

ジェスチャ操作を用いる広視野電子作業空間の 複数人協調作業への拡張

平沼 真吾^{*1} 木村 朝子^{*1} 柴田 史久^{*1} 田村 秀行^{*1}

Extension of Wide-view Electronic Working Space Using Gesture Operation to Collaborative Work System

Shingo Hiranuma^{*1}, Asako Kimura^{*1}, Fumihisa Shibata^{*1} and Hideyuki Tamura^{*1}

Abstract - We have developed a system named "Wide-view electronic working space" which realizes a gesture action combined with a wide-view arch display. After the usage of the system, there were many demands in which more than two people can operate and collaborate in the system. In this study, we designed and implemented a side-by-side system for multi-user collaborative works with a wide-view working space. In addition, we realized video editing application by sharing and cooperating the works, which was able to evaluate the utility of the side-by-side system.

Keywords : Wide-view Electronic Working Space, Collaborative Work, and Hand Gesture Input

1. はじめに

コンピュータによる作業効率の向上, 対話型電子作業の多様化とともに, デスクトップ型モニタの限られた画面サイズでは満足できず, 広い作業領域を確保できる大型スクリーンや壁面ディスプレイの利用が進んでいる. 我々は, 作業者の視野の大半を占める物理的に広い領域で電子データを操作することができる作業空間を「広視野電子作業空間」と呼ぶことにし, 手指を動かす直観的なジェスチャでこの空間を操作できるシステムの研究開発を推進してきた[1].

このシステムは, 当初単一作業による利用に限定してきたが, ジェスチャ操作の安定性が増し, 作業効率が向上するに連れて, 複数人での利用が望まれるようになってきた. 広視野の大型ディスプレイの利点として, 「一度に多くのデータを閲覧できる」だけでなく, 「多数の操作小領域を確保することができる」ので, 「作業空間を複数人で共有でき, 協調して作業ができる」ことが考えられる. 実際, 複数人の共同・協調作業にジェスチャ操作が適しているかや, 作業領域をどう割り振るかは, 興味深い問題である.

様々な大型ディスプレイを用いて複数人が協調して作業できるシステムとしては, これまでに Biehl らの研究[2] や, Izadi らの "Dynamo[3]" などがある. しかし, これらのシステムはいずれもマウスやキーボード, ペンを用いた操作に留まっている. 一方, 電子的な作業空間をネットワーク共有して複数人の協調作業を支援する CSCW

(Computer Supported Cooperative Work)システムでは, タッチ操作や簡単なジェスチャ操作を利用しているものも少なからず存在する[4][5]. この種のシステムでは, 電子的に同じに見える作業領域に複数人が同時アクセスできる機能を重視しているが, 現実の空間を共にし, 物理的にも同一の大型画面を扱う場合とは, その作業効率も作業形態もかなり異なると考えられる. よって, 我々はこれまでに開発した単独作業用のシステムを, 単に複数人がジェスチャ操作可能のように機能拡張するだけでなく, 作業者の位置関係や作業の分担・協調度合に応じて, データの引き渡しは如何にあるべきか, どのような画面分割するかを検討し, ヒューマンインタフェース学の観点からこれを評価することにした.

本研究では, この複数人利用のシステムの第一歩として, 2人の作業者が広視野大型スクリーンに向かって横に並んで分担作業する「サイド・バイ・サイド (SBS)」型に絞って開発を進めた. 2人のジェスチャが安定して識別できるようになって以降, 映像再生・編集作業を分担し協調する課題に関して, 分担作業結果の引き渡しや協調作業がしやすい作業領域を実現した. 本論文では, まず作業内容・形態の分析から始め, めざすシステムの設計指針, その実装と評価に関して述べる.

2. 協調作業の分析

2.1 協調作業の種類

システムを設計するに当たり, まず複数人の協調作業の形態を分析した. それぞれ独立して各自の課題を達成して持ち寄るといった分担や, 工場のベルトコンベアのような時間差をおいた分担作業も考えられるが, ここで我々が想定しているのは, 同時刻に同一場所で複数人が分担協調作業を行う場合である. 様々な作業を想定して,

*1: 立命館大学大学院 理工学研究科

*1: Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

以下の4つの場合が考えられた。

- (a) 2本の手では足りなくて、多数本の手を借りたいような場合。主作業者が完全に主導権を取り、副作業者の作業のすべてを把握する。
- (b) 主作業者が対象物を操作して指し示し、副作業者がそれを確認したり、相補的な作業を担う場合。途中で、主と副が逆転する場合もある。
- (c) 2人以上の作業者が各々の専門作業を分担し、その結果を共通の領域を介して受け渡す場合
- (d) 2人以上の作業者を時間的に分割して分担し、入替わり立替わり、同一の作業空間に登場する場合

(a)はまさに猫の手も借りたい状況で、手足となって作業する助手の「手助け」を必要とする場合である。それに対して、(b)や(c)は独立した役割を担う作業者が存在する場合で、(c)は共同作業というより、分担作業というべき形態である。

実際の作業では、こうしたモードが混在することも多く、外科手術などは(a)が基本だが、(b)や(d)の状況もある。航空機の操縦での機長と副操縦士の関係も、これに近い。一方、デザインワークでは(b)のこともあれば、専門性が高まるにつれ、(c)の形態が多くなる。

2.2 作業領域と作業者の位置関係

作業領域の割当てに関して、(a)や(b)は主作業者が全体を把握する必要があるため、作業領域は小領域に区切ることはあっても、主作業者は全作業領域を操作できることが必要である。(d)に関しては、全員が同じ領域を操作できる必要がある。これに対して、(c)の分担・協調作業では、各作業者が操作する「専有領域」と結果を受け渡す「共有領域」の両方を考える必要がある。このため、本研究では、より方式として複雑な(c)の形態を主として実装・検討することにした。

協調作業での作業者の位置関係は、「横に並ぶ」「向かい合う」「輪になる」などが考えられる。ネットワーク経由で仮想空間上に共有の作業領域を設ける場合には、作業領域の形も位置関係の設定もかなり自由度が高い。その反面、ネットワーク越しの協調作業には、まだまだ共存のリアリティが低く、作業効率も高くないという不満もある。現実空間の至近距離にいて声をかけ合って協調作業を行う場合には、互いの行動の把握が容易であるが、その分、位置関係に制約が生じざるを得ない。

本研究の場合は、大型スクリーンを想定したシステムの拡張であるので、横に並んで作業するのが自然である。

ただし、現状のスクリーン・サイズでは3人以上が並んで作業するのは現実的でないため、(3人以上への拡張を念頭におきつつ)2人が横に並んで立って作業する「SBS」型のシステムを開発・検討することとした。

3. サイド・バイ・サイド・システム

3.1 設計指針

本研究が対象とするのは、大きな画面の前に2人の作業者が物理的に並び、会話を交しながら、作業を分担し協調するシステムである。しかし、複数の作業者がシステムを利用することで、以下のような問題が発生する。

- ・複数の作業者の作業領域の混在と混同
- ・他の作業者による干渉
- ・操作に対するフィードバックの混在

これらの問題を解決するために、「作業領域のアクセス権」と「フィードバックの識別」について配慮する必要がある。

(1) 作業領域のアクセス権

前述したように作業者各人の「専有領域」と、データの共有、受け渡しを行うための「共有領域」を定義し、それぞれの領域ごとに作業者のアクセス権や実行可能なジェスチャ・コマンドを変更可能とする。

専有領域は、各作業者専用の排他的な作業領域であり、専有領域内にあるデータを他の作業者が操作したり、他の作業者の専有領域内にデータを移動させることを制限する。但し、他の作業者の専有領域内のデータを指し示し、議論することは考えられるので、他者からのポインティングは可能とする。

分担作業では、作業者が専有領域で別々に作業した結果を他の作業者に受け渡し、その結果を利用して次なる作業を行うことが想定される。そこで、複数の作業者がデータにアクセス可能な領域を設け、その領域を介することでデータの受け渡しを行うことができる「共有領域」を設ける。この領域内では、複数の作業者がデータへのアクセス権をもつことになるが、1つのデータに対して複数の作業者が同時にアクセスすることがないように、アクセス中のデータに他の作業者がアクセスできないデータ管理方式が必要である。

作業領域は作業者の立ち位置に応じて、事前に適切な位置に設定する。2人の作業者が横に並んで分担作業を行うSBS方式のシステムでは、両作業者の共有領域を、図1のように2人の間の手の届く位置に配置するのが自然である。また、このような共有領域が1つしかないとき、どのデータが既処理か未処理か分からなくなるので共有

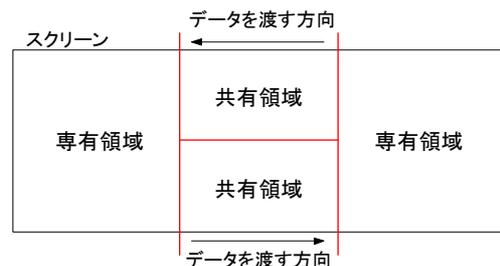


図1 作業領域の分類

Fig. 1 Working Space Classifications

領域を、データの受け取り手ごとに分割して用意する。図 1 では、共有領域の上半分は、右の作業員から左の作業員に受け渡すデータ、下半分はその逆としている、この配置は可変であり、逆でも差し支えないことは言うまでもない。

(2) 共同作業への移行

上記のように、それぞれの分担作業を行った後、その結果を持ち寄って、全作業員が同時に同一の作業領域で作業する「共同作業」に移る可能性も少なくない。そのために「共有領域」は、データ受け渡しのためのものではなく、まさに共同での作業を行うための場であるが、アクセス権等の解放は容易である。

(3) フィードバックの識別

ジェスチャ操作に対するシステムからのフィードバックが一様であると、自身と他のユーザの作業結果を混同し、操作が正しく実行されたかどうか判断が難しくなる。例えば、少し離れた位置からディスプレイ内をポインティングしたときの視覚フィードバックとして、矢印などのポインタを表示する場合、ポインタの形や色が作業員間で同じであるとどちらの作業員のポインタか判別できない。したがって、それぞれの作業員が自身の操作に対する視覚フィードバック、サウンドフィードバックを識別できるように改良する必要がある。

3.2 システム構成

図 2 に SBS 方式の協調作業を実現するシステムの構成を示す。文献[1]で述べたシステムの基本としているが、3人以上への発展が可能な方式で、かつ各作業員がそれぞれ

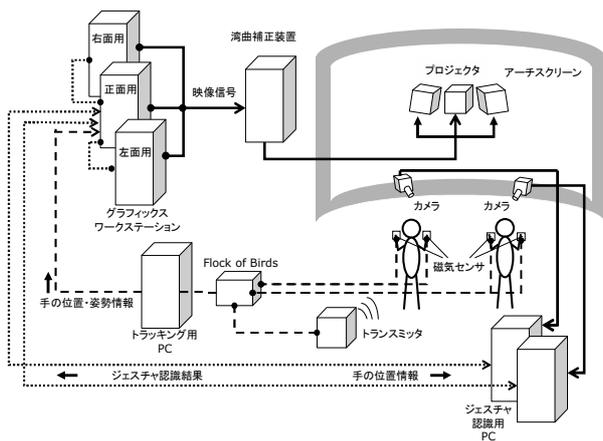


図 2 システム構成
Fig. 2 Hardware System



図 3 ジェスチャ入力のための手袋状デバイス
Fig. 3 Glove Device for Gesture Detection

れ独立したジェスチャ操作を行うことができる機能拡張を行っている。

本研究では、ジェスチャ認識を行うために、手袋状デバイスに 6 自由度磁気センサと再帰性反射材を取り付け (図 3)、手の大まかな位置姿勢を磁気センサで計測し、その周辺にある 3 本の指の位置を画像処理で検出している。よって、ハンド・ジェスチャを捉えるカメラ (赤外光投影機能、および赤外線透過フィルタ付) を作業員の数だけ、その位置に応じて増設・並置した。即ち、カメラ 1 台につき、ジェスチャ認識用 PC を 1 台ずつ、作業員の両手の位置を取得するための磁気センサを 2 つずつ設置している。ジェスチャ認識用 PC では、1 台の PC で、1 人の作業員のジェスチャ (右手、左手のジェスチャ) を認識しており、各々の PC に接続されたカメラは、作業員が多少動き回っても手の領域をキャプチャできるよう、広角に設定している。

3.3 ジェスチャ認識処理

本研究で利用可能なジェスチャも、基本的には文献[1]と同じであるので、詳細は省略する。これらのジェスチャの認識処理は、手袋状デバイスに装着した再帰性反射材の領域を、正面に設置したカメラの映像からリアルタイムに検出し、親指、人差し指、中指の形状変化を検出する方法を採用している。しかし、作業員同士で手が交差すると、検出した領域がどちらの作業員に属するか判定できず、誤認識が起こる場合がある。

今回想定しているのは、分担作業であるので、一方の作業員が手を伸ばしても他方の作業員に影響がない程度に、作業員の立ち位置を離すことで、上記の誤認識を回避することができる。加えて、検出された再帰性反射材の領域に対して、1 フレーム前の領域と距離が最も近い領域を同じ領域として追跡することで、誤認識率の軽減を図っている。

4. 映像編集アプリケーション

4.1 機能概要

3.1 の設計方針に従って拡張した「広視野電子作業空間」システムに対して、実際に作業効率や使い勝手を評価するため、具体的なアプリケーションを導入した。ここで採用したのは、従来のシステムでも安定した性能を発揮した「映像編集」の機能である。本研究の目的は、



図 4 分担作業モードの操作風景
Fig. 4 The Scene of Work Sharing Mode Operation

複数人作業への拡張の有効性にあるので、機能が豊富でかつ、2人の作業への分担が考えやすい課題を選んだ。

図4に、その操作風景を示す。左の作業（映像編集担当）がビデオ・シーケンス映像の分割・統合・一部の消去という編集作業に専念し、右の作業（映像選別・保存担当）がそのために必要な多数の映像データを映像データベース内から準備し、編集結果を保存、不要となった映像を廃棄するという作業分担を図っている。

このアプリケーションでは、前述のように、個々の分担作業の終了後に、編集後の映像の確認は「共同作業」で行うという設定にした。この分担作業モードと共同作業モードの切り替えは、作業自身任意のタイミングで行うことができる。

4.2 領域構成

分担作業、共同作業時の操作画面を図5、6に示す。分担作業時には、スクリーン上の作業領域を大きく破線で囲まれた3つの領域に分け、中央を共有領域、左右を各作業者の専有領域とする(図5)。右の専有領域1では、映像の探索、編集後の映像の保存、不要となった映像の廃棄を、左の専有領域2ではビデオ・シーケンス映像の分割・統合・一部消去といった編集作業を行う。中央の共有領域は、データ受け渡しに利用する。共有領域は上下2つに分け、画面右の専有領域から画面左の専有領域にデータを受け渡すときは上の「共有領域1」、反対に画面左の専有領域から画面右の専有領域にデータを受け渡すときは下の「共有領域2」を利用する。これによって、反時計回りにデータの流りができ、一連の流れに沿って受け渡すことができる。

共同作業時には、スクリーン全体を共有領域とし(図6)、2人の作業者が同じ操作権限を持つ。

4.3 分担作業

分担作業モードで、「専有領域1」では、映像の選別と保存作業を行う。この領域は、映像データベースの表示と、その選別、保存を行うための「映像データベース領域」(図5右端ウィンドウ)と、映像データを確認するための「映像再生領域」(図5右から2つ目のウィンドウ)から構成される。

作業者は、「映像データベース領域」から映像データを選別し、その映像データを「映像再生領域」に挿入することで、映像データが再生され、内容を確認する。「映像再生領域」では、映像データの「再生」「一時停止」「早送り」「巻き戻し」「削除」が可能である。選別された映像データは、「共有領域1」を介して、編集作業を行うもう1人の作業者に受け渡される。また、「共有領域2」を介して受け渡された編集作業済の映像データを「映像データベース領域」に挿入することで、映像データを保存することができる。

一方、「専有領域2」では、映像の編集作業を行う。専有領域2は、映像編集を行う「映像編集領域」(図5左から2番目のウィンドウ)と、編集途中の映像を一時退避しておく「一時退避領域」(図5左端ウィンドウ)から構成される。作業者が、「共有領域1」に置かれた映像データを「映像編集領域」に移動させると映像データが再生され、その下方に映像データの全長と現在再生しているフレームを示すタイムラインが表示される。

「映像編集領域」では、「再生」「一時停止」「早送り」「巻き戻し」「削除」に加え、複数の映像データの「統合」、1つの映像データの「分割」が可能である。映像データの統合は、「映像編集領域」に複数の映像データを挿入することで実現され、挿入された順番に統合される。映像

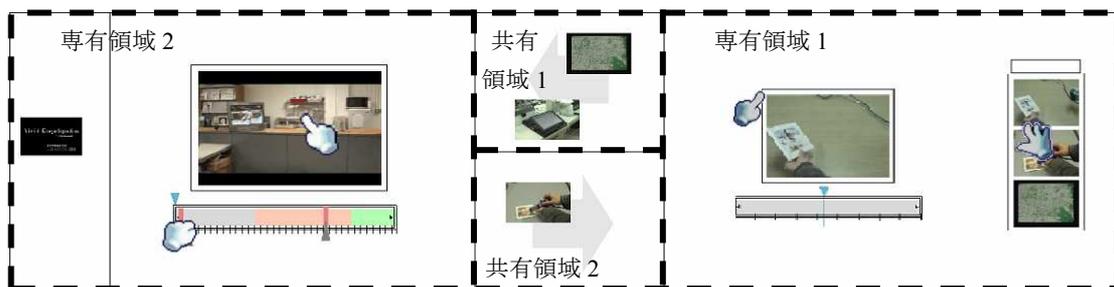


図5 分担作業モードの作業画面例

Fig. 5 Screen Image Example of Work Sharing Mode

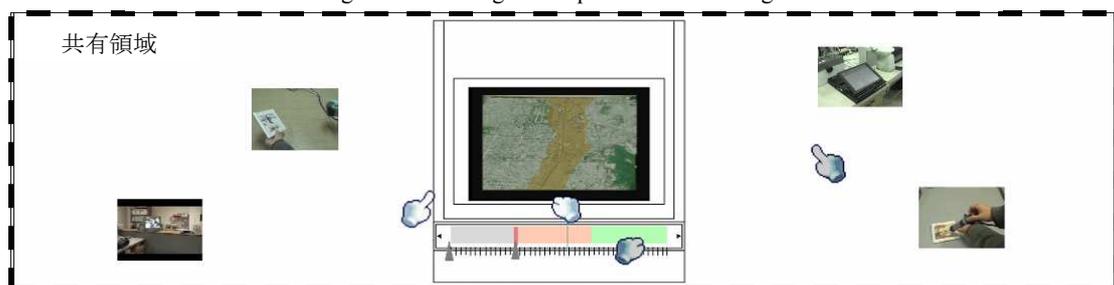


図6 共同作業モードの作業画面例

Fig. 6 Screen Image Example of Cooperative Work Mode

データを統合すると、統合後の映像データの全長にあわせてタイムラインの縮尺が変化し、統合される前の映像データごとに、タイムラインが色分けして表示される。

映像データの分割には、タイムライン上の「切り出しマーカ」を利用する。この「切り出しマーカ」は、タイムラインの任意の位置に移動することができ、2本の切り出しマーカで区切られた範囲の映像データを分割し、取り出すことができる。映像データの統合、分割作業の中で、まだ編集が終わっていない映像データは、「一時退避領域」に置いておくことができる。また、編集済の映像データは、「共有領域2」を介して、映像データの選別・保存作業を行う作業者に受け渡される。

データ受け渡しの際の誤操作を避けるため、映像の選別・保存作業を行う作業者が、映像データを「共有領域2」に置くこと、逆に映像編集の作業者が、映像データを「共有領域1」に置くことは不可能な設定にしている。

4.4 共同作業

共同作業モードでは、作業領域は「映像再生領域」(図6中央)と映像データの「一時退避領域」(図6左右両サイド)から構成される。分担作業モードから、共同作業モードに移行すると、分担作業モードの時に「専有領域2」の「映像再生領域」に表示されていた映像データが、スクリーン中央の「映像再生領域」にそのまま表示される。また、分担作業モード時に「共有領域2」にあったデータが「一時退避領域」に表示される。2人の作業者が、「一時退避領域」に並んだ編集後の映像データを「映像再生領域」に挿入することで、映像データが再生され、内容を確認することができる。

「映像再生領域」では、「再生」「一時停止」「早送り」「巻き戻し」「削除」が可能である。このモードでは、編集結果に問題がないか確認し、修正箇所や注目箇所があ

表1 分担作業モードで利用可能なジェスチャ・コマンド

Table 1 Gesture Command Usable in Work Sharing Mode

	映像選別・保存作業者	映像編集作業者
専有領域1	選択, 確定, 移動, 解除, 再生, 一時停止, 早送り, 巻戻し, 削除, 映像データの読込, 保存	選択 (ポインティング)
専有領域2	選択 (ポインティング)	選択, 確定, 移動, 解除, 再生, 一時停止, 早送り, 巻戻し, 削除, 映像データの統合, 分割
共有領域1	移動, 解除, 選択 (ポインティング)	選択, 確定, 移動
共有領域2	選択, 確定, 移動	移動, 解除, 選択 (ポインティング)

表2 共同作業モードで利用可能なジェスチャ・コマンド

Table 2 Gesture Command Usable in Cooperative Work Mode

	全作業者
共有領域	選択, 確定, 移動, 解除, 再生, 一時停止, 早送り, 巻戻し, 削除, 映像データへのマーカ付

る場合には、映像データに目印をつけるという機能が要求される。そのため、「映像再生領域」下方にあるタイムラインには、任意の位置に移動することができる「マーカ」を表示する。この「マーカ」は、分担作業モードに移行しても表示され、分担作業モードでは「切り出しマーカ」として利用することもできる。

4.5 ジェスチャ・コマンドとフィードバック

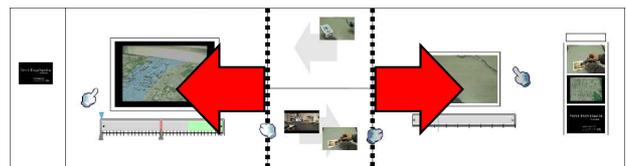
分担作業モード、共同作業モードで利用可能なジェスチャ・コマンドを、それぞれ表1、表2に示す。分担作業モードでは、全ての領域で利用可能なジェスチャ・コマンドは、選択(ポインティング)のみであり、その他のジェスチャ・コマンドは作業領域と作業者に応じて利用可能かどうかが決まる。

基本コマンドは「選択」「確定」「移動」「解除」である。映像データの「再生」「一時停止」「早送り」「巻戻し」「削除」や「読込」「保存」「統合」「分割」、「映像データへのマーカ付」といったアプリケーション依存のコマンドは、基本コマンドの組み合わせ、移動先の領域の意味付けによって実現している。

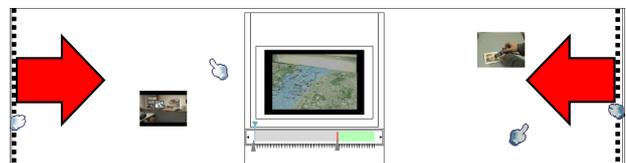
分担作業モードから共同作業モードへの移行は、「専有領域と共有領域の境界部分を、各作業者が選択・確定し、スクリーンの左右両端へ移動する」というジェスチャを、逆に共同作業モードから分担作業モードへの移行は、「共有領域の左右両端部分を、各作業者が選択・確定し、スクリーン中央へ移動する」というジェスチャを割り当てた(図7)。

一方の作業者の作業中に他方の作業者が、勝手に「分担作業↔共同作業」の移行を実行することは許されないため、両者の同意なしでは行えないジェスチャにしている。

また、ジェスチャ操作のフィードバックとして、表3に示すポインタアイコンを採用し、各作業者が自分のポインタアイコンを識別できるように、作業者ごとにポインタの色を設定した。サウンドフィードバックについても、作業者ごとに異なる音を採用することで、混同のないよう対処している。



(a) 分担作業モード⇒共同作業モード



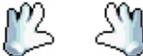
(b) 共同作業モード⇒分担作業モード

図7 作業モードの切換方法

Fig. 7 Working Mode Switching Methods

表3 基本ジェスチャ・コマンドとポインタアイコン

Table 3 Basic Gesture Commands and Pointer Icon

	作業員 A	作業員 B
選択		
確定		
解除		

4.6 運用と考察

以上のアプリケーションを設計・実装し、運用したところ、以下のような知見が得られた。

- ・作業員が1人から2人に増えたことで、2人の作業員の手が交差する場合が想定され、ジェスチャの誤認識が増えることが危惧されたが、比較的簡単な調整の結果、良好な結果が得られた。誤認識が発生した場合でも、作業員がストレスを感じるということはほとんどなかった。分担作業、共同作業いずれのモードでも、会話は交わすものの、作業員同士が近づいて作業することはあまりなく、誤認識の発生頻度も少なかった。

- ・(1) 作業領域は分割するが、どの領域も全作業員がアクセス可能とした場合と、(2) 作業領域を分割しそれぞれの領域ごとに適切なアクセス権を設けた場合で、運用結果を比較した。その結果、(1)の場合は、1人の作業員がもう一方の作業員の作業に介入したり、「これでいいの?」「これを保存するの?」といった相手の行為を確認する会話が早いといった傾向が見られた。それに対して(2)では、専有領域で他の作業員に介入されることがないため、基本的にそれぞれの作業員が各自の作業を淡々とこなし、効率の良い分担作業が実行されることが分かった。

- ・ポインタアイコンの形状を、(1) 矢印型で作業員間で色分けなし、(2) 矢印型で作業員によって色を変更、(3) 表3のグリップ型で作業員によって色を変更した場合、について運用し、それぞれ問題点を検討した。(1)(2)の矢印型ポインタでは、右手と左手でそれぞれ±45度ずつ傾けることで、ポインタがどちらの手に属しているのかが分かるようにしている。その結果、(1)の場合には、ポインタアイコンがどちらの作業員のものかわからないという意見が多く、ポインタアイコンの色を変えた(2)では、この問題が多少改善されたものの、まだ右手と左手が識別しにくいという意見が多かった。(3)のポインタアイコンでは、色を変えるだけでなく、ジェスチャ認識結果を随時反映させているため、どちらの作業員のポインタアイコンかが容易にわかった。加えて、アイコンを見ただけで、右手と左手どちらのポインタかが即座にわかるという意見も多かった。

- ・サウンドフィードバックを、作業員間で同じにする場合と、作業員ごとに変更する場合について運用した。

前者の場合、他の作業員の操作によるサウンドフィードバックを自分の操作と誤解する場合が見られた。一方、後者では、誤認識はなかったが、色々なサウンドが提示されるため慣れが必要との意見があった。

5. むすび

広視野電子作業空間システムを複数人協調作業へ拡張する第一歩として、2人の作業員が広視野大型スクリーンに向かって横に並んで分担作業するSBS型のシステムを設計・実装した。

本研究では、ジェスチャ認識のシステム拡張を行うとともに、複数人での協調作業の分類や「専有領域」「共有領域」なる概念の設計を徹底して行い、しかる後に実質的な実装へと移行した。既に安定したソフトウェア機能を実現していた「映像編集」を題材に選び、概念設計を詳細に行っていたので、システム拡張や課題実装は比較的円滑に進行した。

未経験者も含む運用結果からは、全体として複数人への拡張は有意義で、他者と相談できることはもちろん、作業効率の向上も期待できるので、複数人で協調して作業することはジェスチャ操作による電子作業でも有効であるという評価を得た。特に、専有領域と共有領域を設定し、領域を区分したことは効果的であった。その反面、作業員数に比例してディスプレイ内を指し示すためのカーソルも増え、視認性が低下するという問題がある。複数人による分担・協調作業の利点を生かすには、こうした細部の問題を解決して行く必要があると言えよう。

謝辞

本システムの開発には、当研究室の渡辺匡哉君の協力を得た。ここに感謝の意を表します。本研究の一部は、(財)国際コミュニケーション基金と(財)大川情報通信基金の研究助成による。

参考文献

- [1] 木村, 鶴田, 酒井, 鬼柳, 柴田, 田村: ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間の設計と実装, 情処論, Vol.47, No.4, pp.1327-1339 (2006).
- [2] Biehl, J. and Bailey, B.: Improving interfaces for managing applications in multiple-device environments, Proc. AVI 2006, pp.35-42 (2006).
- [3] Izadi, S., et al.: Dynamo: A public interactive surface supporting the cooperative sharing and exchange of media, Proc. UIST 2003, pp.159-168 (2003).
- [4] Kirk, D. and Fraser, D.: Comparing remote gesture technologies for supporting collaborative physical tasks, Proc. CHI 2006, pp.1191-1200 (2006).
- [5] Gutwin, C. and Penner, R.: Improving interpretation of remote gestures with telepointer traces, Proc. CSCW 2002, pp.49-57 (2002).