

コンピュータネットワーク上での発想支援のための 手書きによる協調作業システム

中島一彰 早川栄一 並木美太郎 高橋延匡

東京農工大学 工学部

〒184 東京都小金井市中町 2-24-16

Tel:0423-87-4600 Fax:0423-87-4603 e-mail: nakajima@cc.tuat.ac.jp

要旨

本稿では、コンピュータネットワーク上において発想作業を支援するための手書きを用いた協調作業システムについて述べる。従来の発想を支援するグループウェアツールはキーボードとマウスのインタフェースを採用しているものが多かった。著者らは自由な発想を支援するために手書きに着目している。分散環境でリアルタイムな対話を支援する手書きインタフェースを実現する環境としてメタファベースの協調作業環境「HAYATE」を開発した。特徴は、入力と操作に手書きを用いたこと、遠隔者が作業者の操作を分かりやすく理解するためにペンジェスチャを一定時間視覚的に共有する「ペンジェスチャウェアネス」を提案し、実装していること、いつでもアクセスできる環境を提供していることである。評価のためにテストタスクおよびKJ法モデルで実験を行い、特に移動操作に関してこれらの有効性を定量的、定性的に確かめた。

A Handwriting Cooperation System for Creative Thought Support on Computer Network

Kazuaki Nakajima, Eiichi Hayakawa, Mitarou Namiki and Nobumasa Takahashi

Department of Computer Science, Tokyo University of Agriculture and Technology

2-24-16 Naka-cho Koganei-shi Tokyo 184 Japan

ABSTRACT

This paper describes a handwriting cooperation system that allows brainstorming and the summarizing of ideas using a pen interface. The system uses a handwriting user interface to collect many flexible ideas and to discuss them with creative thought, which defers from existing system using a mouse and keyboard interface. HAYATE supports real-time or off-line cooperative environment based on a metaphor interface. The Features of HAYATE are as follows: HAYATE has a mechanism of "Pen Gesture Awareness" where pen gestures used in collaborative work are shared on the table metaphor for a few second so that others can easily understand the operator's action. When an idea occurs to a user, his operations can be carried out immediately without any need to take control of the work space. In experiments of the KJ-method model, pen gesture awareness makes group member at ease, and other users can know who operated on which object, even if they do not watch this area at the same time.

1. はじめに

分散した環境における知的生産活動の重要性は高く、コンピュータネットワークの発達には人間同士が行う共同作業の新たな展開に大きな影響を与えている。著者らは、特に、分散環境におけるアイデアの収集、整理、議論を含む一貫した発想作業の支援に注目している。ここでは本質的に人と人とのコミュニケーションであるリアルタイムグループウェアのヒューマンインタフェースが大きな課題となっている。

協調作業による発想支援には Xerox PARC の Colab[1]上で動作する Cognoter がある。また、KJ 法[2]の発想モデルに基づいた発想支援ツールがいくつか開発されている。たとえば、KJ 法の発想モデルを採用した発想支援ツールは GUNGEN[3]や KJ エディタ[4]などがあり、これらもグループウェア化が進んでいる。

ほとんどのシステムは入力と操作にマウスとキーボードを使っている。したがって、文字コードしか扱えないので扱える情報に制約があること、マウスとキーボードを持ち替えながら行う作業の不便さなどがある。

そこで、著者らは誰にも簡単に扱え、思考に適したインタフェースとして手書きを扱うペンインタフェースに着目した。手書きは考えたものを自由に書き出すことに向き、ブレーンストーミングのように多くの情報を取り込むことを目的とした場合の効果は大きい。文と組み合わせて簡単な図や因果関係を示すことが簡単にできる。対話性が高い発想では長々と書いた文章よりも、手書きの図や自由な文字を伝えた方が利用価値が高い。

以上の背景をもとに、著者らは手書きと分散環境を融合したリアルタイムグループウェアとしての『疾風 (HAYATE)』を開発した。本システムは協調作業に適した発想支援のための手書きの環境[5]を提供する。そこで問題になるのがネットワークとユーザインタフェースに密接に関係する基本システムであるオペレーティングシステムとウィンドウシステ

ムである。著者らは表示一体型のタブレットを使用することによって表示と入力の位置が一致している直接操作環境を、手書き環境のために開発した独自のウィンドウシステム『未 (HITSUJI)』とともに提供している。

著者らは、発想支援を目的にした協調作業に、手書きを利用する場合に解決しなければならない問題点を次のように捉えている。(1)相手に分かりやすいインタラクションの方法を導入する、(2)発想したときにいつでもアクセスできる環境を導入することである。本稿ではこれらを解決することについて述べる。

2. 手書きシステムの発想支援のモデル

本システムが前提とする発想モデルについてははじめに述べる[6]。

2.1 作業モデル

著者らは手書きに適したアイデア収集、整理の発想モデルとしてカード型の発想モデルが適していると考えている。アイデアを手書きによってカードに書き出して、アイデアの相関関係を議論する方法がよく使われるからである。カードには手書きで自由に図や文字を書き込むことができ、カードの配置によって階層構造、優先度、関係などを議論する。特に、よく用いられる KJ 法モデルに着目すると図 1 に示すようにアイデアがボトムアップの方向で集約されていく。次のような作業モデルになる。

(1) アイデア収集段階

アイデア収集は発散的な思考である。多くの情報を制限なく取り込むことが目標である。個人環境では自分の考えをほかの人に束縛されることなく書き出すことができる。共有環境では参加者同士が協調してアイデアを出すのでほかのユーザのアイデアに刺激されて新しい発想が生まれる。

(2) 議論・整理段階

複数出されたアイデアについてその関係を

考えながら、新規性を発見する段階である。グルーピング作業は、アイデアのグループの形成、表札付け、下位の抽象度のカードをクリップで束ねる、などの一連の作業で行われる。グルーピングは「氣的相関でアイデアをよせ集める」「ボトムアップ式にグループを作る」などの基本的なKJ法の考えで進められる。表札の表現を適切にするために議論する。その後は表札だけをみて再び一つ抽象度の高いグルーピングが行われ、最終的にアイデアが構造的に整理される。

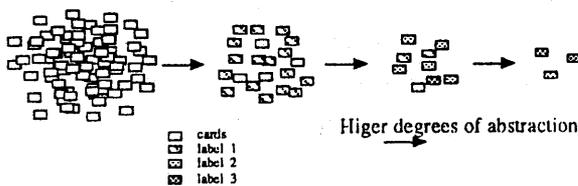


図1 作業モデル

2.2 KJ法の発想における注目点

著者らが所属する大学の学科では正規の学生実験として本格的なKJ法が行われている[7]。著者らは実際のKJ法を指導、観察した経験から、発想支援システムの構築のために次の2点に注目している。

(1) 追加の書込みが頻繁にある

アイデアを集めたあと、提出したアイデアが適切でない場合は訂正が行われる。訂正では語句の表現を具体化、明確化する。また、表札作りでは、グルーピングしたアイデアが適切に反映しているのかを議論して表札の語句を訂正しながら決定する。

(2) 視覚的な配置によって議論される

相関は一意に決まるものではなく、見方によればいく通りにも考えられ、チーム内で意見が衝突する。そのときは、カードを相関の度合いにしたがってテーブルに配置して視覚的な議論が行われる。

3. 手書き協調作業システム『疾風(HAYATE)』の概要

3.1 設計方針

KJ法の発想モデルを計算機で支援し、なおかつコンピュータネットワークを介して離れた人間とも発想をすることを支援する。特に直接目に見えない相手と協調作業をすることに着目する。そのためにわかりやすく直感的なインタフェースである必要がある。そこで次の設計方針を立てた。

(1) 机上の紙のKJ法の操作環境をメタファとして計算機に取り込む

(2) 手書きを使って自由に書き込みと操作をできるようにする

(3) 遠隔の人間と協調作業をするために、操作の過程を視覚化する

また、書込みと操作の過程を保存して、作業の再開時、混乱したときに再生することで発想を支援することも行っている。

3.2 特徴

図2に示してあるように複数の表示一体型タブレットマシンをネットワークで接続した環境で開発した。全体構成は次の通りである。作業空間をテーブルメタファで表現し、共有および個人空間を構成する。情報を紙メタファで表現してテーブルメタファ上に配置する。図3に示すように操作環境と入力環境を分離して、協調作業で複数の作業員でなされる一連の作業の並列性を確保する。

本システムの特徴は次の通りである。

(1) カード型の発想モデルを支援する

大量のカードを扱いそれらの関連性の議論を支援する。

(2) リアルタイムコミュニケーション環境である

オフラインとともにリアルタイムな協調作業環境を手書きにおいて提供する。

(3)ペンジェスチャによって協調作業をする
手書きに適したインターフェースであるペンジェスチャを活用する。

(4)いつでもアクセスできる環境である
発想したらいつでも書き込み、操作できることを保証する。

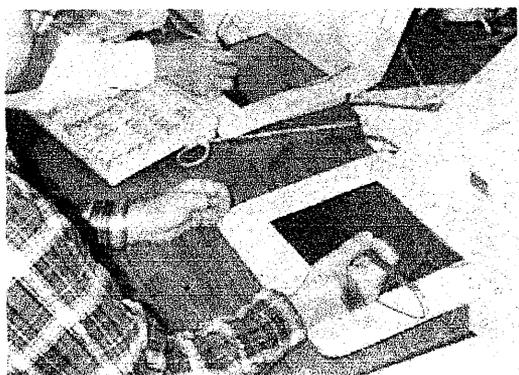
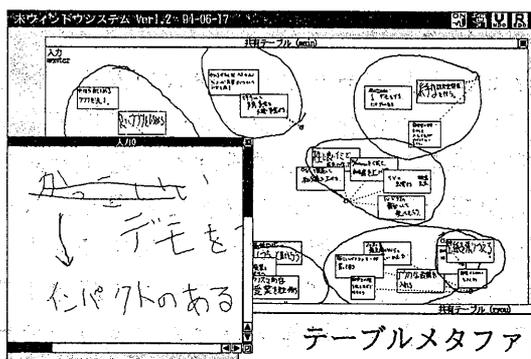


図2 タブレットを使った作業



紙メタファ

図3 実行画面例

4. 分散環境の手書きユーザインターフェース
ペンジェスチャに関して協調作業のためにグループウェアのユーザインターフェースの一つの手法として提案している「ペンジェスチャウェアネス」機構を用いていること、誰もがいつでもアクセスできるように操作権を

必要としない環境になっていることについて述べる。

4. 1 ペンジェスチャによる協調操作

4. 1. 1 ペンジェスチャの種類

テーブルメタファ上での操作は、図4に示すように紙メタファの移動、リンクの定義および変更、表示属性の変更、グルーピング、紙メタファのリサイズ、入力対象の選択などがある。移動はテーブルメタファをまたがることができる。

(1)ウィンドウ内のペンジェスチャ

オブジェクトをペンで指し示し、同時に操作できる。複数のオブジェクトを選択するときなど、作業の注目点を示せる。

(2)ウィンドウをまたがるペンジェスチャ

メタファ間の移動である。個人テーブルメタファと共有テーブルメタファの間においても移動ができるので、意見の公開や取出しができる。

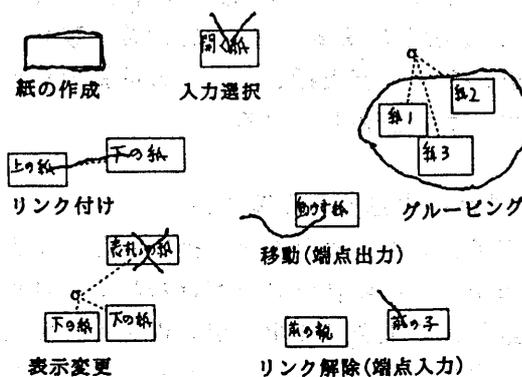


図4 ペンジェスチャの例

(3)ペンジェスチャとして認識されないペンアクセス

ペンジェスチャとして認識しないとき、指示ペンジェスチャとして認識されたときはストローク入力だけとなり、オブジェクトを指し示したり、操作の提案に用いる。

4. 1. 2 ペンジェスチャの特徴

ペンジェスチャは操作と同時にストロークの入力が行われる。ジェスチャとして認識しないときは入力だけとなり、紙メタファの強調あるいは指示に用いる。ペン一つで操作と入力ができる。ペンジェスチャは数本のストロークの組合わせであり、視覚的に意味を持つ二次元的な形を有する。ペンジェスチャはマウスとは違いメニュー選択が必要ないので、作業者が対象だけに集中することができる。さらに、協調作業を行っている場合には対象から目と手を離すことがないので、グループコミュニケーションに意識を集中させることができる。

特に協調作業をしている場合に、ほかの作業者の作業も集中している作業領域から目を離さなくていいので、作業の見逃しの可能性が少なくなることが期待できる。

4. 1. 3 ペンジェスチャウェアネスの効果
人間が、そこで何が行われたかを理解するためには、操作と結果との因果関係を示すことが重要である。本システムではジェスチャの形はペンストロークとしてコミュニケーションの相手に数秒間表示される。結果だけではなく、相手の作業の様子分かるので「ペンジェスチャウェアネス」と著者らが定義した[8]。ペンジェスチャウェアネスの効果は二つあり、(1)ほかのユーザはどのオブジェクトに対して何の操作がされたかが一目で理解できる、(2)ある程度は目を離してもほかのユーザによって何が行われたかを理解することが容易であることである。

特に、連続して発生する可能性がある協調作業に対する効果があると考えており、移動のような始点と終点に意味がある操作では複数の操作に対して協調作業をしている作業者が混乱することが少なくなると考えている。

4. 1. 4 ペンジェスチャウェアネス機構

ペンジェスチャはペンジェスチャが発生して共有されてから一定時間同じ場所に表示され続ける。その後、ペンジェスチャは数秒経

つと画面に表示されなくなる(図5参照)。この数秒間で協調作業者の意識を喚起することになる。長く表示していると、操作が重なったときに混乱をきたすので最大でも10秒程度に制限している。この時間は作業の行為者ごとに設定できる。標準は3秒にしてある。この時間は視聴者が気づくまでの時間ともいえるので、行為者ではなく視聴者ごとにこの時間を調整できるように設定することも可能であるが、その場合は完全なWYSIWISが崩れてしまう。

また、ペンジェスチャが発生してから次のペンジェスチャが発生するまでは、太く表示する。後述するが、操作が短時間に連続することが多く、操作の順番を明確にするためである。

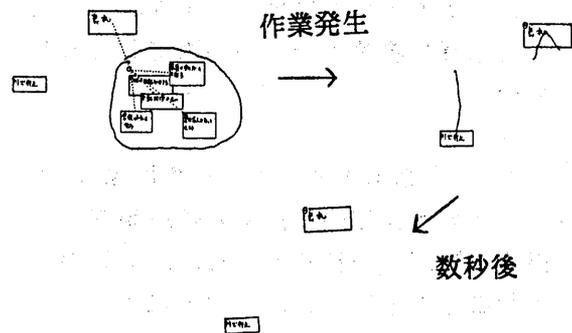


図5 ペンジェスチャウェアネス

4. 2 自由なアクセスにおける一貫性保証

4. 2. 1 操作実行のタイミング

分散環境で発想作業を支援するための手書きは、リアルタイム性の高い使い方をすることに適している。そこで問題になるのは一貫性を保証する機構である。既存の電子会議システムなどでは操作権をやりとりすることによる排他制御が一般的である。しかし、交互に意見を出したり手書きで即応する使い方が多い手書きでは極端に使いにくい。手書き環境では排他制御のわずらわしさを解放し、同時に意見を出せる環境を提供することが望ましい。

このような必要性からユーザレベルで作業空間を占有しない方式を採用する。手書きの

インタフェースでは次の2通りが考えられる。
(1)ペンジェスチャの開始と終了で自動的に排他をかける。

(2)操作の実行時に分散上の操作順序の一貫性を保つようにして、いつでも操作できるようにする。

基本的な違いは、操作中に別のユーザが操作できるかである。(1)は占有している間にほかの作業者が同時に操作することが不可能になる、ごく短時間に操作権の制御を確実にする必要のあることが問題である。(2)は複数の作業者の操作が同時に近い領域で発生すると視覚的に混乱する可能性がある。著者らは発想をいつでも反映できる環境の提供を第一に考え(2)を採用した。同時操作で視覚的に混乱しても、同時に意見の提出が発生したことをペンジェスチャウエアネスによりユーザに示すことも意見調整の一つの手段でもあると考えている。

4. 2. 2 順序制御機構による一貫性保証

本システムは操作の実行時の順序制御をする。操作の順序が一貫していれば、情報の不統一が起こることはない。この方式のメリットは誰もが好きなときに操作ができることである。消去が絡む二つの操作が衝突して後者が実行不能になった場合には、実行はキャンセルされるが、そのようなことはKJ法モデルではほとんどない。実際には任意のホストで集中して実行順序を管理する。

5. 実現

5. 1 ペン用のウィンドウシステム

協調作業システムはユーザインタフェースでウィンドウシステムと密接な関係がある。手書きの協調作業システムを研究、実現するにはペンインタフェース用のウィンドウシステムが必要である。

著者らの研究室ではペン用ウィンドウシステム『未(HITSUJI)』を開発した[9]。OSの下位層で第一段のインキングをすることで、人間の視覚で認知できる限界の10ms以下の

応答性能を確保している。また、紙に見立てたウィンドウがたくさん並ぶことを想定し、各ウィンドウをいつでも入力できる「紙」と捉えてペンアクセスに対してはアクティブウィンドウの概念がない。ウィンドウがオーバーラップした場合に下のウィンドウにペンで入力してもそのつどウィンドウの上下関係が変化しないので机上の書類のように扱える。

5. 2 規模

ソースコードの行数でおよそ20,000行、そのうちKJ法のモデルを記述した部分は3,000行ほどである。本システムを日立製作所製ワークステーション2050/32E上で作成し、次の実験を行った。

6. 評価実験

6. 1 移動操作におけるペンジェスチャウエアネスの効果

発想過程ではオブジェクトの移動による意見調整は大きい割合を占めている。KJ法の実験ではおよそ70%が移動であった。そこでまず、移動操作においてストロークの共有が有効であるか、つまり視覚化されたペンジェスチャウエアネスが移動操作の開始座標と終了座標が的確に共同作業者に伝わっているのかを評価する。実験方法は図6に示すように共有テーブルメタファ上に複数ある1cm四方の紙メタファの一つを遠隔ホストのテストタスクが任意の位置に移動したら、被験者がその紙メタファを元の位置に移動操作で戻す。テストタスクの内容はテストタスクが一枚移動するごとに被験者に戻してもらった作業を8回、二つの紙メタファをテストタスクが連続移動して被験者がそれぞれ戻す作業を4回することで構成される。実験は被験者ごとにペンジェスチャの視覚的共有がある場合とない場合とで順序を変えて別々のタスクを与えて測定した。被験者はタブレットペンをあまり使わない研究室の学生10人である。

まず、表1に示してあるストロークの共有がある場合とない場合との操作の正確さを比

較する。平均で2.5倍ほど共有がある場合で正確になっている。ペンジェスチャは紙メタファの正確な座標を示しているわけではないが、数秒間表示されていることで座標の特定の目印になっていることが推定される。なお、被験者が移動を認識できなかった場合は平均値から除外しているので、実際は共有がない場合には数値以上に把握ができない。

次に一回ごとの移動と連続移動の内訳に関して見てみる。表2に示すようにストロークの共有がある場合には一回ごとの移動と連続移動の間に差は認められない。これに対してストロークを共有しない場合には連続移動では1.8倍ほど誤差が増えている。このことは、ペンジェスチャウェアネスが、二つ以上の操作が重なったときにでも、大幅に変わった以前の位置と現在の位置との関連をペンジェスチャのストロークが手助けとなり容易に被験者に連想させ得ることを示している。

最後に被験者が移動操作を認識できなかった割合を表3に示す。ペンジェスチャウェアネスのストローク共有がない場合の認識できない割合は、特に連続移動があった場合に半分程度とかなり高い。これは突然視界が変わる場合に二つの処理を同時に追えないことを示している。

なお、テストタスクであったため、気づくまでの時間は平均はほとんど同じであった。

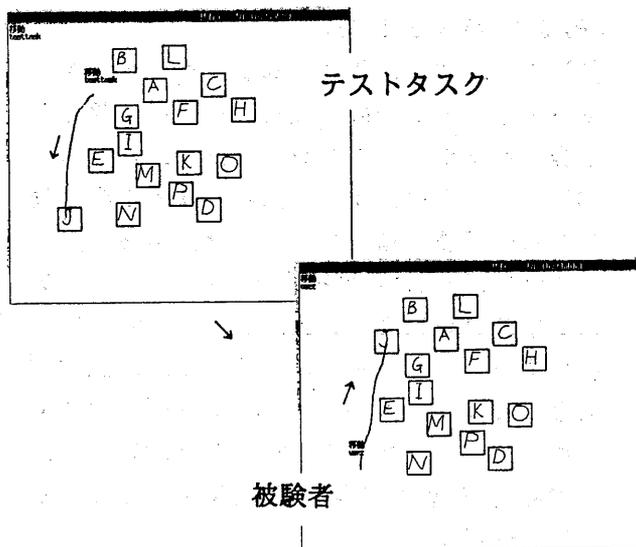


図6 移動ジェスチャの実験例

表1 移動誤差の平均

単位 mm 領域:170*100 オブジェクト:10*10

被験者 番号	ボタンAの順		ボタンBの順	
	共有あり	共有なし	共有なし	共有あり
1	2.5	5.0		
2			7.1	3.6
3			4.4	2.2
4	2.6	6.1		
5	2.6	5.4		
6			12.1	3.2
7			5.7	2.0
8			5.0	3.5
9	2.8	6.2		
10	1.8	5.2		
平均	2.5	5.6	6.9	2.9

表2 一回と連続の移動操作の差違

単位 mm 領域:170*100 オブジェクト:10*10

被験者 番号	共有ありの場合			共有なしの場合		
	一回	連続	連続/一回	一回	連続	連続/一回
1	3.1	2.0	0.6	2.2	8.8	4.0
2	3.0	4.3	1.5	4.2	12.5	3.0
3	1.6	2.8	1.8	3.0	6.1	2.1
4	3.3	2.1	0.6	6.9	5.1	0.7
5	2.2	2.9	1.3	5.7	5.1	0.9
6	3.2	3.1	1.0	12.7	11.5	0.9
7	2.1	2.0	0.9	5.0	6.5	1.3
8	3.4	3.6	1.1	4.0	6.1	1.5
9	3.5	2.0	0.6	5.3	7.7	1.4
10	1.9	1.7	0.9	3.4	7.9	2.3
平均			1.0			1.8

表3 移動が認知できなかった割合
各最大8回

被験者 番号	共有ありの場合		共有なしの場合	
	一回	連続	一回	連続
1	0	0	0	2
2	0	2	1	5
3	0	0	0	1
4	1	0	1	3
5	0	0	1	1
6	0	0	1	2
7	0	0	0	1
8	0	0	0	2
9	0	0	2	4
10	0	0	2	4
平均	0.1	0.2	0.8	4

6. 2 複数の操作を交えた場合の実験

次に、カード作成、リサイズ、グルーピング、表札付けの一連のKJ法の作業の中で、操作の種類と位置が的確に共同作業者に伝わるかについて評価する。実験の方法はテストタスクが共有テーブルメタファで実行したペンジェスチャの操作に対して、被験者が観察して同じ操作のペンジェスチャを書き込む（操作は行わない）タスクを、ペンジェスチャの

視覚的な共有がある場合と共有がない場合とで二つ与えた。実験結果を表4に示す。共有がない場合には共同作業者の操作に気がつかない場合が多いことが明らかになった。特に、視覚がいきなり変わる移動やカードを隠す操作で戸惑うことが多かった。

さらに、被験者からのアンケートによると、ペンジェスチャの視覚的共有がなければ突然結果が変化するので、集中力を試されているように感じたという意見が多くあった。これは自由な発想に重大な妨げになることが推定される。

表4 操作がわからなかった割合

被験者 番号	パターンAの順		パターンBの順	
	共有あり	共有なし	共有なし	共有あり
1	0	2		
2			4	0
3	0	1		
4			6	1
5	0	1		
6			1	0
7	0	0		
8			1	0
9	0	6		
10			3	1
平均	0	2	3	0.4

6.3 一連のKJ法の評価実験

操作権を必要としない環境で3人のメンバーの規模でカード50枚程度のKJ法の実験を行った。図7に示す実験結果の一例では、共同作業をしている場合に行業者が入れ替わる間隔が数秒程度で頻発していることが分かり、このことは手書きの環境では操作権の取得、解放の手間があると操作性が悪くなることを示している。

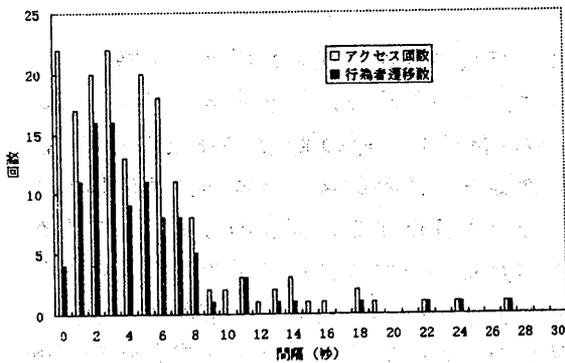


図7 操作間隔の測定

7. おわりに

本論文では発想支援のための手書き協調作業環境について述べた。発想作業を支援するためのヒューマンインタフェースとしてリアルタイムな手書きインタフェースを実現する環境を提案した。現在は提案などの機能拡張、および高速な環境への移行を行っている。

参考文献

- [1] Foster, G. and Stefik, M.: Cognoter, Theory and Practice of a Collaborative Tool, Proceedings of CSCW'86, Austin, Texas, pp.7-15, 1986
- [2] 川喜多: 続・発想法, 中央公論社
- [3] 宗森, 長澤: 分散型KJ法支援システムの実現, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理, 45-16, 1990. 5
- [4] 河合, 塩見, 竹田, 大岩: 協調作業支援機能を持ったカード操作ツール KJ エディタの評価実験, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, 1993
- [5] Nakajima, K., Hayakawa, E., Namiki, M. and Takahashi, N.: A Distributed Handwriting KJ-method System: A system for brainstorming using a pen-interface, HCI International '95.
- [6] Nakajima, K., Hayakawa, E., Namiki, M. and Takahashi, N.: A Creative Thought Support System for Cooperative Work using a Pen-interface, Proc. SEARCC'95 (Sept. 1995)
- [7] 中島, 早川, 並木, 高橋: ペンインタフェースを用いた分散KJ法システム, 情報処理学会プログラミングシンポジウム, 1995-1
- [8] 中島, 早川, 並木, 高橋: 知的生産活動のための手書き指向のメタファ型分散KJ法システム, 計測自動制御学会 第18回システム工学部会研究会, 1995. 12
- [9] 早川, 河又, 宮島, 加藤, 中川, 並木, 高橋: “ペンインタフェース研究・開発のためのウィンドウシステム“未”(HITSUJI)の設計と実現”, 情報処理学会論文誌, Vol. 36 No. 4, pp. 932-943, 1995.