“『てりひらめにゅう』ウェアラブルコンピュータ用入力インタフェース”，VR学論，7，3，pp. 393-402（2002）
- 5) A. Vardy, J. Robinson and Li-Te Cheng: "The WristCam as Input Device", Proc. International Conference on Wearable Computer, pp. 199-202（1999）
- 6) N. Ukita, M. Kidode: "Wearable Virtual Tablet: Fingertip Drawing on Portable-object using and Active-infrared Camera", Proc. International Conference on Intelligent User Interface, pp. 169-176（2004）
- 7) 園田智也，村岡洋一：“空中での手書き文字入力システム”，信学論D-II，J86-D-II，7，pp. 1015-1025（2003）



**久米祐一郎** 1985年，早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。(株)東芝，早稲田大学理工学部助手，シカゴ大学医学部研究員，SRIインターナショナル主任研究員等を経て，現在，東京工芸大学教授・教務部長。バーチャルリアリティ，視覚障害者補助技術等の研究に従事。工学博士。正会員。



**島田 正文** 2004年，東京工芸大学工学部光工学科卒業。在学中，腕装着型カメラを用いる入力インタフェースデバイスの研究に従事。現在，マネジメントサービス(株)勤務。