

慣性機能を持つポインティング装置の開発†

野 中 秀 俊^{††} 伊 達 惇^{††}

新しいポインティング装置として慣性マウスを提案し、その試作を行い、その有効性を検討した。慣性マウスは通常のマウスに拡張機能として慣性機能を付加したもので、近年マウスがパーソナルコンピュータやワークステーションの入力装置として急速に普及し、操作性向上の必要性が高まっていることに応えるものである。慣性機能は人間の自然な動作に整合した機能であるため、この機能を使いこなすために特に練習を行う必要がなく、また既存のハードウェアやアプリケーション・ソフトウェアを変更することなく実現することができる。この慣性マウスをパーソナルコンピュータ上のデバイスドライバとして設計・試作した。本論文ではその効用について説明すると共に、被験者を用いた実験を行うことにより、ユーザがどの程度この機能を活用するかを調べ、その活用度・有効性を検証した結果を紹介する。

1. はじめに

パーソナルコンピュータやワークステーションのポインティング装置としては、マウス、トラックボール、ジョイスティック、カーソルキー、ディジタイザ、スタイラス、タッチ・センシティブ・スクリーン、タブレット、ライトペン等様々なものが挙げられる。それぞれに長所・短所があり、使用目的に応じて使い分けられているのが現状である。

この中で、近年個人使用のパーソナルコンピュータやワークステーションが増加したのに伴って、比較的安価であり優れた操作性を有するマウスが、標準入力機器として急速に普及した。マウスとアイコンによる操作を標準としたソフトウェアをはじめとして、マウスを使った図形処理ソフトウェア、マウスによるカーソル移動機能を持ったワードプロセッサなど、様々な応用が見られるようになった。それに伴い、マウスの操作性向上の必要性が高まってきている。マウスに複数の球を設けることや、キーボードとマウスを一体化すること、マウスの移動距離とマウスカーソルの移動距離との関係を非線形にすること等の工夫が見られ、すでにいくつかのコンピュータシステム上で実用化されているものもある。

筆者らはこのようなマウスの操作性向上の要求に応じて、慣性機能を導入した「慣性マウス」を開発し、実験によりその有効性を検証した。

2. ポインティング操作のメンタルイメージ

ポインティング操作は一般に、ユーザが、ディスプレイ画面上のカーソルの位置という視覚情報をフィードバックとして得ながら、ポインティング装置をコントロールして、画面上のある部分を指示する操作である。ユーザは、ポインティング装置のコントロールからカーソル移動までの一連の計算機処理に対するメンタルなイメージを獲得し、このイメージに従って、あらかじめ計算機の応答やカーソルの移動を思い描き(envisionment)、実際の計算機の応答と矛盾しないことを確認しながら操作する。したがってユーザフレンドリなポインティング操作環境をユーザに提供するためには、計算機の応答特性がユーザの動作特性と整合していること(ダイレクト性が高いこと)、あるいは、ポインティング操作に対するイメージがユーザに自然に形成されることが必要である。

一般に、上で述べたようなイメージは、ポインティング操作に限らず、あらゆるマン・マシン・インタフェースに対して存在すると考えられるが、実際の物理現象と一致するとは限らず、またユーザによって異なる場合もある。

機械式マウスによるポインティング操作の場合、状況に応じて以下に示すような二通りのイメージがユーザに形成されていると考えられる。一つは、マウスの移動量・移動方向が、マウスカーソルの移動量・移動方向に直接対応し、局所的にディジタイザと同様なダイレクト性を伴って操作されるイメージであり、もう一つは、マウスに内蔵された球の回転数、および回転方向が、マウスカーソルの移動量・移動方向に対応し、トラックボールと同じ原理で操作されるというイ

† The Development of Pointing Device with a Cursor in Inertial Motion by HIDETOSHI NONAKA and TSUTOMU Da-te (Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido University).

†† 北海道大学工学部情報工学科

メージである。カーソルの移動範囲が比較的狭い場合は、ユーザはもっぱら前者のイメージでポインティング操作を行う。ところが、ユーザは後者のイメージにおいて、マウスを持ち上げると球の回転は停止するというのを知っており、画面の範囲を越えてスクロールを伴って移動するなど、カーソルを遠くに移動しなければならないとき、マウスをテーブル上で移動した後持ち上げて元に戻すという動作を繰り返すことにより、遠くにカーソルを移動することができる。言い換えると、マウスは二つのイメージの使い分けによって、局所的にダイレクト性が高いということと、場所をとらず、カーソルの広範囲移動に対応できるという二つの特徴を兼ね備えていると考えることができる。

ここで、マウスに対して以下に示すような問題点を指摘することができる。一般にユーザがマウスを操作しやすいと感じる場所は、ある程度狭い範囲に限られ、キーボードを併用するときは特にそれが顕著である。そのため、ユーザはマウスをある一定の場所に戻しておこうとする傾向があるが、カーソルを遠くに移動するときには、何度もマウスを持ち上げる動作を強いられることになる。逆に、マウスを持ち上げる動作をせずにポインティング操作を行うと、マウスの操作範囲が広くなり、ユーザが腕を大きく動かすことを強いられる。いずれにしても、ユーザにとってこれらの動作は煩わしく、マウスの操作性を悪化させる原因となっている。

本研究で提案する慣性機能を利用すると、マウスを操作する範囲は狭くなる。また、慣性マウスにおいてマウスを持ち上げる動作は、ユーザが自発的に行う動作と考えられるので（5章の評価実験において検証する）、上で述べたような意味での煩わしさによる操作性の悪化にはつながらない。マウス操作の二つのイメージのうち前者、すなわち局所的なダイレクト性をそのまま生かし、後者の欠点を改善したものとなっている。

3. 慣性マウスの提案

慣性マウスとは、以下に示す機能を持ったマウスのこととする。

ユーザの動作に対応して開閉するスイッチ（慣性スイッチ）が設置されていて、この慣性スイッチが

- ① off のときには通常のマウスとして動作する。
- ② on に変化すると、画面上のカーソルがそのときの移動方向と移動速度を初期値として、off になるまで慣性運動のように移動する。

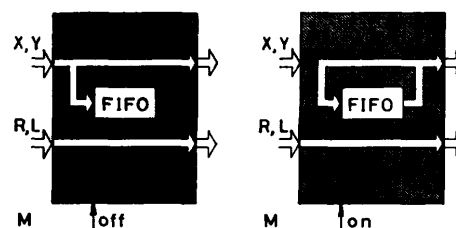


図1 慣性スイッチのオン・オフによるマウスデータ処理の相違

Fig. 1 Difference of data processing between switch-on and switch-off.

このような機能を実現するために、以下に示すような計算機処理を行う。マウスドライバによるマウスデータの計算機本体への読み込み手続きは、一定時間間隔で発生するハードウェア割込みによって呼び出されるが、その際下記に示すように、慣性スイッチが on のときと off のときとで、異なる処理を行う（図1）。

① 慣性スイッチが off のとき

XY 方向移動距離のデータを FIFO バッファに書き込む。それ以外は、通常のマウスの場合と同様の処理を行う。

② 慣性スイッチが on のとき

マウスから読み込んだ XY 方向移動距離データを無視する。FIFO バッファから直前の移動距離のデータを読み込み、このデータをマウスからの XY 方向移動距離のデータとする。さらにこのデータを FIFO バッファに書き込む。それ以外は通常のマウスと同様の処理を行う。

本報告で提案する慣性マウスでは、慣性スイッチとして、マウスをテーブルから持ち上げると on、テーブルに置くと off となるメカニカルなスイッチを採用した。その結果、以下に示すような動作となる。

- ① マウスをテーブルに置いた状態で操作している場合は通常のマウスとして動作する。
- ② マウスを持ち上げると、マウスカーソルはそのときの移動方向と速度を保って直進する。そしてマウスをまっすぐ下に置くと、カーソルは停止する。（マウスカーソルが静止した状態でマウスを持ち上げたときは、マウスカーソルは静止したままである。）

4. 慣性マウスの試作

4.1 本試作の概要

本試作では、通常の機械式マウス（マウスボタンは二個）の内部にメカニカルなスイッチを取り付けると

いう方法を採用した。そのため外観は通常のマウスと同じであり、重量も通常のマウスと識別できない程度の差である。図2に慣性スイッチの構造を示す。

図3に、本試作の構成を示す。慣性マウスからドライバ(ソフトウェア)へのデータの読み込み、処理、およびマウスカーソルの表示は、ディスプレイ画面の垂直走査に同期させ、各画面走査ごとに行っている(垂直同期信号によるハードウェア割込み: 毎秒 56.42 回)。

使用したパーソナルコンピュータには、マウスボタン入力ポートが三個あり、そのうちの一個 (middle) を慣性スイッチからの入力に対応させた。

慣性マウスのドライバは、MS-DOS 上のデバイスドライバとして作成した。

4.2 慣性マウスの特徴

慣性機能を活用すると、ユーザは特にマウスカーソルを速くに移動させるとき、何度もマウスを持ち上げては元に戻すという動作による煩わしさから解放される。そのため、マウスを使った作業の能率化・高速化や、ユーザの疲労の軽減に有効と思われる。

慣性マウスを持ち上げながらマウスカーソルを移動させる場合、ユーザは、「マウス内部の球が、持ち上げる前の回転速度を保ったまま、回り続けているようなイメージ」を持ちながら操作することになる。そのため、ユーザが日常経験している自然な動作に整合した、ユーザフレンドリな使用感が得られる。またユーザは特にこの慣性機能を使いこなすための訓練をする

必要がない。

さらに慣性マウスは、慣性スイッチからの入力を無視することにより、通常のマウスとなる。すなわち慣性マウスは、通常のマウスの機能を包含する。また慣性機能の処理を計算機本体と分離し、計算機本体入力前の段階で行えば、通常のマウスのための既存のドライバを変更せずに慣性機能を実現できる。

4.3 慣性マウスによる画面スクローリング

2章で述べた、カーソルの広範囲移動への有効性に関連して、以下に述べるような応用が考えられる。

最近一般化してきたソフトウェアの中に、マウスを使用しないソフトウェアに対して、キーボードのカーソルキー入力にマウスを対応させるように、仕様変更を行う補助ソフトウェアがある。例えば MS-DOS 上で使用できる「マウスキードライバ」といった商品名のデバイスドライバがこれにあたる。このソフトウェアを用いると、カーソルキーのリピート機能を用いた場合に比べて、高速にカーソルを移動したりスクロールを行ったりすることができるといった利点がある。この補助ソフトウェアに慣性機能を組み合わせると、任意速度での等速度スクロールが可能となる。例えば、ユーザが文書を読むスピードでスクロールをし続けるといった使い方ができる。また複数ページにわたるスクロールを伴ったカーソル移動にも対応できるだけの動作速度が得られるため、コマンドによるページ指定や、スクロールキーによる不連続的なページングの機会が少なくなり、カーソル移動操作のダイレクト性を向上させる結果となる。

5. 慣性機能の活用度・有効性の検証

慣性機能の有効性は、マウスに慣性機能が追加されたとき、ユーザが自発的にどの程度この機能を活用するか、また活用することによってポインティング操作の速度・誤り率といった諸要因がどう変化するかを調べることによって検証される。本研究では、マウスを使った簡単な作業を被験者に課するという実験を行い、この有効性の検証を行った。なお、マウステーブルは十分広くとり、それでもユーザが慣性機能を利用することを示すことによって、慣性機能活用の自発性を検証している。

5.1 実験装置

実験のためのシステムは、今回試作した慣性マウスシステムを中心として構成した。垂直同期信号によるハードウェア割込みの発生の度に測定データ (カーソ

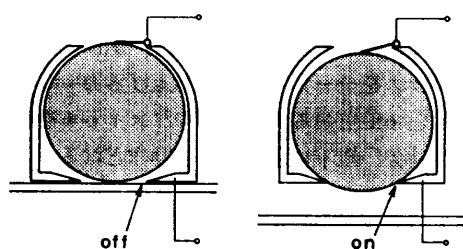


図2 慣性スイッチの機構
Fig. 2 Mechanism of inertia-switch.

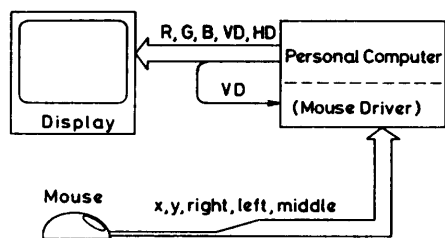


図3 慣性マウスシステムの構成
Fig. 3 Layout of inertial mouse system.

ルのXY座標, ボタンの押下情報, マウスの持ち上げの有無, ターゲットへの命中の有無)が計算機の主記憶上に記録される(毎秒約56回). 最大約10分までの連続計測が可能であり, 測定データは, 実験の終了後補助記憶装置に保存される. また本システムは, このデータを用いて被験者の操作と計算機側の応答を, ディスプレイ画面上で実時間で再現する機能を有する.

5.2 実験の方法

ディスプレイ画面上の一点の座標が疑似乱数により与えられ, 約1cm四方のターゲットがその座標に表示される. 被験者がマウスを操作してこのターゲットに約3mm四方のマウスカソルを重ね, 左ボタンをクリックすると, ターゲットが消え次のターゲットが表示される(図4). このようなポインティング操作を3分間繰り返すという課題が, 通常のマウスを使用した場合と, 慣性マウスを使用した場合についてそれぞれ三回ずつ交互に課された.

画面の左上部に3分間の課題の残り時間と被験者が消したターゲットの数を表示することによって, 速く正確にターゲットを消すという被験者の動機付けを行った. また通常の使用環境では, マウスを動かすテーブルの範囲は狭く限られるのに対して, 本実験ではその範囲を十分に広くとった(幅60cm, 奥行35cm)が, この理由については5.3節で述べる.

その他の実験の設定は次のとおりである.

- ① 被験者 21歳から30歳 12名
- ② 表示画面 640×400 (dot)
14 (inch) ディスプレイ
- ③ カソルの大きさ 8×8 (dot)
- ④ ターゲットの大きさ 32×32 (dot)
- ⑤ 被験者の位置 画面から約50cmの正面
- ⑥ カソル移動速度 マウスの移動8cmに対し, カソルの移動が500 dot

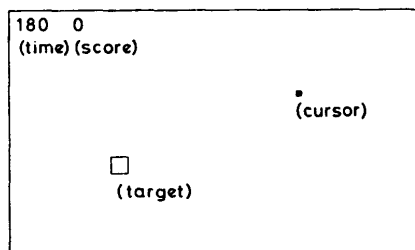


図4 被験者の課題実行時に提示されるCRTディスプレイ画面

Fig. 4 A picture on CRT-display presented to a subject during the experiment.

5.3 測定結果と考察

被験者が課題を実行する間に, 毎秒約56回の時間間隔で, カソルのXY座標, ボタンの押下情報, マウスの持ち上げの有無, ターゲットへの命中の有無が測定されている. この測定結果から, 各ポインティング操作ごとに, ターゲットが表示されたときのカソル・ターゲット間距離(dot)と, ユーザがマウスを持ち上げる動作を行ったか否かの情報を取り出した. 表1にその結果を示す. 表中の数値は, ターゲットまでの距離(0~639 dot)を80 dotごとの区間に分け, 通常のマウスと慣性マウスのそれぞれについて, マウスを持ち上げた場合と持ち上げなかった場合のポインティング回数を, 12人の被験者について合計したものである. 図5は, マウスを持ち上げた場合の回数を比に換算して図示したものである.

カソルとターゲットの距離が近い場合(200 dot以内)では, 通常のマウスと慣性マウスのいずれもマウスを持ち上げずに移動する傾向が見られるが, 200 dotを越えると, 通常のマウスと違って慣性マウスの場合マウスを持ち上げる率が高くなり始める. そして距離が遠くなるに従ってその度合いが強まるという傾向が観察される. 特に慣性マウスの場合, 240 dotで持ち上げる場合が50%をこえる(図5). カソル・ターゲット間距離の各区間ごとに, 両者に差がないとする仮説に対して分割表による検定を行うと(表1), 80~559 dotの範囲において危険率1%で棄却される($\chi^2 \geq 6.63$). 5.2節で述べたようにマウステーブ

表1 慣性機能活用度測定実験の結果(ターゲット指示回数)

Table 1 Result of the experiment to observe how many times inertia-function are used (number of times to point target).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \frac{(x_{ij} - x_{i.}x_{.j}/x_{..})^2}{x_{i.}x_{.j}/x_{..}}$$

$$x_{i.} = \sum_j x_{ij}, x_{.j} = \sum_i x_{ij}, x_{..} = \sum_i \sum_j x_{ij}$$

Distance (dot)	Normal mouse		Inertial mouse		χ^2
	Lifted (x_{11})	Not lifted (x_{12})	Lifted (x_{21})	Not lifted (x_{22})	
0~79	3	185	8	169	2.67
80~159	32	519	114	439	52.73
160~239	59	401	200	236	118.94
240~319	90	290	257	106	165.56
320~399	158	219	305	65	130.13
400~479	63	76	107	21	42.19
480~559	21	33	34	13	11.34
560~639	13	3	16	0	3.31

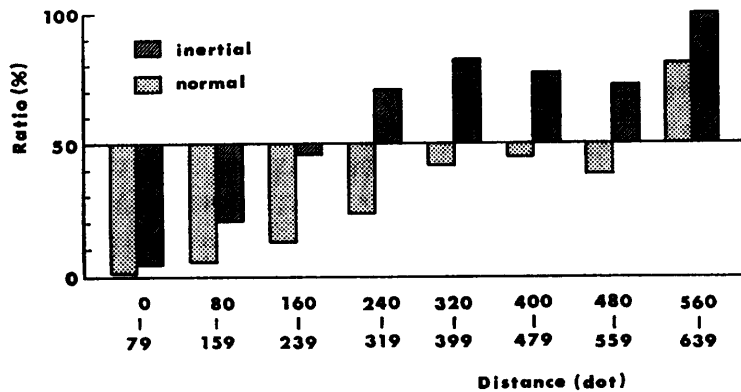


図 5 カーソル・ターゲット間距離に対する、マウスを持ち上げる動作を行う比率

Fig. 5 Ratio of times to point targets with lifting mouse vs. distance between cursor and target.

ルは十分に広く設定しているが、それにも拘わらず、慣性マウスの場合は持ち上げる動作を行っている。このことは、マウスに慣性機能が追加されると、ユーザがこの機能を自発的に利用するというを示している。慣性機能を利用する理由について、被験者にアンケートによる質問を行ったところ、以下のような解答が得られた。

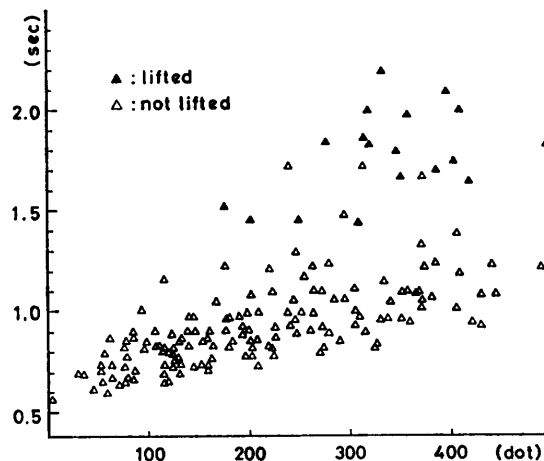
- カーソルを遠くへ移動する際、持ち上げる動作は一回だけでよいから。
- カーソルを定位位置に戻しておきたいから。
- マウスを遠くに移動する必要がないので、操作しやすい範囲にマウスを置くことができるから。
- 手首だけで操作でき、腕を使う必要がないから。

図 6 は、ある程度慣性マウスを使い慣れた（約 30 分間使用した）被験者について、ターゲットへの指示に要した時間を示したものである。横軸は、カーソルからターゲットまでの距離、縦軸は所要時間を示す。図にプロットされた●は慣性マウスを用いた課題において移動する途中でマウスを持ち上げる動作を伴ってポインティングを行った場合、○は同じ課題において持ち上げなかった場合、▲は通常のマウスを用いた課題においてマウスを持ち上げた場合、△は同じ課題において持ち上げなかった場合にそれぞれ対応している。所要時間はディスプレイ画面の垂直走査（約 1/56 秒）を単位とした測定値から秒に換算している。

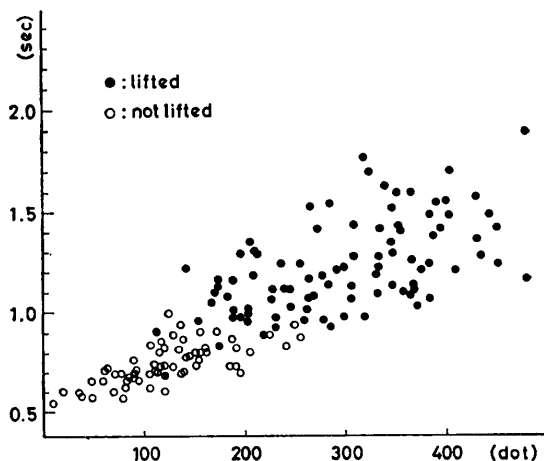
図 6 において、▲が●よりも図の上部に分布している。分布に差がないとする仮説は、0.1% の危険率で棄却される ($t > 8$, 自由度 120)。このことは移動の途中でマウスを持ち上げた場合、慣性マウスの場合よりも通常のマウスの場合の方が所要時間が長いことを示

しており、慣性機能を用いることによりその所要時間が短縮されていることが言える。

距離が比較的に遠い場合（300 dot 以上）、△よりも●の方が上部に分布している。すなわち、被験者はマウスを持ち上げない方が所要時間が短いにも拘わらず、自発的に慣性機能を利用していると思われる。このことは、ユーザにとって操作の所要時間以外に慣性機能の使用を促す要因があることを示している。ユーザの疲労度、操作の安心感、正確さ、実験の主旨と実験方法に対する被験者の理解度など様々な要



(a) 通常のマウスを使用した場合
(a) Using normal mouse.



(b) 慣性マウスを使用した場合
(b) Using inertial mouse.

図 6 ターゲットの指示に要した時間
Fig. 6 Time required in pointing target.

因が考えられるが、これを検証するためには、さらに詳細な実験を実施する必要がある。(ここで、本報告で示した実験では慣性機能の活用度を検証するために、意図的にマウステーブルを広く設定したが、通常の利用環境ではマウステーブルの広さが限られるので、距離が遠いところでは▲の数が増え、△は少ないと考えられる。)

図7は図6を拡大し、(a)、(b)を重ねて図示したものである。この範囲では、マウスを持ち上げる動作がほとんど観察されない。図7において○は△よりも概ね下方に分布している。すなわちターゲットまでの距離が短い場合、慣性マウスの方が通常のマウスよりも所要時間が短いという傾向が見られる。実際、距離が100 dot 以下の場合について、両者の分布の差に対して片側t検定(自由度60)を行ったところ、5%の危険率で有意となった($t=1.91$)。この理由としては、慣性マウスの場合慣性機能を利用することにより、テーブル上でマウスを操作しやすい範囲におく傾向があるためであると推測される。この推測は定量的には検証されていないが、被験者の観察により概ね確認されている。定量的な検証のためには一つ前に表示されたターゲットを指示したときのマウスの位置、移動の方向、時間などの影響を評価する必要があり、本実験では行っていないマウスの絶対位置の実時間計測が必要である。

以上の実験結果から、マウスに慣性機能を付加すると、マウステーブルが広い場合でも、その機能が活用されることが示された。被験者に対するアンケートによれば、これは慣性機能を使うことにより、操作がしやすくなるためであると思われる。また、この機能を活用すると、マウスを操作する範囲が狭くなりユーザ

にとって操作しやすい範囲内で操作できるようになること、それに伴ってターゲット・カーソル間の距離が長いときだけでなく短いときのポインティング操作の所要時間も短くなることが検証された。

6. おわりに

本研究では慣性マウスを開発することにより、マウスの操作性向上の試みを行った。被験者を用いた実験を行った結果、ユーザは慣性機能を活用し、それによってポインティング操作の効率向上が実現されることを検証した。

慣性マウスの操作性に関する評価実験を行う際、実行時間、疲労度、正確さ(エラー率)などの評価基準を設けて、学習による効果や、キーボードとの併用に伴う影響、マウスの絶対位置、マウスカーソルの移動速度、マウスの移動方向に依存する操作特性の違いなど、操作性に影響を与える諸要因について検討することを、今後の課題とする。

本試作では慣性スイッチとして、マウス内の鉄球を介したメカニカルなスイッチを採用したが、その他にフォトセンサや圧力センサの利用など、様々な方式が考えられる。このことについては現在、耐久性、安定性、コストなどの点から検討中である。

参考文献

- 1) Card, S. K., English, W. K. and Burr, B. J.: Evaluation of Mouse, Rate-Controlled Isometric Joystick, Step Keys, and Text Keys for Text Selection on a CRT, *Ergonomics*, Vol. 21, No. 8, pp. 601-613 (1978).
- 2) Norman, D. A. and Draper, S. W. (eds.): *User Centered System Design—New Perspectives of Human-Computer Interaction*, LEA (1986).
- 3) Card, K. C., Moran, T. P. and Newell, A.: *The Psychology of Human-Computer Interaction*, LEA (1983).
- 4) Anderson, J. R. (ed.): *Cognitive Skills and Their Acquisition*, LEA (1981).
- 5) 竹村治雄, 辻野嘉宏, 荒木俊郎, 都倉信樹: ポイント手法の評価について, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J70-D, No. 7, pp. 1265-1274 (1987).
- 6) 富樫雅文: ねずみの品種改良について, 情報処理学会論文誌, Vol. 27, No. 2, pp. 266-268 (1986).
- 7) 野中秀俊, 伊達 惇: 慣性マウスの原理と試作, 第38回情報処理学会全国大会論文集, 4U-6, pp. 1548-1549 (1989).

(平成元年 5 月 18 日受付)

(平成元年 11 月 14 日採録)

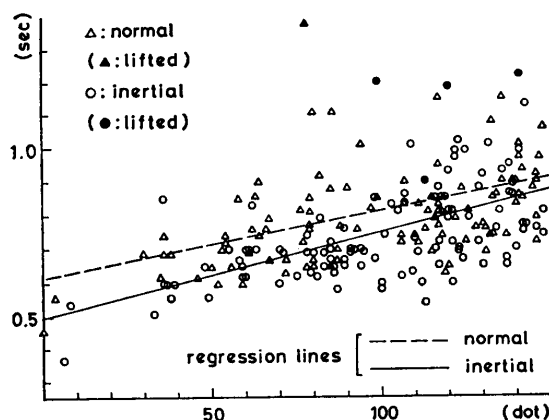


図7 図6(a), (b)の拡大図
Fig. 7 Magnified figure of Fig. 6 (a) and (b).

**野中 秀俊 (正会員)**

昭和 58 年東京大学工学部計数工学科卒業。昭和 60 年同大学院修士課程修了。同年北海道大学工学部助手。ヒューマンインタフェース、離散数学、知能情報工学の研究に従事。電子情報通信学会、日本エムイー学会、計測自動制御学会、日本 OR 学会各会員。

**伊達 惲 (正会員)**

昭和 38 年東京大学工学部応用物理学科卒業。電電公社電気通信研究所員。昭和 41 年東京大学工学部助手。昭和 54 年同講師。同年北海道大学工学部助教授。昭和 57 年同教授。昭和 58~59 年米国イリノイ大学客員教授(文部省在研)。工学博士。知能情報工学、非線形システム、数理計画等の研究に従事。電子情報通信学会、計測自動制御学会、日本 OR 学会各会員。