

# ホルダ内におけるスタイラスの動作量を利用した入力インタフェース

三 浦 元 喜<sup>†</sup> 國 藤 進<sup>†</sup>

PDAをはじめとする小型デバイスの入力インタフェースを自然に拡張するものとして、加速度や位置センサを利用する手法が提案されているが、姿勢やジェスチャの認識精度の問題や、周囲の環境に依存することが実際の小型デバイスに適用するうえでの障害となっている。我々はタッチパネル操作可能な小型デバイスが標準的に備えているスタイラスを回転と伸縮が可能な可動部品としてとらえ、その動作量をデバイス操作に利用する入力インタフェース RodDirect を提案し、プロトタイプを実装した。本稿では RodDirect の特徴と、可能となるインタラクションを考察したうえで、それらを考慮した応用アプリケーション例を示す。また画面スクロール作業を対象とした評価実験について言及する。習熟した被験者を対象とした場合、細かな調整を必要としないスクロール作業に関して、提案手法は画面ドラッグを用いた入力手法よりも作業時間を短縮できることを確認した。RodDirect の手法は PDA のスタイラスに限らず、携帯電話のアンテナなど小型デバイスに付属する可動部品を利用できる点で汎用性が高い。

## An Input Method Using Movements of Stylus in Holder

MOTOKI MIURA<sup>†</sup> and SUSUMU KUNIFUJI<sup>†</sup>

Portable handheld devices inherently involve difficulties with methods of input due to their compact size. Several approaches to attach extra sensors have been proposed, but these have not enabled size or exterior design to be minimized. We propose a novel and simple input technique "RodDirect" for handheld devices that makes use of a stylus in a holder that is twisted and pushed/pulled like a knob. Both rotating and sliding the stylus inside the holder can simultaneously adjust two parameters. We implemented a prototype system with an inexpensive image sensor, and evaluated its input. An ANOVA test and further comparison revealed that our method could perform a rough scroll task faster than tap-and-drag operations on a screen. The input technique is widely applicable for physical movable objects attached on a small device not only a stylus of PDAs but also a rod antenna of cellular phones.

### 1. はじめに

PDAをはじめとする小型デバイスはサイズと重さの制約があるため、入力インタフェースを強化・拡張することが難しい。小型デバイスの多くはポインティングデバイスとしてタッチパネルを搭載し、スタイラスやペンによる画面への直接操作を可能としている。ユーザは画面に対するタップやホールド、ドラッグ操作によってアイコンやオブジェクト、スクロールバーなどを操作する。しかし、小型デバイスの画面は解像度、分解能ともに制限がある。また画面に対する直接操作には汎用性はあるものの、物理的な操作感が得られにくいという問題がある。

小型デバイスの可搬性を利用し人間にとってより自然なインタラクションを提供することを目的とし

て、各種のセンサを付加し小型デバイスの操作性を高める研究が行われている。Fitzmauriceらは位置と方向を利用して仮想空間のナビゲーションを行う実世界指向インタラクションを小型デバイスに適用した<sup>1)</sup>。Rekimotoはデバイスの傾きとモード切替えボタンを用いて地図のナビゲーションやメニュー選択を行う手法を提案している<sup>2)</sup>。また HyperPalette<sup>3)</sup> や Toss-it<sup>4),5)</sup> は、仮想的なカードをすくいあげる動作や情報を投げる動作を利用して、環境や機器間の情報の転送や連携に利用している。これらの研究の多くは小型デバイスの可搬性を活かし、実世界のメタファに関連付けた物理的かつ直感的な操作を実現し、拡張現実感を小型デバイスの操作に適用した点で有効性が高い。しかしデバイスの3次元位置や姿勢を高精度に取得するためには環境にセンサを配置する必要があり、その場合使用場所が環境に依存するためモバイル用途との親和性が低い。また傾きを利用する場合デバイスの姿勢に制約が生じるため、長時間連続して扱うのに

<sup>†</sup> 北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科  
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

向いていない。

類似するアプローチとして感圧センサを利用し、人間の自然な操作を認識しようという研究が行われている。Harrison らは傾きを利用したナビゲーションや感圧センサを用いたページ送りメタファを提案している<sup>6)</sup>。Hinckley らは傾きセンサやタッチセンサなどによりユーザがデバイスを扱っている状況を検知し音声メモの起動や画面方向の切替えなどを自然に行うことを提案している<sup>7)</sup>。感圧センサは他のセンサの情報と補完しながら利用するのに適しているが、単体では複雑な機能を実現することは難しい。またセンサはデバイスの外部に露出している必要があるため、筐体の外観やデザインの自由度に影響を及ぼす可能性がある。

我々は従来の小型デバイスが備えている機構を最大限利用しつつ、新しいモダリティを提供する「スタイラスを利用した入力手法 RodDirect」を提案している<sup>8)</sup>。本稿では RodDirect の概要と特徴、適用例について説明した後、スクロール作業を対象とした評価実験について述べる。

## 2. RodDirect

RodDirect はスタイラスホルダ（以下、ホルダ）に格納されている時点におけるスタイラスの動作量や、携帯電話におけるアンテナなど、小型デバイスが備えている物理的に回転・伸縮可能な可動部品を利用し、タンジブルで直感的・直接的な入力を可能とするインタフェースである。

以降簡単のため可動部品としてスタイラスを用いる例で説明する。一般にスタイラスはタッチパネルを詳細に操作する必要があるときにホルダから取り出されて使用されるものであり、画面へのタップ操作を行わないときや PDA を持ち運ぶときにはホルダ内に格納されている。断面が円形のスタイラスの場合、図 1 に示す回転とスライドが可能である。ホルダの形状とスタイラス長の物理的な制約により、スライド可能な範囲は限定されるが、回転量に関しては限定されない。RodDirect では、スタイラスがホルダ内に格納されている状態における回転量とスライド量という 2 種類の動作量を読み取り、デバイスへの入力として利用する。

円筒を入力操作に利用するという点では Isopoint Trackbar や RollerMouse など、回転とスライドによるポインティングやスクロールをトラックボール風の操作によって行えるデバイスが存在する。RodDirect

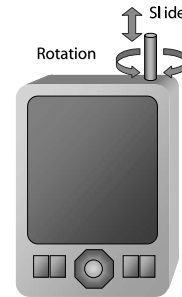


図 1 ホルダに格納している間のスタイラス動作  
Fig. 1 Movements of stylus in holder.



図 2 RodDirect による操作イメージ  
Fig. 2 Typical interaction with RodDirect (conceptual image).

は一般的な PDA に付属する、タッチパネルを操作するためのスタイラスといった別用途のために組み込まれている可動部品を利用することによって、これらの専用デバイスに似た操作を提供する手法と位置付けることができる。

図 2 は RodDirect によるインタラクションの例を示したイメージである。ユーザは、親指と人差指または中指でスタイラスを保持し、回転とスライド動作により操作を行う。ホルダとの適切な摩擦によりスタイラスの位置が保存される場合はスタイラスから手を離しても入力状態を保つことができる。図 2 では、左手で PDA 本体を保持し、右手でスタイラスの操作を行っているが、クレードルに PDA 本体が固定されていれば片手で操作することができる。RodDirect による操作は、通常の画面タップによる文字やジェスチャ入力と比べると、利き手以外の手で操作することは比較的容易である。たとえば左手で操作を行う場合は、図 2 における画面の向きとスタイラス回転量の符号をプログラムで反転させることで実現できる。

### 2.1 デバイス把持に関する考察

スタイラスを用いて画面タップ動作を行う場合、通常スタイラスを利き手で持ち、PDA をもう一方の手

で把持する．このときスタイラスとPDAの間には物理的な制約がないためユーザは自由に動かすことができる反面，正確なタップ操作が必要な場面では画面とスタイラス双方の相対位置を合わせる必要がある．このため電車の中など不安定な場所では，ユーザは脇を締めたり，利き手をPDAに添えたりするなどの工夫により位置を安定させていた．RodDirectの場合，両手を使用してスタイラスとPDAを保持しなければならない点は通常のタップ操作と同じであるが，スタイラスとホルダのあいだに物理的な制約が働いているため相対位置を保ちやすい．

## 2.2 タスクと操作手法との整合性

我々は小型デバイスにおけるインタラクションを以下の3つのフェーズに分類し，ユーザは遂行しようとするタスクの種類に応じて適切に移行すべきであると考えている．

- (フェーズ1) ボタンのみによる入力(片手入力)
- (フェーズ2) ホルダ内でのスタイラス操作 + ボタン(主に両手入力だが，ユーザはすぐにフェーズ1に戻ることができる)
- (フェーズ3) スタイラスによる画面タップ(両手入力)

通常のスタイラス操作(フェーズ3)は文字やジェスチャ入力のようなタップやドラッグ操作を連続的に行うタスクには適している．しかしスクロールやパラメータ調整のように比較的単純で，かつ逆操作可能なタスクには過剰であるといえる．反面，フェーズ1に該当するボタンや十字キー，ジョグダイヤルは片手で操作できるという利点はあるものの，細かな調整がしにくいいため遂行に難がある．RodDirectはフェーズ1とフェーズ3のあいだに位置づけることができ，メモ閲覧やスケジュール確認といったタスクに適切なインタラクションを提供する．またフェーズ2とフェーズ1の移行はフェーズ2とフェーズ3との移行に比べて容易であることから，短時間のメモ閲覧やスケジュール確認タスクに向いており，携帯用小型デバイスに適した新しいインタラクションとして価値がある．

## 2.3 手法についての考察

RodDirectでは，スタイラスといった可動部品を「つまみ」として利用する．つまんで引き上げたり，回したりする動作は，「りゅうず」による腕時計の時刻合わせにも利用されており，小型の機器に適したインタフェースであるといえる．また回転操作はオーディオ機器のボリュームやバランス調整にも利用されていることから，RodDirectは調整タスクにも適している．従来タッチパネルを用いて微調整を行う場面では，ス

クロールバーや値を増減させるボタンを操作するため，ユーザはタップ操作やドラッグ操作を連続して行う必要があった．

PDAとスタイラスを用いて構成する場合，RodDirectではPDAのタッチパネルを利用しないため，タッチパネル操作と併用したインタラクションも可能である．たとえば，予定を別の日に移動する場合に，オブジェクトを指先や爪でタップ&ホールドしながらRodDirectでスタイラスを回転させ，日付を変更するといった操作が行える．同様に，傾きや感圧を利用したインタラクション手法との併用についても制限は少ない．

## 3. プロトタイプの実装

RodDirectの操作性について調べるため，PDAを対象としたプロトタイプを構築した．スタイラスの回転量および平行移動量を詳細に取得するため，MouseField<sup>9)</sup>で利用されている光学式マウスのイメージセンサを利用した．図3(a)および(b)に，プロトタイプを示す．PDAにはPocketPC(hp iPAQ h1930)を利用し，スタイラスが露出している部分に光学式マウス(ELECOM M-BG2URLBU，分解能：800カウント/inch)の基板を固定した．

イメージセンサの情報をPDAに送信する方法として，プロトタイプではPCを介することで実現した．マウスをWindows XPが動作するPCに接続し，PC



(a) Back view



(b) Front view

図3 プロトタイプ実装．スタイラスの動作を取得するため光学式マウスのイメージセンサをPDAに取り付けた

Fig.3 RodDirect prototype. Sensor board of optical mouse is attached behind PDA.

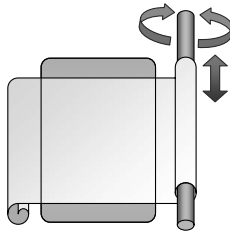


図 4 スクロールメタファ  
Fig. 4 Metaphor for Scrolling.

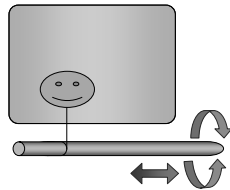


図 5 オブジェクト移動メタファ  
Fig. 5 Metaphor for Moving Object.

には接続された複数のマウスの動作量を個別に取得・送信する機能を持つプログラムをサーバとして実行しておく。また PC と PDA を ActiveSync で接続しておく。PDA アプリケーションは起動時に PC で動作するサーバに接続し、随時イメージセンサの情報を問い合わせる。これによりスタイラスの移動量に応じた処理を行うことができる。この方式におけるシステムの操作分解能は、光学式マウスの操作分解能に依存する。今回作成したプロトタイプではスタイラス 1 回転で約 420 カウント、スライド動作で約 1,600 カウントの変化が得られた。

### 3.1 インタラクション手法

RodDirect を利用したインタラクション手法は大別すると (1) スクロールメタファ, (2) オブジェクト移動メタファ, (3) パラメータ調整, (4) ジェスチャコマンドの利用, の 4 つが考えられる。

#### 3.1.1 スクロールメタファ

スクロールメタファとは、図 4 に示すように、スタイラスに仮想画面が巻き付いており、回転とスライド操作によって仮想画面の表示位置を移動させるメタファである。スライド動作量には制限があるが、ボタンを押している間仮想画面の動きを固定する「クラッチ機能」を導入することにより問題を緩和できる。

#### 3.1.2 オブジェクト移動メタファ

図 5 に示すように、スタイラスの動きに合わせてキャラクタやオブジェクトを平行ならびに上下移動するメタファである。スライド操作に関しては、ユーザは物理的なスタイラスの移動と画面内のオブジェクト移動を対応させやすいため、操作を直感的に認識しや



図 6 地図ビューア  
Fig. 6 RodMapView.

すくなると考えられる。

#### 3.1.3 パラメータ調整

仮想画面スクロールやオブジェクト移動以外に、操作と画面が直接対応しないパラメータを変化させるために回転・スライド動作量を連続的に対応付けることができる。具体的には音量や画面輝度の調整、ズーム率の変更などに適用できる。

#### 3.1.4 ジェスチャコマンドの利用

スタイラスの動作量や移動速度がある閾値を超えたときや登録したジェスチャが実行されたときに、対応コマンドを実行するといったことが可能となる。これにより画面やモードの切替えといった操作が可能となる。

### 3.2 サンプルアプリケーション

上記のインタラクション手法を適用したサンプルアプリケーションについて述べる。これらのアプリケーションは GapiDraw<sup>10)</sup> を利用し、Microsoft eMbedded Visual C++ 3.0 により実装した。

#### 3.2.1 地図ビューア

地図を閲覧するアプリケーション RodMapView (図 6) を構築した。RodMapView は、スクロールメタファとパラメータ調整によるズーム機能を適用したサンプルアプリケーションである。ボタンを押しながらスタイラスを回転することで現在表示している地図の中心点を固定した状態でズーム率を変更できる。またボタンを押さずにスタイラスを回転・スライドすることで任意のズーム倍率にて地図をスクロールできる。

#### 3.2.2 スケジューラ

予定を確認・移動できるアプリケーションとして、スケジューラを構築した。スケジューラはスクロールメタファと画面タップ操作を同時に使用する例として作成した。ユーザは回転・スライド操作でカレンダー表示の日付と時間をスクロールし予定を確認できる。ま

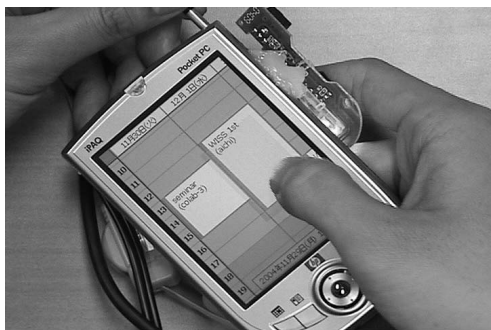


図 7 スケジューラ：画面タップによる予定移動の様子  
Fig. 7 Scheduler: Moving item with tapping.



図 9 インベーダゲーム  
Fig. 9 Space Invaders.

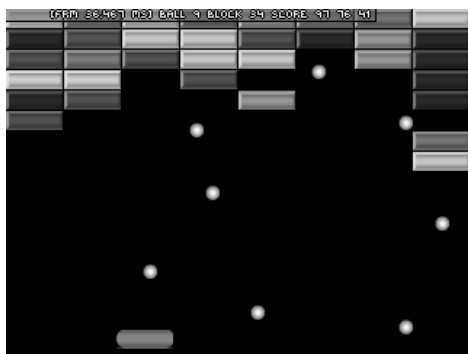


図 8 ブロック崩しゲーム  
Fig. 8 Block Breaker.



図 10 アプリケーション切替えユーティリティ：スタイラス抜き取り動作によるモード決定  
Fig. 10 Application Switching Task. "Drawing out" is detected.

た画面に表示している予定の一部を指で押さえながらスクロールすることによって、予定を別の日に変更するといった機能を実現している。図 7 に予定をタップしながら移動している様子を示す。

### 3.2.3 ゲーム

オブジェクト移動メタファの使用例を示すため、2種類のゲームを実装した。1つ目はパッドを操作してボールを跳ね返すブロック崩しゲーム（図 8）であり、もう1つはキャラクタを移動しながら進めるインベーダゲーム（図 9）である。どちらのゲームにおいても、パッドやキャラクタの平行移動をスライド物理量によって直感的に位置指定できる。画面を直接タップするのに比べスライド操作は間接的であるため、ゲーム性（ゲームとしての面白み）が向上する。回転動作は各ゲームで別々の割当てを行っている。ブロック崩しゲームにおいては、パッドの上下移動とボールを打つときの反発係数の調整に利用しており、単調になりがちなゲーム操作に変化を持たせている。またインベーダゲームにおいては、回転動作を攻撃用レーザービームの射出と速度調整に割り当てており、回転速度に応じたビームを発射できるようにしている。

### 3.2.4 ユーティリティ

スタイラス動作量の取得機構を有効に活用するための手段として、スタイラスが抜かれたイベントをジェスチャとして検知してモードを切り替える（たとえば、文字入力用のパネルが起動する）といった応用や、スタイラスの回転量があるしきい値を超えたときに、回転方向をコマンドとして予定表/連絡先/メールなどのアプリケーションを切り替えるといった利用が考えられる。このような動作を模したアプリケーション（図 10）を作成した。ユーザはスタイラスの回転により画面を切り替えることができる。またスタイラスがホルダから抜かれる動作をスライド方向と速度から判別し、現在表示中のアプリケーションモードを確定するといった用途に利用できることを確認している。

また「アプリケーション切替え」例と同様の操作をオフィスにおけるプレゼンス切替えに適用した戸口案内版システムを作成した（図 11）。この戸口案内版システムは、スタイラスの回転操作により行き先やプレゼンス表示を切り替えたり、スライド操作により予定

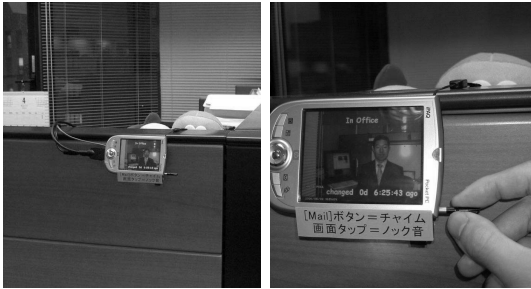


図 11 戸口案内版：回転によるプレゼンス状態の切替え

Fig. 11 Presence Board: Switching presence by Rotation.

から戻るまでの予想時間を入力したりすることができる。RodDirect を用いると、このような比較的複雑な設定操作であっても物理的操作により手軽に変更できるため、継続的使用における負担も軽減できる。

#### 4. 関連研究

DualTouch<sup>11),12)</sup> は PDA における 2 点ポインティングを利用した入力技法である。タッチパネルの認識特徴を利用し特殊なハードウェアを使用せずに 2 点の入力座標を認識し、回転やズームといった動作を直感的に行うインタラクションの可能性を示している。DualTouch では 2 点を認識する手法の制約上、ユーザが 2 点を同時にタップすることができない。また操作できる範囲は PDA 画面の広さと分解能に依存する。

Behind Touch<sup>13)</sup> では携帯電話などの小型デバイス画面の背面に接触と押し込みを検知するセンサを取り付け、メニュー選択や文字入力に利用することを提案している。ユーザは人差指によって画面の裏から画面に対して直感的な操作を行えるという利点があるが、タッチセンサをデバイス外面に配置しなければならないという制約がある。RodDirect における動作量検知センサはデバイス内部に埋め込むことが可能であり、機構を露出する必要がないためデバイス筐体のデザインに与える制約も少ない。

RodDirect に関連した操作手法・技術として、Scroll Display<sup>14),15)</sup> や ScrollPad<sup>16)</sup> がある。これらは背面にマウスと同等のセンサを付加し、実空間平面上の移動距離に合わせて画面をスクロールしたりメニューを選択したりするものであるが、モバイル環境で近くに適切な面がない場合は利用できない。Peephole Display<sup>17)</sup> では平面がない場合でも利用可能とするため、3 次元位置トラッカを使用して仮想平面の移動やズームを直感的に行う手法を提案している。しかし環境にトラッカがあることを前提としている点で、モバイル用途には向いていない。RodDirect の機構は環境に依

存しないため、モバイル利用に適しているといえる。

#### 5. 評価

スタイラスの動作量を利用した入力手法 RodDirect の有効性を評価するため、以下の実験を行った。

##### 5.1 実験設定

RodDirect の特性であるスタイラスの回転とスライド動作を同時に調整することによって遂行するタスクとして、我々は画面スクロールを選択し、実験システムを構築した。図 12 に構築した実験システムの画面を示す。画面スクロールを利用した実験として、被験者が仮想画面内に提示される円形のターゲットを実画面中央に移動させたのちボタンを押して選択する、というタスクを設定した。

タスクの詳細について述べる。ターゲットを提示する仮想画面のサイズは、横 1,280 ピクセル、縦 1,200 ピクセルとした。ターゲットを提示する位置  $(tx, ty)$  は仮想画面内の縦横 960 ピクセル領域内のランダムな位置である(図 13)。実画面に表示されない位置に提示されるターゲットの方向と距離を被験者に通知するため、「彗星の尾」状の線分を表示する。「彗星の尾」状の線分は、試行開始時の実画面中央  $(sx, sy)$  とその周囲の 8 つの点  $(sx \pm 10, sy \pm 10)$ ,  $(sx \pm 10, sy)$ ,  $(sx, sy \pm 10)$ , あわせて 9 点を始点とし、ターゲットの中心  $(tx, ty)$  を終点とする 9 つの線分から構成される。よって試行開始時にはかならず実画面に「彗星の尾」状の線分が表示されており、被験者はその線分をたどるように仮想画面をスクロールすることにより、ターゲットを発見することができる。ターゲットが実画面中央の点に接触している状態で被験者が画面左のボタンを押すとターゲットが消滅し、1 回の「試行」が終了する。このとき効果音とともに次のターゲットが提示され、ただちに次の試行を開始する。ターゲットが実画面中央の点に接触していない状態でボタンを押すと、警告音が提示され、試行はそのまま継続する。

被験者は異なるターゲットサイズと距離で計 40 回の試行を連続して行った。ターゲットのサイズ(直径)は 50 ピクセルから 20 ピクセルまで、10 ピクセルずつ減少し、被験者は各サイズにおいて 10 回ずつ試行を行う。各 10 回の試行において、ターゲットを選択するために必要なスクロール量を統制するため、試行開始時の実画面中央と、ターゲット提示位置との距離  $D$  (ピクセル)は、 $D = 20 + 80i$  (ここで  $i$  は試行回数:  $i = 1, 2, \dots, 10$ ) とし、提示方向をランダムに決定した。ただし各 10 試行のうち最初の 2 試行については、試行開始時にターゲットが画面内に表示されている場

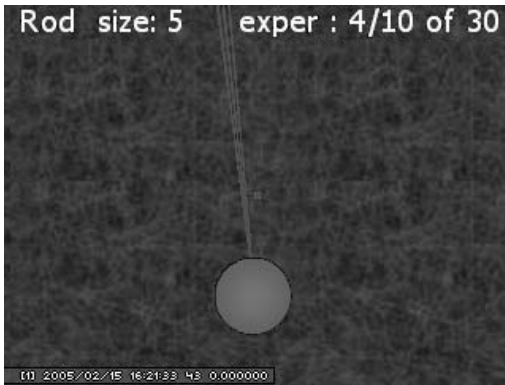


図 12 実験システムの画面（直径 50 ピクセルのターゲット）  
Fig. 12 Screenshot of experimental application. Diameter of target decreased from 50 to 20 pixels (The target was 50 pixels).

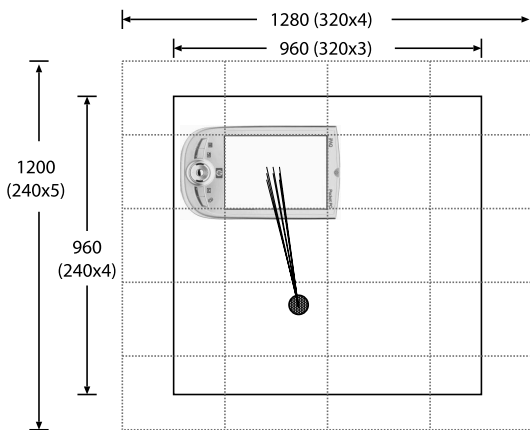


図 13 仮想画面サイズとターゲットが置かれる領域  
Fig. 13 Virtual screen size and inner target field.

合があるため、評価対象から除外した。

スクロールタスクを遂行するための入力手法として、[Rod] [Drag] [Walk] [Tilt] の 4 種類を準備した。[Rod] は提案する図 4 のメタファに基づき、仮想画面の横スクロールをスライド量、縦スクロールを回転量で調整する手法である。[Drag] は文献 18) で “panning by pushing the background” として示されている方法で、実画面をペンでタップし、そのまま押さえながらドラッグすると、ドラッグした方向と量だけ仮想画面を引きずって動かすことができる操作である。[Walk] は文献 19) で “Touch-n-Go” として示されている手法で、最初に実画面をタップした位置（初期タップ位置）から、ドラッグした方向に連続的にスクロールする手法である。このときのスクロール速度は、初期タップ位置からの距離によって決定される。実験アプリケーションでは、初期タップ位置とドラッグ中タップ位置

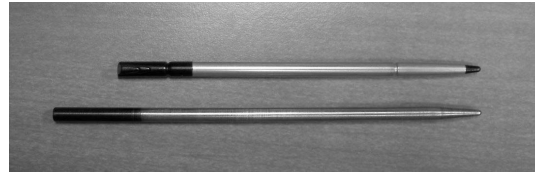


図 14 標準スタイラス（上）と、今回の実験で使用したスタイラス（下）

Fig. 14 Normal stylus (top) and longer stylus used in the experiment (bottom).

との差分を  $1/6$  したものを仮想画面位置に適用して画面更新する処理を、1 秒間におよそ 30 回行っている。[Tilt] はデバイスの傾きによってスクロール方向と速度を調整する手法である。[Tilt] を実装するため、2 軸の加速度センサである Analog Devices 社の ADXL320 を利用している PhidgetAccelerometer<sup>20)</sup> をデバイス背面に取り付け、重力加速度を検知した。センサデータは [Rod] と同様に、中継用 PC を介してデバイスに送信した。加速度データ ( $acc$ ) は各軸  $-1 \sim 1$  の範囲の数値がそれぞれ  $-90 \sim 90$  度に対応しており、スクロール位置座標への加算値は  $|acc| > 0.01$  のとき  $200 \times acc^2$  とし、それ以外の水平に近い状態では 0 とした。

実験では、PDA (PocketPC) を横向きにし、スタイラスは PDA の右側面下部から右側に伸縮するようにして使用した。この状態で PDA のディスプレイの解像度は横 320 ピクセル、縦 240 ピクセルである。画面ドラッグにおける解像度はディスプレイの解像度と同じである。スタイラスホルダの深さは 92 mm で、センサは深さ 37 mm の位置に取り付けたため、センサが検知可能な物理スライド量は 55 mm となる。PocketPC に標準で付属するスタイラスは 94 mm の長さであるが、完全に押し込んでしまうと操作できなくなるため、独自に 110 mm の金属製スタイラス（図 14 下）を製作して利用した。なお実験に用いたデバイスにおけるスタイラス 1 回転の変化量は約 420 であり、スライド片道の変化量は約 1,880 であった。仮想画面幅は 1,280 ピクセルであるため通常の使用ではスライド可動領域が不足することはないが、不足した場合を想定しボタンを押下している間仮想画面をロックするクラッチ機能を有効とした。

## 5.2 実験 1：未習熟状態

23 歳～35 歳の大学院生 9 名を被験者とし、4 種類の入力手法についてそれぞれ順序を替えながら実験を行った。順序の入れ替えは、スクロール量を直接操作する [Rod] [Drag] と、スクロール速度を調整する [Walk] [Tilt] をそれぞれ組としたうえで、組と組内の



図 15 実験環境

Fig. 15 Experimental setting.

表 1 実験 1：推定周辺平均（ターゲット選択時間，単位：sec）  
Table 1 Exp. 1: Estimated marginal means of time (unit: sec).

手法	平均	標準誤差	95%信頼区間	
			下限	上限
Rod	2.555	.061	2.430	2.681
Drag	2.620	.042	2.534	2.706
Walk	2.967	.079	2.856	3.130
Tilt	3.811	.070	3.667	3.954

順序を入れ替えた。図 15 に実験環境と実験の様子を示す。各手法による実験の前に、インストラクションならびに 5 分程度の練習時間を設けた。各手法による実験の間には休憩時間を設けなかった。実験中の各試行におけるタスク遂行時間とターゲット距離を記録した。

5.3 実験 1 の結果

ターゲットの距離が遠くなるにつれてタスク遂行に時間を要する。本実験は 2 つの被験者内条件（4 種の入力手法，ならびに 8 種類のターゲット距離）を含んでいるため，我々は繰返しのある分散分析を用いて解析を行った。分散分析の結果，入力手法において有意差があることが示された ( $F(3, 81) = 195.9, p < .001$ )。Bonferroni の方法による多重比較を行った結果，[Rod] は [Walk] や [Tilt] に比べ操作時間を有意に減少させることが明らかになった。しかし [Drag] と [Rod] には有意差はみられなかった。表 1 に推定周辺平均を示す。

分析より [Rod] においてターゲットサイズが 20 ピクセルの場合，30-50 ピクセルの場合と比較して操作時間が有意に増加していた。またターゲット距離が増

具体的には，(DRWT)，(DRTW)，(RDWT)，(RDTW)，(WTDW)，(WTRD)，(TWDR)，(TWRD)，(DRWT) の組合せを用いた。

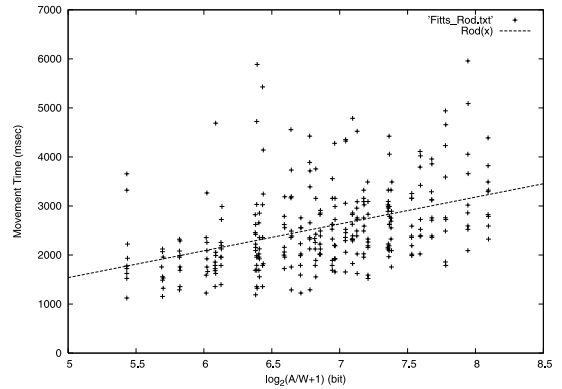


図 16 実験 1 の結果 (Rod)

Fig. 16 Result of Exp. 1 (Rod).

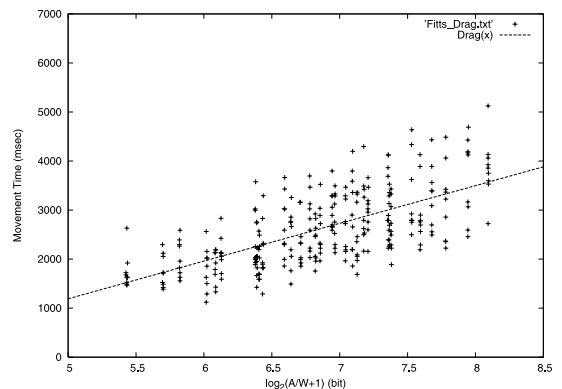


図 17 実験 1 の結果 (Drag)

Fig. 17 Result of Exp. 1 (Drag).

加した場合に [Drag] よりも [Rod] のほうが操作時間の増加量が減少する傾向がみられた。ちなみにターゲットサイズ 30 ピクセル以上，ターゲット距離 500 ピクセル以上に限定した場合，[Rod] の操作時間は [Drag] に比べ有意水準 5%にて減少する ( $p = .015$ ) ことが確認された。

今回の実験は画面スクロール作業を対象としているが，ターゲットを選択するポインティング作業という見方も可能である。そこで Fitts の法則を 2 次元空間作業に拡張した MacKenzie らの推定式<sup>21)</sup>

$$MT = a + b \log_2(A/W + 1)$$

を利用して，操作手法の特徴を検討した。ここで  $A$  は初期位置からターゲット中心までの距離， $W$  はターゲットの直径である。各試行の結果と，それを基に計算した回帰直線 (Rod, Drag, Walk, Tilt) をプロットしたグラフを図 16, 図 17, 図 18, 図 19 に，回帰直線のみをまとめたものを図 20 に示す。操作手法の特性によって決まる係数 ( $a, b$ ) (表 2) を見ると [Rod] の傾き ( $b$ ) が他の手法に比べて小さいことが分



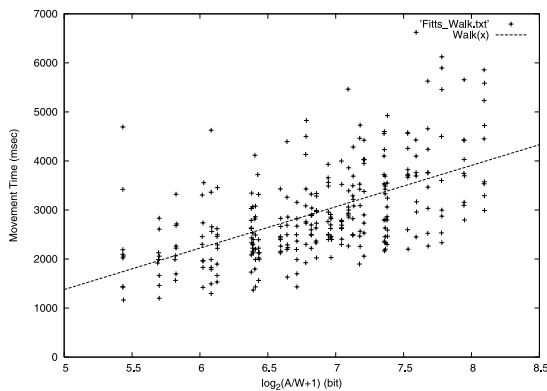


図 18 実験 1 の結果 (Walk)  
Fig.18 Result of Exp. 1 (Walk).

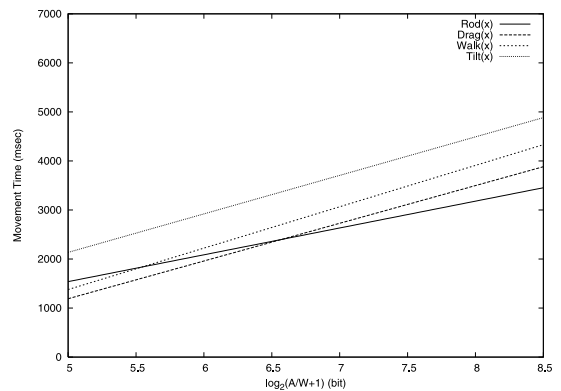


図 20 実験 1 における各手法の特性 (回帰直線)  
Fig.20 Regression lines in Exp. 1.

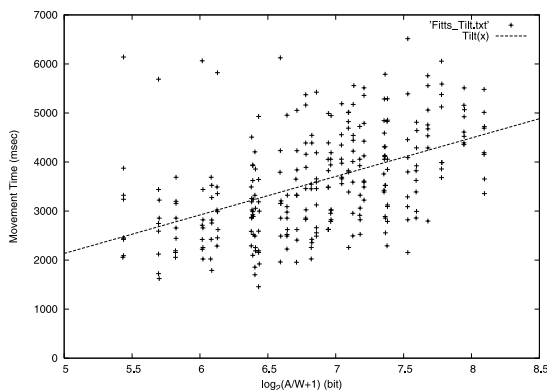


図 19 実験 1 の結果 (Tilt)  
Fig.19 Result of Exp. 1 (Tilt).

表 2 実験 1 : MacKenzie らによる推定式に基づく係数

Table 2 Exp. 1: Estimated parameters (based on formulas by MacKenzie, et al.).

手法	a (msec)	b (msec/bit)
Rod	-1,196.4	547.1
Drag	-2,655.0	769.1
Walk	-2,843.4	844.2
Tilt	-1,790.8	785.2

表 3 実験 2 : 推定周辺平均 (ターゲット選択時間, 単位 : sec)

Table 3 Exp. 2: Estimated marginal means of time (unit: sec).

手法	平均	標準誤差	95%信頼区間	
			下限	上限
Rod	1.852	.029	1.791	1.913
Drag	2.052	.033	1.983	2.122
Walk	2.145	.039	2.033	2.197
Tilt	2.532	.062	2.402	2.662

かる．このことから RodDirect は特に作業の困難度 (ID) が増加した場合に，作業を短時間で終わることができるため有効であるといえる．

5.4 実験 2 : 習熟状態

実験 1 では被験者は各入力手法に関して練習回数が限られていたため，入力手法の習熟度に差があったと考えられる．そこで各入力手法に習熟した場合について検証するための実験を行った．

タスクおよび入力手法は実験 1 と同じものを使用した．無線 IC タグによる認証機能を備えた実験システムを準備し，被験者が期間 (2006 年 4 月 19 日 ~ 5 月 2 日の 14 日間) 中，いつでも都合の良い時間にタグでログインして実験を行える環境を構築した．9 名の被験者を集め，被験者には各手法 (Rod, Drag, Walk, Tilt) につき 1 日 1 回以上実験を行う日を 4 日以上設けるという制約を与えた．習熟への動機付けとして，平均操作時間を順位表示するとともに，各手法ごとに 1 位 ~ 5 位の被験者にそれぞれ 5 点 ~ 1 点の得点を付与し，4 手法の合計得点上位 3 名に 3,000 円，中位 3 名

に 2,000 円，下位 3 名に 1,000 円の実験謝金を提供することを実験開始前に伝えた．実験 1 と同様，実験中の各試行におけるタスク遂行時間とターゲット距離を記録した．

5.5 実験 2 の結果

4 種の入力手法について各被験者の行った実験回数にはかなりばらつきがあった (最小 4 回，最大 76 回)．そこで被験者が行った実験のうち全試行における平均操作時間が最も少なかった回を習熟状態の試行データとして採用した．

ターゲットサイズが 30 ピクセル以上の場合に限定したうえで実験 1 と同様に分散分析を行った結果，入力手法において有意差がみられた ( $F(2, 36) = 55.89$ ,  $p < .001$ )．Bonferroni の多重比較より，有意水準 5% において [Rod] は [Drag], [Walk], [Tilt] よりも少ない操作時間でタスクを完了できることが明らかになった．表 3 に実験 2 における推定周辺平均を示す．

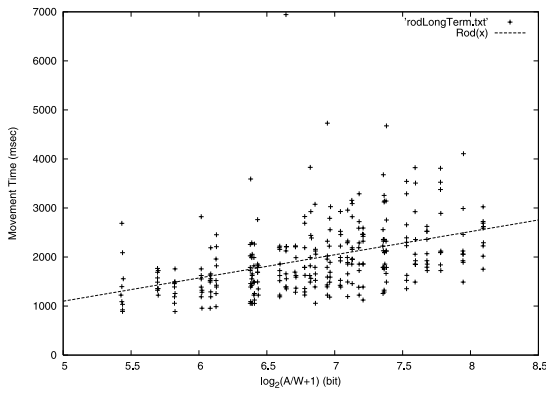


図 21 実験 2 の結果 (Rod)  
Fig. 21 Result of Exp. 2 (Rod).

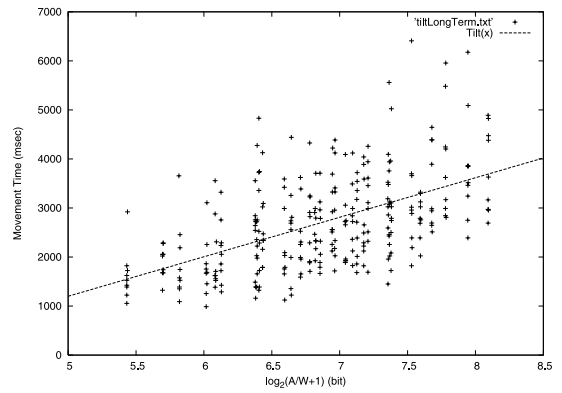


図 24 実験 2 の結果 (Tilt)  
Fig. 24 Result of Exp. 2 (Tilt).

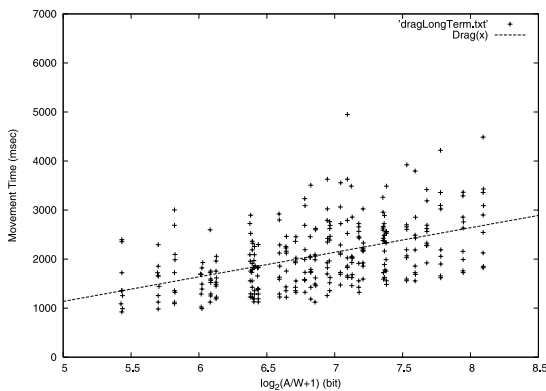


図 22 実験 2 の結果 (Drag)  
Fig. 22 Result of Exp. 2 (Drag).

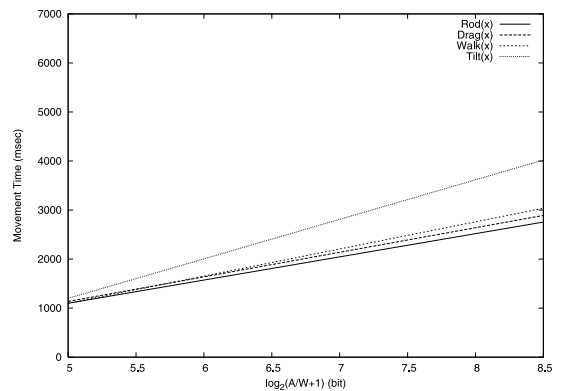


図 25 実験 2 における各手法の特性 (回帰直線)  
Fig. 25 Regression lines in Exp. 2.

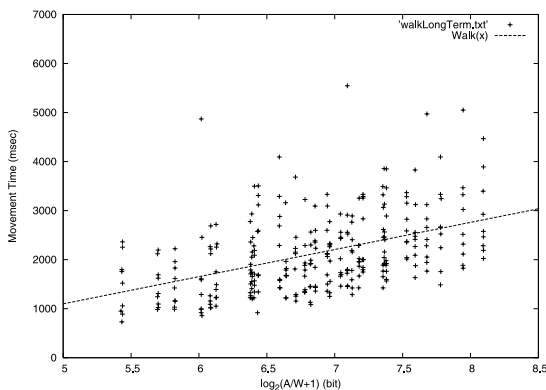


図 23 実験 2 の結果 (Walk)  
Fig. 23 Result of Exp. 2 (Walk).

表 4 実験 2 : MacKenzie らによる推定式に基づく係数  
Table 4 Exp. 2: Estimated parameters (based on formulas by MacKenzie, et al.).

手法	a (msec)	b (msec/bit)
Rod	-1,266.4	473.1
Drag	-1,367.9	501.0
Walk	-1,669.6	553.8
Tilt	-2,829.2	805.7

5.6 議 論

実験 1 および実験 2 の結果から、操作に習熟した場合画面スクロールを行いながら直径 30 ピクセル~50 ピクセル程度の円形ターゲットを選択するタスクにおいて、RodDirect はドラッグ手法より有効であることが分かった。ターゲットの距離が遠くなり、必要なスクロール量が増すにつれて RodDirect の効果は顕著に現れる。しかしターゲットサイズが小さい場合や、ターゲットの距離が近い場合はドラッグ手法と同等の作業効率であることが確認された。

実験 1 の後に実施したアンケートの結果、最も好ま

実験 2 における各試行の結果と、MacKenzie らの推定式に基づく回帰直線を図 21, 図 22, 図 23, 図 24 に示す、また回帰直線のみをまとめたものを図 25 に、回帰直線の係数を表 4 に示す。

れた入力手法は [Drag] であった。その理由として、被験者はタップ操作に慣れており、スクロール位置の微調整がしやすかったことがあげられる。しかし [Drag] ではドラッグ操作を繰り返す必要があり、労力の軽減という観点では [Walk] を好んだ被験者が多かった。[Tilt] についても操作手法自体は好まれたものの、操作に慣れていないため操作時間が長くなる傾向がみられた。また [Tilt] 特有の問題として、スクロール調整のためにデバイスを傾けたときに部屋の照明が画面に反射してしまい、画面が見えにくくなるが多かったといった意見が得られた。[Rod] については慣れれば使いやすくなり、操作を早く終わることができるかもしれないが、慣れないと微調整がしにくいといった意見が多かった。

今回の実験では画面に表示されるスクロールバーをペンでドラッグしてスクロールする手法との比較は考慮しなかった。なぜならスクロールバーは縦または横方向への移動のみであり、今回の実験で対象とした斜め方向への移動に直接対応していないためである。また今回はスクロールタスクにおける RodDirect の有効性を示すことを目的として実験を設定したため、小型デバイスを扱う際のフェーズ切替え (2.2 節参照) を考慮しなかった。フェーズ切替えを含めて統合的に評価する場合には「指によるタップ操作」による手法とも比較し議論する必要がある。指によるタップ操作は RodDirect と比べ、スタイラスを引き出しておく準備操作が不要で簡便である反面、指が画面を遮ってしまう点が継続的な操作に影響を及ぼす可能性がある。今後 RodDirect の有効性についてスクロールバーや指によるタップ操作など他の入力手法との比較や、仮想画面サイズの影響、フェーズ切替えを含む統合的な実験を行い、効果を検証していきたいと考えている。

## 6. まとめ

小型デバイスに付属する回転と平行移動可能な可動部品の動作量を利用した入力手法 RodDirect とその応用例、ならびにスクロール作業を対象とした評価実験について述べた。細かな調整を必要としないスクロールタスクにおいて、ドラッグによりスクロールする手法を用いた場合よりも作業時間が短縮されることを実験によって確認した。

プロトタイプで使用した光学マウスのイメージセンサは小型で安価であり、比較的容易に PDA に取り付けたり組み込んだりできると考えられる。プロトタイプでは見た目を考慮していないためセンサ基板がむき出しの状態であるが、内部に埋め込むことは構造的

にはそれほど困難なことではない。本稿では PDA におけるスタイラスに特化した説明を行ってきたが、提案するインタラクション手法は PDA とスタイラスに限らず、携帯電話とそのアンテナなど回転・伸縮が可能なスティック状の部品に対して広く適用可能であるため、特に小型デバイスの操作性を向上させる手段の 1 つとして汎用性、有用性が高いと考えられる。

謝辞 査読者の方には、本研究の有効性、適用範囲に関して有益なコメントをいただきました。ここに感謝の意を表します。

本研究の一部は文部科学省知的クラスター創成事業 石川ハイテク・センシング・クラスターにおける「ウェアホーム実現のためのウェア技術の開発研究」プロジェクトの一環として行われたものです。

## 参考文献

- 1) Fitzmaurice, G.W., Zhai, S. and Chignell, M.H.: Virtual Reality for Palmtop Computers, *ACM Trans. Information Systems*, Vol.11, No.3, pp.197-218 (1993).
- 2) Rekimoto, J.: Tiling Operations for Small Screen Interfaces, *Proc. UIST '96*, pp.167-168 (1996).
- 3) Ayatsuka, Y., Matsushita, N. and Rekimoto, J.: HyperPalette: a Hybrid Computing Environment for Small Computing Devices, (*Interactive Poster*) in *CHI 2000 Extended Abstracts*, pp.133-134 (2000).
- 4) Yatani, K., Tamura, K., Sugimoto, M. and Hashizume, H.: Information Transfer Techniques for Mobile Devices by Toss and Swing Actions, *6th IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMSCA 2004)*, pp.144-151 (2004).
- 5) 矢谷浩司, 岸村俊哉, 田村晃一, 杉本雅則, 橋爪宏達: モバイルデバイスを用いた「振る」ことによる情報の移動を実現するインタフェース, *インタラクション 2004 論文集*, pp.229-230 (2004).
- 6) Harrison, B.L., Fishkin, K.P., Gujar, A., Mochon, C. and Want, R.: Squeeze Me, Hold Me, Tilt Me! An Exploration of Manipulative User Interfaces, *Proc. CHI '98*, pp.17-24 (1998).
- 7) Hinckley, K., Pierce, J., Sinclair, M. and Horvitz, E.: Sensing Techniques for Mobile Interaction, *Proc. UIST '00*, pp.91-100 (2000).
- 8) 三浦元喜, 國藤 進: スタイラスの物理的制約を利用した入力手法, 第 12 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2004), pp.83-88 (2004).
- 9) Masui, T., Tsukada, K. and Sioo, I.: MouseField: A Simple and Versatile Input

- Device for Ubiquitous Computing, *Ubicomp 2004 Adjunct Proceedings (Demos)* (2004).
- 10) Devalant Technologies AB: Cross-platform Tools for Mobile Game Development for Palm, Symbian and Windows Mobile.  
http://www.gapidraw.com/
- 11) Matsusita, N., Ayatsuka, Y. and Rekimoto, J.: Dual touch: a two-handed interface for pen-based PDAs, *Proc. UIST 2000*, pp.211-212 (2000).
- 12) 松下伸行, 綾塚祐二, 暦本純一: Dual Touch: ペン型 PDA のための新しい操作手法, インタラクティブシステムとソフトウェア VII: 日本ソフトウェア科学会 WISS'99, pp.23-32, 近代科学社 (1999).
- 13) 平岡茂夫, 宮本一伸, 富松 潔: Behind Touch: 携帯電話のための背面・触覚操作インタフェースによる文字入力, インタラクション 2003 論文集, pp.131-138 (2003).
- 14) 椎尾一郎: Scroll Display: 超小型情報機器のための指示装置, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1448-1454 (1998).
- 15) Sio, I.: Scroll Display: Pointing Device for Palmtop Computers, *Proc. Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI'98)*, pp.243-248, IEEE Computing Society (1998).
- 16) Fällman, D., Lund, A. and Wiberg, M.: ScrollPad: Tangible Scrolling With Mobile Devices, *Proc. Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '37)* (2004).
- 17) Yee, K.P.: Peephole Displays: Pen Interaction on Spatially Aware Handheld Computers, *Proc. CHI 2003*, pp.1-8 (2003).
- 18) Johnson, J.A.: A Comparison of User Interfaces for Panning on a Touch-Controlled Display, *Proc. CHI '95*, pp.218-225 (1995).
- 19) MacKay, B., Dearman, D., Inkpen, K. and Watters, C.: Walk 'n Scroll: A Comparison of Software-based Navigation Techniques for Different Levels of Mobility, *Proc. MobileHCI '05*, pp.183-190 (2005).
- 20) Greenberg, S. and Fitchett, C.: Phidgets: Easy Development of Physical Interfaces through Physical Widgets, *Proc. UIST 2001*, pp.209-218 (2001).
- 21) MacKenzie, I.S. and Buxton, W.: Extending Fitts' law to two-dimensional tasks, *Proc. CHI '92*, pp.219-226 (1992).

(平成 18 年 6 月 20 日受付)

(平成 18 年 12 月 7 日採録)



三浦 元喜 (正会員)

1974 年生. 1997 年筑波大学第三学群情報学類卒業. 2001 年筑波大学大学院工学研究科博士課程修了. 博士(工学). 同年筑波大学電子・情報工学系助手. 2004 年より北陸先端

科学技術大学院大学知識科学研究科助手. 現在に至る. ヒューマンコンピュータインタラクショナル, グループウェア, Web 技術に興味を持つ. 日本ソフトウェア科学会, ACM, ヒューマンインタフェース学会, 人工知能学会, 電子情報通信学会, 日本教育工学会各会員.



國藤 進 (正会員)

1974 年東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了. 同年(株)富士通国際情報社会科学研究所入所. 1982~1986 年 ICOT 出向, 1992 年より北陸先端科学技術大学院大学情

報科学研究科教授, 1998 年より知識科学研究科教授, 現在は主として発想支援システム, グループウェア, 知識システムの研究に従事. 情報処理学会創立 25 周年記念論文賞, 人工知能学会 1996 年度研究奨励賞各受賞. 博士(工学). 計測自動制御学会, 電子情報通信学会, 日本創造学会等各会員.