2004－HI－108　(2)
2004／5／21

手書きアノテーションの有効性に関する定量的実験の試み

MUHD DZULKHIFLEE HAMZAH†, 藤江　夕佳†, 田野　俊一†,
岩田　満†, 橋山　智訓†

近年の情報技術の発展により，紙ベースの情報形態はデジタル化の方向へ進んでいる。紙の良さに近づけるように，手書きアノテーションシステムに関する研究が多く行われているが，手書きアノテーションの有効性，及びペン入力デバイスとアノテーションの関係を検討する研究は少ない。そこで，本研究では，キーボードと手書きの比較実験，及び直接型・間接型ペン入力デバイスとアノテーションの関係を調査する実験を行い，アノテーションの有効性について定量的に明らかにする。

A Quantitative Experiment Concerning Effectiveness of Freeform Annotation

Muhd Dzulkhiflee Hamzah†, Yuka Fujie†, Shun'ichi Tano†,
Mitsuru Iwata†, Tomonori Hashiyama†

Recently, because of the development of the information technologies, the forms of information are changing from paper to digital base. Since annotation is one of the best benefits of paper, there are a lot of studies concerning with digital annotation systems these days. But, only a few of them are related with the effectiveness of hand-written annotation, or the relation of pen input device and annotation itself. In our study, we conduct two experiments investigate the difference between hand-written and keyboard, and the relation between pen input device and annotations, to clarify the effectiveness of annotations quantitatively.

1.　はじめに

近年の情報技術の発展により，情報形態はデジタル化の方向に進んでいる。そのため，情報のメディアが紙からデジタルベースに移り変わるのも時間の問題だと言える。特に，最近ではヒューマンーコンピュータインタラクションの分野では，デジタルドキュメントのような情報デジタル化に関する研究が多く行われている。デジタルドキュメントは紙と違って，情報の再利用，訂正の容易さ，スペルチェックのような機能が利用できるので，文書作成の作業にメリットが多いと示唆される[1]。

†電気通信大学大学院　情報システム学研究科
Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communication

しかし，情報のデジタル化が進んでいるにもかかわらず，紙の使用枚数は年々増加していく一方であり，我々ユーザは未だに紙を好んでいる。デジタル情報と違って，紙は読む作業，及び文書作成のためのメモ書き作業にメリットが多いと報告され[1]，例えば読みやすさや，容易に参照ができることなどが挙げられる。更に，紙の最大のメリットは，アノテーションが自然に行われることであると考えられる。なぜならば，我々は本などを読む際に，不明瞭な部分を補うためや，情報の理解度を深めるために，アノテーションを付けるからである。そのため，最近では紙ベースドキュメントの良さに近づけるために，手書きアノテーションシステムに関する研究が数多く行われている[2]。

2. 研究の背景

2.1. 入力形態と文書作成の関係

入力デバイスは人間の知的活動の思考に影響を与えるということが示唆される[3]。この本によると，ワープロはとにかく文字数が稼げる。また，タイプライタで作成された文書はコンパクトで抑制の効いたものになる。更に，手書きは人との関わりや生い立ちについて書くことが多いと書いてある。このように，我々はキーボードやペン入力デバイスのような電子ツールを用いる際に，知的活動の思考の質が左右されている可能性があるということを見逃していはいけない。

キーボードによるテキスト入力操作に一旦慣れてしまうと，文書作成の時間はキーボード入力と手書き入力では大きな時間の差がないと示唆された[4]。確かに，時間の差はあまりないかもしれないが，キーボードによるテキスト入力は特に日本語の場合，仮名漢字変換操作が必要となるため，人間の知的活動を阻害する恐れがあると報告される[5]。また，キーボードにより入力されたテキストの表示レイアウトは手書きよりもはるかにきれいなので，文書内容・表現を直す作業よりも，テキストのサイズ変更などのレイアウトデザインに気が捕らわれてしまい，質の悪い文書ができてしまう恐れがあると考えられる。

このように，入力デバイスと文書作成の関係に注目した研究は数多く行われているが，手書きアノテーションの有効性について定量的に分析している研究が少ない。また，以上のことから入力デバイスを比較する際に，入力スピードや正確さなどの人間工学的な観点のみならず，認知負荷のような認知学的な観点からも考慮しなければならないと言える。

2.2. ペン入力の操作性

近年，情報形態がデジタル化の方向へ進んでいる。紙の良さに近づけるように，デジタルアノテーションシステムや TabletPC のような製品が多くなっている。入力デバイスもキーボードやマウスの他に，ペン入力デバイスが多く採用されるようになっている。

一般的に，ペン入力デバイスは以下の 2 種類に分類することができる。

- 直接型ペン入力デバイス ： TabletPC（Fig1）のように，入力操作面と表示面が一致する。
- 間接型ペン入力デバイス： ペンタブレット（Fig2）のように，入力操作面と表示面が異なる。

Fig1. TabletPC

Fig2. Pen Tablet

ペンの操作性について調べた研究としては，魚井[6] ，Mackenzie[7] ，及び加藤[8] の研究を挙げることができる。ペンをマウスのように，ポインティング及びドラッギングの操作，操作の移動方向依存性について，定量的に分析を行った。

また，最近ではデザインの作業において，直接型及び間接型ペン入力デバイスはそれぞれ違う評価が得られるということが分かった[9]。直接型の場合は，書きやすさの評価が高く，描くことに集中できるが，逆に描くことに没入しすぎてしまい，アイディアを発散することが困難になるということが分かった。一方間接型の場合は，デバイスに慣れるまではきれいに書けないため，直すという行為よりもアイディアを出すという行為に集中できる。また，少し離れたところから自分の絵を見て確認できるという利点があるので，多くのデザイナは直接型よりも間接型の方を好むということも最近では分かってきた。

このように，ペン入力デバイスをドラッギングおよびポインティングタスクに用いた研究が多く行われている。また，デザインとペン入力デバイスの関係を調べる研究もあるが，ペン入力デバイスとアノテーショ

ン（手書き）の関係を定量的に分析する研究はない。更に，タスクによりペン入力デバイスの評価が左右されるので，アノテーションとペン入力デバイスの関係を定量的に明らかにする必要があると言える。

3. 従来の定量的実験の問題点と本研究の目的

3.1. 従来の定量的実験の問題点

田村[4]は文書作成時の文字入力方法の違いにおける入力スピードの比較を行った。この研究は，大学生を対象にし，手書き，携帯，パソコン（キーボード入力）を使った文書作成速度を比較した。驚いたことに，最近の大学生の文字入力スピードは，手書き及びパソコンよりも，携帯の方が最も早かったという結果が得られた。

次に，ペンの操作性に関しては，第 2 章で述べたように，魚井[6] ，Mackenzie[7] ，及び加藤[8]の研究を挙げることができる。魚井と Mackenzie はドラッギング操作について実験を行ったが，実験に用いられたペン入力デバイスは間接型である。その結果，マウスよりもペンの方が早かったと報告された。加藤は，両方のペン入力デバイスとマウスを用いて，ポインティング，ドラッギング，及び操作の移動方向依存性について分析を行い，ペンの特徴，及びペン UI を設計するときに考慮すべき点を明らかにした。

以下に従来研究についての問題点を述べる。

- 田村の研究に関しては，考慮した項目は入力スピードのみであり，入力デバイスを比較する際に必要な認知学的な観点を考慮していない。また，手書きアノテーションは，文字だけではなく，アンダーラインやサークルのような図形的なものもあるので，この研究のみで手書きアノテーションを評価するのは，限界があると考えられる。
- Mackenzie らの研究では，主にペンを手書き入力デバイスとしてでなく，操作のための道具としてとらえている。そのため，手書きアノテーションシステムを設計する際に，これらの研究結果を用いてペンの種類や UI を決めるのは限界があると考えられる。なぜならば，2 章で述べたように，タスクによってペン入力デバイスの評価が左右されてしまうからである。

このように，手書きアノテーションシステム設計のための設計指針はないので，それを明らかにする必要があると考えられる。また，手書きアノテーション自体の有効性について，定量的に明らかにしなければならないと考えられる。

3.2. 本研究の目的

本実験の目的は，手書きアノテーションの有効性，及び手書きアノテーションシステムの UI 設計に必要な設計指針を明らかにすることである。そのため，以下の 2 つの観点から実験を行う必要があると考えられる。

- 入力方法の観点から手書きとキーボードを比較し，工学的（入力効率），及び認知学的（認知的負荷）に分析する。要するに，キーボードと比較し，手書き入力はどれぐらい有効かを定量的に分析する。
- コンピュータ上で手書きアノテーションを書く際に，入力デバイスの観点から分析する。要するに，紙とペン入力デバイスを比較し，紙と同じように自然にインタラクションができ，有効かどうかを調べる。次に，直接型と間接型ペン入力デバイスを比較し，どちらが有効かを分析する。それに加えて，文書を理解する際に，アノテーションがどれぐらい有効かを分析する。

以上の 2 つの観点から，本研究は以下の 2 つの実験を行う。

- 手書きとキーボードの比較実験
  手書き入力とキーボード入力を比較し，どちらが有効かを定量的に分析する。
- ペン入力デバイスとアノテーションの関係
  紙，直接型，及び間接型ペン入力デバイスを比較し，どちらが有効かを定量的分析する。また，

アノテーションと文書理解の関係について定量的に分析する。

次の 4 章及び 5 章では，以上の 2 つの実験について詳細に述べる。

4. 手書きとキーボードの比較実験

4.1. 実験目的

本実験の目的は，メモを取る際に，手書きとキーボードを比較し，どちらが有効かを定量的に分析し，(1)メモを取るスピード，(2)メモの正確さと十分さ，及び(3)メモを取る作業自体の認知的負荷について明らかにすることである。

4.2. 実験の設計

入力デバイスを比較する際に，まず明らかにしなければならないのは，効率に関する項目である。本実験はまず，手書きの入力効率を調べるために，入力スピード（入力時間）を分析する。

次に，2 章で述べたように使うツールによって，知的活動の思考の質が左右されるため，認知的負荷も考慮すべきだと考えられる。我々は，アイディアをメモする際に，頭の中で思いついたアイディアを精一杯記憶し，紙などに写す。これは，文の表示時間内被験者に記憶させ，それから同じ文を入力してもらうのと同様だと考えられる。文の長さを変え，表示時間を一定にすることにより，認知的負荷を変えることができ，被験者が手書き及びキーボードで入力する際の認知の限界を分析することが可能である。

最後に，人の話を聞きながらメモするのも非常に重要であるので，この作業において手書きの有効性を分析する必要があると言える。音声とビデオ（音声＋映像）を流し，その内容をメモし，理解度を知るために問題を解いてもらうというタスクは，会議中にメモを取るような場面と同様だと考えられる。

4.3. 具体的な実験手法

4.3.1. 制御項目

本実験は 2 パターンのタスクに分ける。パターン 1 は，表示された文と同じものを入力する。このパターンの制御項目は，記憶負担作業と入力デバイスである。記憶負担作業については，記憶しない場合（丸写し）と，記憶する場合の2通りである。入力デバイスは，ペン（直接型ペン入力）とキーボードの 2 通りである。

パターン2は，メモを取り，問題を解くというものである。このパターンの制御項目は表示メディアと入力デバイスである。表示メディアについては，音声とビデオ（音声＋映像）の 2 通りである。入力デバイスはパターン 1 と同様，ペン（直接型ペン入力）とキーボードの 2 通りである。

パターン 1 は，2 つの制御項目の組み合わせで 4 通りの小実験を行い，タスク 1 とタスク 2 の 2 つに分ける。パターン 2 も同様であり，2 つの制御項目の組み合わせで 4 通りの小実験を行い，タスク 3 とタスク 4 の 2 つに分ける。タスク 1 からタスク 4 の詳細は次節にて述べる。

4.3.2. タスク内容

本実験は以下の4つのタスクから構成される。

- タスク 1 ： 参照ウィンドウ（Fig3）に表示された文を見ながら，タスクウィンドウ（Fig3）にキーボード，または手書きで同じ文を入力する。文は 15 個あり，10，20，及び 30 文字程度の 3 種類の長さで，出力順番はランダムである。
- タスク 2 ：一定の表示時間内（5 秒）に，参照ウィンドウ（Fig3）に表示された文を見て記憶し，タスクウィンドウ（Fig3）にキーボード，または手書きで同じ文を入力する。文はタスク 1 と同様，15 個あり，10，20，及び 30 文字程度の 3 種類の長さで，出力順番はランダムである。
- タスク 3 ： 音声を聞きながら，メモウィンドウ（Fig4）にメモを取り，最後に Q&A ウィンドウ（Fig4）に表示された問題を解く。音声は 4 分程度の長さであり，問題は 10 問あり，○×問題が 4 問，及び筆記問題が 6 問から構成される。音声の再生回数は 1 回のみである。

- タスク 4 ： メディアウィンドウ(Fig4)に表示するビデオ(音声＋映像)を見ながら，メモウィンドウ(Fig4)にメモを取り，最後に Q&A ウィンドウ(Fig4)に表示された問題を解く。ビデオは 3 分程度の長さであり，問題は 20 問あり，○×問題が 8 問，及び筆記問題が 12 問から構成される。ビデオの再生回数は， 1 回のみである。

アンケートは，実験前，タスク 2(パターン 1)終了後，及びタスク 4(パターン 2)終了後に行う。また，実験中は日本語変換プログラムの学習機能をオフにする。

4.3.3. 実験順序とタスク回数

学習効果の影響を除くために，タスクを行う順番を被験者によって変化させる。また，タスク 4 を除いて，それぞれのタスクは 2 回行う。

4.3.4. 計測項目

タスク 1 とタスク 2 では，まずタスクを終了するまでにかかった時間と，各文の入力時間を計測し，分析する。次に，文(内容)の正確さと十分さについて 5 段階評価を行う。最後に，キーボードのキー情報(打ったキー)を分析し，特に変換回数(Space キー)，確定回数(Enter キー)，削除回数(Delete キー，及び Back Space キー)を分析する。

タスク 3 とタスク 4 では，タスクを終了するまでにかかった時間，及び各問題を解く時間を計測し，分析する。次に，取ったメモの内容を正確さと十分さについて分析を行う。

4.4. 現在の実験状況

4.4.1. 実験環境

実験で使用した機材を，Table1 に示す。

Table1. Environment for experiments

Computer	Dell Precision360 (Pentium 4 3GHz)
OS	Microsoft Windows XP
Interface device	LCD tablet ： Wacom Cintiq1800 (1280×1024) Standard keyboard

実験サンプルは次の通りである。タスク 1，及びタスク 2 の文は，Microsoft Encarta 2000 から抽出したものを採用する。タスク 3 の音声は，日本語の授業で使われる教材を採用した。タスク 4 のビデオは，Microsoft Encarta 2000 に入っている AVI データを採用した。

実験で用いた UI の開発環境は，VisualC#.Net と TabletPC SDK である。タスク 1，及びタスク 2 の UI を Fig3 に示す。また，タスク 3，及びタスク 4 の UI を Fig4 に示す。音声及びビデオの再生ツールは，Windows Media Player 9 を用いた。また，日本語変換プログラムは Microsoft IME 2002 を用いた。

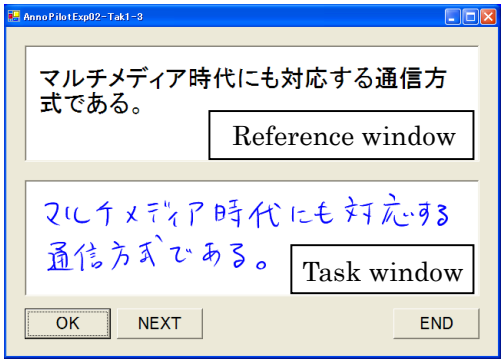


Fig3. Interface sample for task 1 and 2

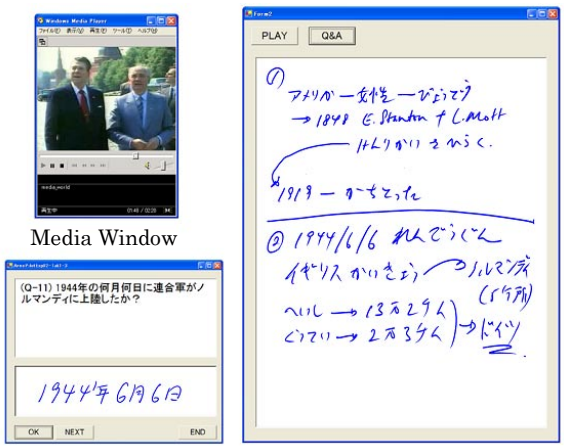


Fig4. Interface sample for task 3 and 4

4.4.2. 実験状況

被験者は，21～30 歳の大学院生 15 名である。全てのタスクを終了するまでの時間は，1 時間半程度である。Fig5 は実験風景の様子である。

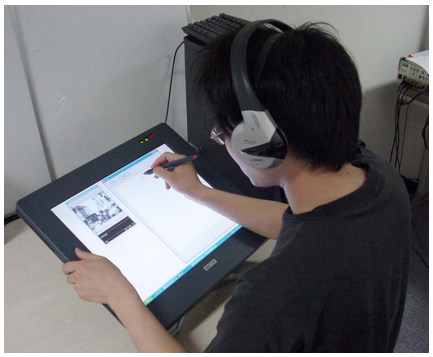


Fig5. Experiment situation

5. ペン入力デバイスとアノテーションの関係

5.1. 実験目的

本実験の目的は以下の 2 つである。

- コンピュータに手書きアノテーションを付ける際に，紙と同じように自然にアノテーションが書けるかどうかを分析する。また，直接型及び間接型ペン入力デバイスを比較し，どちらが有効であるかを定量的に分析し，明らかにする。
- アノテーションの有無によって，文書理解に影響があるかどうかを明らかにする。

5.2. 実験の設計

この実験では，紙，直接型，間接型ペン入力デバイスを用いるので，実験を行う前に，全ての入力デバイスの操作に慣れていないと，実験結果が偏ってしまう可能性があると考えられる。そのため，実験を行う前に，練習タスクを行う。

コンピュータのペン入力デバイスは，ペンと紙のように自然に書けるかどうかが最も大きな問題である。そのため，アノテーションシステムにペン入力デバイスを採用する際に，評価項目の入力スピードのみならず，思い通りのアノテーションの形，及び位置に書くことできるかどうかを分析する必要がある。

次に，アノテーション自体はアンダーラインやサークル，手書き文字などいくつかの種類に分けることができるので，各アノテーションの入力について，差があるかどうかを調べる必要があると考えられる。

上記のことから，本実験は表示されたアノテーションを見て，それと同じ形（種類），及び同じ位置に書き写すように被験者に指示する。被験者がアノテーションを書くために必要な時間を分析し，効率を求める。次に，被験者が書いたアノテーションの正確さ（形と位置）について分析し，入力デバイスの使いやすさを評価する。

また，今まではアノテーションの有効性自体を評価する研究が少ないため，本研究はアノテーションの有無によって，文書理解に影響があるかどうかを調べる。被験者に原稿を読みながらアノテーションを書いてもらい，その後アノテーションを書いた原稿を参照しながら，問題を解くように指示する。アノテーションの有効性を調べるために，同じタスクをアノテーションのないバージョンと，他人が付けたアノテーションのバージョンと比較し，どれぐらい問題の正答率が変わるかを分析する。

5.3. 具体的な実験手法

5.3.1. 制御項目

本実験は 2 つのタスクからなり，タスク 1 は表示されたアノテーションを丸写しするというものである。このタスクの制御項目は入力デバイスのみであり，紙，直接型ペン入力デバイス，及び間接型ペン入力デバイスの 3 通りである。

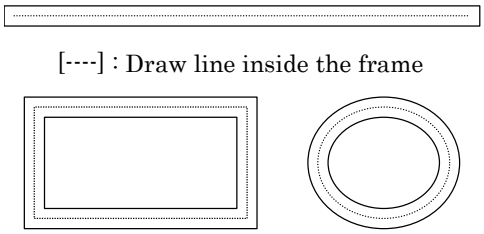
タスク 2 は，原稿を読み，アノテーションを書き，それを参照しながら問題を解くというタスクである。このタスクの制御項目は，入力デバイスとアノテーションの有無である。入力デバイスについては，タスク1と同様，紙，直接型ペン入力デバイス，及び間接型ペン入力デバイスの 3 通りである。また，アノテーションの有無については，アノテーションしないバージョン，アノテーションを自分で書くバージョン，及び他人が書いたアノテーションの 3 種類である。

タスク 1 は，1 つの制御項目で 3 通りの小実験を行う。タスク 2 は，2 つの制御項目の組み合わせで 9 通りの小実験を行う。

5.3.2. タスク内容

実験を行う前に，全ての入力デバイスに慣れるために，練習タスクを行う。練習タスクは，Fig6 に示されたような図形を用いて実験を行う。図形は，線，四角，と丸の 3 種類を採用し，大きさはばらばらであり，全部で 25 個用意する。被験者は，図形の淵内に線を書いてもらい，以下の 2 つの条件を満たすまで練習タスクを行う。

- 定められた時間内にタスクを終了する。
- 入力誤差（淵の外側に書かれた線）が 5%以内である。



[----]：Draw line inside the frame

Fig6. Sample of objects for practice task

練習タスクが終わったら，本実験のタスクを行う。本実験は以下の 2 つのタスクから構成される。

- タスク 1 ： まず，同じ原稿がアノテーションウィンドウと参照ウィンドウに表示される（Fig7）。参照ウィンドウにアノテーションが表示され，それと同じ形（種類），及び同じ位置のものをアノテーションウィンドウ（Fig7）に書く。アンダーライン，ハイライト，サークル，ボックス，コネクター，及びメモ書きの 6 種類が均等に含まれた 50 個のアノテーションを用意する。表示される順番はランダムである。実験の入力デバイスは，紙，直接型ペン入力デバイス，及び間接型ペン入力デバイスの 3 つである。
- タスク 2 ： 時間内（10 分間）にアノテーションウィンドウ（Fig8）に表示された原稿を読み，アノテーションを書く（または書かない）。その後原稿を参照しながら，Q&A ウィンドウ（Fig8）に表示された問題を解いてもらう。アノテーションを書く，書かない，及び他人のアノテーションを参照するという小実験を行う。また，実験の入力デバイスはタスク 1 と同様であり，紙，直接型ペン入力デバイス，及び間接型ペン入力デバイスである。これらの組み合わせで，9 通りの小実験を行う。原稿は 2000 字程度のものである。また，問題は 15 個用意し，○×問題，及び筆記問題の組み合わせである。

アンケートは，実験前，及び各タスク終了後に行う。

5.3.3. 実験順序とタスク回数

学習効果の影響を除くために，タスクを行う順番を被験者によって変化させる。タスク 1 は 3 回行い，またタスク 2 は 1 回のみ行う。

5.3.4. 計測項目

タスク 1 では，まずタスク終了するまでの時間と，各アノテーションの入力時間を計測する。次にアノテーションを種類別に分け，各種類の合計入力時間を求め，分析を行う。次に，被験者が書いたアノテーションと参照ウィンドウに表示されたアノテーションを比較し，形と位置について 5 段階評価を行う。

タスク 2 では，タスク終了するまでの時間，及び各問題を解く時間を計測し，分析する。次に，各入力デバイスで書かれたアノテーションの数と内容を比較し，分析を行う。

5.4. 現在の実験状況

5.4.1. 実験環境

実験で使用した機材を Table2 に示す。

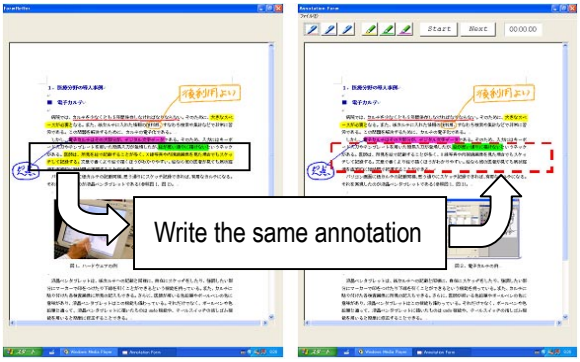
Table2. Environment for experiments

Computer	TabletPC ：Sharp Muramasa （Pentium M 1.1Ghz）
OS	Microsoft Windows XP
Interface device	LCD tablet ： Wacom PL600 （1024×768） Pen tablet ：Wacom （A5 Size）

タスク2のサンプルは，Microsoft Encarta 2000 から抽出したものを採用する。

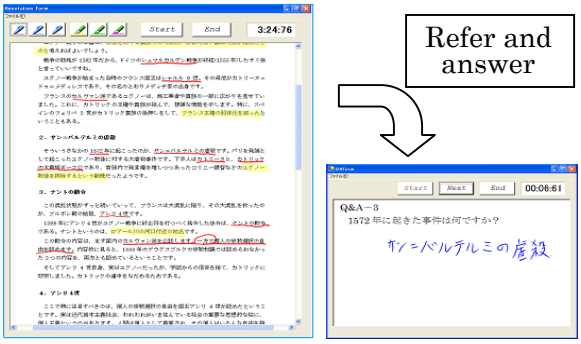
実験で使われた UI の開発環境は，VisualC#.Net と

TabletPC SDK である。タスク 1 の UI を Fig7 に示す。また，タスク 2 の UI を Fig8 に示す。アノテーションの色（ペン及びハイライト）は，3 色ずつ準備した。



Reference Window　　Task Window

Fig7. Interface sample for task 1



Annotation Window　　Q&A WIndow

Fig8. Interface sample for task 2

5.4.2.　実験状況

被験者は，研究室内の 21 から 30 歳までの大学院生 10 名である。全てのタスクを終了するための時間は，3 時間半かかる。Fig9 はタスク 1 の直接型ペン入力デバイスを用いて実験を行う風景である。

Fig9. Experiment situation

6.　おわりに

本研究では，アノテーションの有効性を定量的に明らかにするため，以下の 2 つの実験を行った。

- 手書きとキーボードの比較実験
- ペン入力デバイスとアノテーションの関係

今後は，実験データの分析を進め、アノテーションの有効性について定量的に評価していく。

参考文献

[1] Kenton O'Hara. A Comparison of Reading Paper and On-Line Document. Proceeding of CHI'97, pp.335-342 (1997)

[2] 香村，田野，岩田．メモ書きから清書までシームレスに適応するデジタルペーパーコンセプトの提案. HI シンポジウム'03, pp.125-128 (2003)

[3] Clifford Stoll. インターネットはからっぽの洞窟，1997，草思社

[4] 田村，丁井．大学生の文字入力速度の比較検討. HI シンポジウム'03, pp.81-84 (2003)

[5] 石川九楊．文学は書字の運動である．文學界 (2000 年 2 月号)

[6] Mackenzie. A Comparison of Input Device in Elemental Pointing and Dragging Task. CHI'91. pp.82-99 (1992)

[7] 魚井宏高．選択操作におけるペンとマウスの実験的評価．情報処理学会第 43 回 HI 研究会報告. pp.82-99 (1992)

[8] 加藤，中川．ペンユーザインタフェース設計のためのペン操作性の検討．情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp.1536-1546 (1998)

[9] 佐々木，田野，橋山，岩田．発散・収集型思考を活性化するスケッチ支援システム．電子通信学会ヒューマン情報処理研究会, (2004)