ジェスチャ操作を用いる広視野電子作業空間の複数人分担・協調作業への拡張

平沼 真吾[*1*3]　木村 朝子[*2]　柴田 史久[*1]　田村 秀行[*1]

Extension of Wide-view Electronic Working Space Using Gesture Operations to Cooperative-Work System

Shingo Hiranuma[*1], Asako Kimura[*2], 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 use of the system, there were many demands in which more than two people can operate and cooperate in the system. In this study, we designed and implemented a side-by-side system for multi-user cooperative works with a wide-view working space. In addition, we realized video editing application by sharing and cooperating works, which was able to evaluate the utility of the side-by-side system.

Keywords : Cooperative Work, Gesture Command, Immersive Display, Mixed Reality and Side-by-side

1. はじめに

本論文で論じるのは，2 人以上の作業者が広い電子作業空間を共有して行う分担・協調作業のためのシステムとそのユーザ・インタフェースに関する研究である．現実の世界で行う分担・協調作業には，作業者が円卓を囲む形態や，横一列に並んで声を掛け合う形態などが考えられる．その電子化を考える上で，本研究では後者に的を絞り，電子作業空間をジェスチャ操作する方式を実現したので，これを報告する．

筆者らは，デスクトップ型モニタの狭い画面では満足できない電子作業に対して，作業者の視野の大半を占める投射型スクリーンを用いて「広視野電子作業空間」を構築し，直観的なジェスチャ操作でこの空間内の事物を操作する研究開発を推進してきた[1]．このシステムは，当初単一作業者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．広視野の空間を対象とする以上，これは極めて自然な要求と考えられる．

我々は，これまでに開発した単独作業者用のシステムを，単に複数人がジェスチャ操作可能な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，どのように作業領域を分割するかなどについて検討することにした．ここで，複数人利用システムの第一歩として，まず 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ぶ場合に限定し，「サイド・バイ・サイド (SBS)」型に絞った研究開発を進めた．まず，2 人のジェスチャが安定して識別できるように改良を加え，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．

以下，本論文では，まず作業内容・形態の分析から始め，目指すシステムの設計指針，その実装とユーザによる評価結果に関して述べる．

*1: 立命館大学大学院 理工学研究科
*2: 科学技術振興機構 さきがけ
*3: 現在，株式会社東芝
*1: Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University
*2: JST PRESTO
*3: Toshiba Corporation

2. 関連研究

Biehl らの研究[2]や Izadi らの“Dynamo[3]”では，大型ディスプレイを用いて複数人が協調作業を行えるシステムを実現している．これらのシステムでは，複数の作業者がマウスとキーボードを入力として用いている．マウスは優れたポインティングデバイスではあるものの，指差しジェスチャなどに見られるような直截性はないため，複数人が協調して作業する場合では，他の作業者がポインティングしている位置をすぐに把握しづらい場合がある．ジェスチャ操作を入力とする場合では，作業者の腕が交差することがあるものの，現実空間での作業とより近い感覚で作業することができ，他の作業者が指し示す方向が一目でわかる．本研究では，ジェスチャ操作を入力として用いるため，領域の構成方法やポインタの提示方法は，マウスやキーボードを入力とするシステムとは異なる設計が必要となる．

テーブルトップ型のシステムでは，複数人の協調作業にジェスチャ操作を採用している例が多い．Scott らの研究[4]や Shen らの“Diamond Spin[5]”では，複数人がテーブルを囲み，テーブルの中央付近でテキストデータや写

真のレイアウトを行っている．筧らの“Lumisight Table[6]”では，実物体をテーブルの上に置いて風力発電のシミュレーションを行うことも提案している．このようにテーブルトップ型のシステムは，文書や写真などの資料を手もとに置くことができる，全員が向き合って作業できるなどの利点があり，各作業者が役割を持って行う分担作業よりも，会議やブレインストーミング，複数人が相談しながら同時に 1 つの対象を操作する協調作業に向いている．そのため，全作業者が使用できる共有の領域を作業領域としていたり，注目するデータをテーブル中央に位置する共有の領域で閲覧するなど，テーブルトップ型のシステムに向いている作業を対象として設計しているケースが多い．また，作業者の位置によって文字や図の上方向が異なる問題や，テーブル周りで作業するという立位置の拘束上，離れた場所に表示されている文字や図に対しての視野角が狭くなり，視認しづらいという問題がある．テーブルトップ型のシステムではこれらの特徴や問題を考慮する必要があるため，大型ディスプレイに向かって作業する分担型の協調作業とは領域構成やアクセス権限の設計が異なる．

また，作業空間をネットワーク共有している CSCW システムにもジェスチャ操作を用いる研究例は多い．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，作業領域の形も位置関係の設定もかなり自由度が高い．例えば，Ishii らの“ClearBoard[7]”や Kirk らの研究[8]のように，作業領域に共同作業者の動きを投影して，擬似的に自分と重ね合わせるというような，現実では不可能な位置関係にすることも可能である．しかし，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，位置関係に制約が生じざるを得ないが，その分，互いの行動の把握が容易である．

我々は，大型スクリーンの前で複数人が物理的に並びジェスチャを使って作業を行なうという，従来研究にない電子協調作業を想定している．その方式の問題点の分析とそれを解決するシステム設計の提案を行うとともに，実際にシステムを試作し，提案する設計指針の評価を行なう点に本研究の新規性がある．

3. 協調作業の分析と問題点の分析

3.1 複数人の協調作業の分析

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，以下の 4 つに分類した（**表 1**）．

表 1 複数人協調作業の分析
Table 1 Analysis of cooperative works

		作業のタイミング	
		同時	交互
各作業者の作業内容	1 つの作業を一緒に行う	(a)	
	1 つの作業を相補的に行う	(b)	(d)
	異なる作業を別々に行う	(c)	

(a) 複数の作業者が 1 つの作業を一緒に行なうが，主作業者が主導権を取り，副作業者の作業の全てを把握する場合

(b) 作業をいくつかのサブタスクに分け，複数の作業者が 1 つの作業を同時に相補的に行なうことで，作業の効率化を図る場合

(c) 複数の作業者（専門家）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 人以上の作業者が作業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

ここで，(a)は言わば猫の手も借りたい状況で，手足となって作業する助手（副作業者）は，完全に主作業者に従属している．それに対して，(b)(c)(d)は独立した役割を担う作業者が存在する．(b)には，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する場合も含まれるが，作業途中に各作業者の担当範囲を調整することや，主と副が逆転する場合もある．(c)は協同作業というよりも，「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，外科手術における術者と助手の関係などは(a)が基本だが，(b)や(c)(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，専門性が高まるに連れ，(c)の形態が多くなる．(c)の形態は現実世界，特に複数の専門知識を必要とする分野ではよく目にする協調作業（例えば，映像監督と映像編集技師による映像の選別と編集作業，印刷物における写真や記事の選別とレイアウト作業，建築家とインテリアデザイナーによる家の設計とインテリアデザイン，工業製品における意匠デザインとシステム設計など）であるものの，過去の研究でこの形態に着目している例は少ない．本研究では，まず，この(c)の形態から実装・検討する．

3.2 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ので，作業領域を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役割を分担するので，各作業者それぞれに対して作業領域が必要である．

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．本研究は大型スクリーンを想定したシステムであるため，横に並んで作業するのが自然である．その場合，主作業者が 2 人の複数の副作業者を左右に従える場合や，3 人以上の作業者が流れ作業を行う場合も考えられるが，基本となるのは 2 人での協調作業の実現である．本研究では，3 人以上への拡張を念頭におきつつ，まずは 2 人が横に並び立って作業する「サイド・バイ・サイド型」のシステムを開発・検討することとした．

3.3 複数人協調作業における問題点

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．システムを設計するに当たり，まず，複数の作業者がシステムを利用することで発生する問題を分析した．

(1) 作業領域の混在と混同

複数の作業者が現実の空間を共にし，物理的にも同一のディスプレイを共有する場合，まず作業領域を如何に共有するかが問題である．作業領域を何の区切りも無しに共有すると，作業者は作業領域のどこを使って作業をすれば良いのかわからなくなる．また，各作業者が自由に作業領域にデータを置くと，作業領域内にあるデータの配置が煩雑になり，どのデータが自分のデータなのか判別できなくなる状況に陥りかねない．

(2) 他の作業者による干渉

作業領域を共有することで，他の作業者から容易に干渉されうるという問題が考えられる．例えば，ある作業者がデータを移動する際，他の作業者が注目しているデータに重なってしまうことや，ある作業者が注目しているデータを他の作業者が移動させてしまうことなどが考えられる．このように不本意に他の作業者に干渉されることは，作業効率の低下を招く恐れがある．

(3) 操作に対するフィードバックの混在

作業結果の確認を補助するため，多くのシステムでフィードバックを活用している．ここでいうフィードバックとは，例えば視覚フィードバックとしてポインタアイコンの表示や，聴覚フィードバックとして効果音の再生などである．一般にフィードバックは作業者の操作タイミングに伴って提示される．しかし，作業空間を共有し，自分の作業と他者の作業に対するフィードバックが同じであると，どれが自分の作業に対するフィードバックなのかを判別し難いという問題が考えられる．

4. サイド・バイ・サイドシステムの設計指針

4.1 領域構成とアクセス権限

本研究では，3.3 の(1)と(2)の問題を，各作業者専用の作業領域である「専有領域」を用意することで解決する．データの共有・受渡しには，「データ受渡し領域」を用意し，それぞれの領域ごとに作業者のアクセス権限や実行可能なジェスチャ・コマンドを変更する．

各作業領域は，以下のように定義する．

・専有領域：各作業者専用の作業領域であり，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．ただし，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．

・データ受渡し領域：データを受け渡すための領域であり，データのやり取りを行う 2 人の作業者のみアクセス可能とする．ただし，一方の作業者がアクセス中のデータにもう一方の作業者が同時にアクセスすることは不可能とする．

作業領域は作業者の立位置に応じて設定する．2 人の作業者が横に並んで分担作業を行う SBS 型のシステムでは，各領域の位置は，**図 1** のように作業者の専有領域を両端に，両作業者のデータ受渡し領域を 2 人の間に配置するのが自然である．また，このようなデータ受渡し領域が 1 つしかないと，どのデータが既処理か未処理かわからなくなるので，データ受渡し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，データ受渡し領域の上半分は，右の作業者から左の作業者に受け渡すデータ，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．横に並んで行う分担・協調作業では，流れ作業のようにそれぞれが作業した結果を順番に渡していく作業が自然であり，作業者が 3 人以上であっても，データのやり取りを行う作業者の間にデータ受渡し領域を配置すれば容易に拡張できる．

4.2 データの受渡し方法

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．現実世界で行う分担・協調作業では，2 人の作業者間でデータを受け渡す方法とし



図 1 作業領域の分類
Fig. 1 Area configuration

て，以下の 2 種類が考えられる．

・特定の領域を介して渡す方法：データを受け渡すための領域を用意し，その領域を介して渡す方法．この方法は，データを渡す相手が作業中であっても，相手の作業を妨げることなくデータを渡すことが可能である．また，渡されるデータは常に定められた場所に置かれるので，作業者は常に同じ場所からデータを取り出せば良い．

・直接手渡す方法：領域を介さず，直接手から手へデータを渡す方法．領域を介してデータを渡す場合，その領域にあるデータの数が多くなると煩雑になり，必要なデータを一目で見つけることが困難であるが，この方法であれば，データ受渡し領域が煩雑になった場合でも特定のデータをすばやく渡すことが可能である．

本研究では，前者の方法は，前節で述べたデータ受渡し領域により実現する．後者の方法は，現実世界と同様，データを渡す側の作業者がデータを受け取る側の作業者の手の上にデータを置くというジェスチャを用いる．

4.3　作業者へのフィードバック

3.3 の(3)は，作業者が増えることで，作業者のポインティング位置を示すポインタアイコンが作業者数×2 個（右手，左手用）表示される，作業に対する効果音が作業者数分提示されるなど，作業者にとって情報過多で煩わしく，どちらの作業者に対するフィードバックか判別し難くなるという問題である．そこで，各作業者が自身の操作に対するフィードバックを容易に識別できるよう，ポインタアイコンに関しては色／形状を，効果音に関しては音の種類／音量を作業者ごとに変更し，違いを明らかにする．実際，SBS システムでどのようにフィードバックを提示するのが効果的であるかは，後述のユーザテストで調査する．

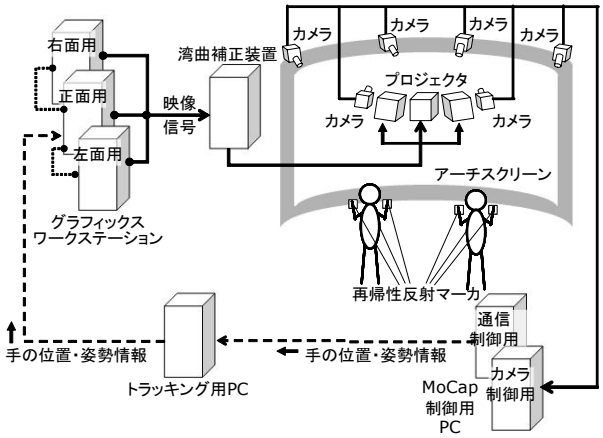


図 2　システム構成
Fig. 2 Hardware system configurations



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

5.　サイド・バイ・サイドシステムの実装

5.1　システム構成

図 2 に SBS システムの構成を示す．文献[1]で述べたシステムを基本としているが，3 人以上への発展が可能な方式で，かつ各作業者がそれぞ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．ジェスチャ認識には VICON 社モーションキャプチャシステムを用いる．再帰性反射材マーカを取り付けた手袋状デバイス（図 3）でハンド・ジェスチャを，胸の中央に装着する再帰性反射材マーカで立位置を検出する．

5.2　ジェスチャ認識手法

本研究で利用可能なジェスチャ・コマンドの例を表 2 に示す．ジェスチャの設計指針は，文献[1]と同じであるので，詳細は省略する．ジェスチャの認識処理は，胸と手袋状デバイスの手の甲に取り付けたマーカと親指と人差し指のマーカの 3 次元位置をそれぞれ検出し，マーカ間の位置関係を利用して行う．また，胸のマーカと手の甲のマーカを結ぶ直線がスクリーンと交わる点を操作者のポインティング位置とし，この位置にポインタアイコンを表示する．

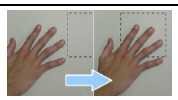
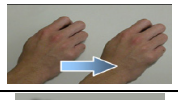
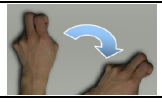
5.3　映像編集アプリケーション

5.3.1　機能概要

4 章で述べた設計方針に従って，従来の「広視野電子作業空間」システムを拡張し，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」機能である．他にも各種レイアウト作業やデザインワーク，情報検索など，SBS システムに適した様々なアプリケーションが考えられるが，本研究の目的は，複数人作業への拡張の有効性の確認にあるので，機能が豊富で，かつ 2 人の作業者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．左の作業者（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

表 2　ジェスチャ・コマンド
Table 2 Gesture commands

コマンド	ジェスチャ	コマンド	ジェスチャ
選択		確定	
移動		解除	
回転		拡大 縮小	

消去という編集作業に専念し，右の作業者（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(DB)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．

5.3.2　領域構成

映像編集アプリケーションの操作画面を**図 5** に示す．スクリーン上の作業領域を大きく破線で囲まれた 4 つの領域に分け，中央をデータ受渡し領域，左右を各作業者の専有領域とする．「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，「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．

データ受渡し領域は上下 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領域を，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領域を利用する．これによって，反時計回りにデータの流れができ，一連の流れに沿って受け渡すことができる．

5.3.3　作業内容

「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 DB の表示と，その選別，保存を行うための「映像 DB 領域」と，映像データを確認するための「映像再生領域」から構成される．

作業者は，「映像 DB 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」に移動することで，映像データを再生し，その内容を確認する．「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，「データ受渡し領域 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，「データ受渡し領域 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 DB 領域」に挿入することで，編集後の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」と，編集途中の映像データを一時退避しておく「一時退避領域」から構成される．

作業者が「データ受渡し領域 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．映像データを統合すると，統合後の映像データの全長に合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，編集途中の映像データは「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，「データ受渡し領域 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「データ受渡し領域 2」に置くこと，逆に映像編集の作業者が，映像データを「データ受渡し領域 1」に置くことはできない設定としている．

5.3.4　ジェスチャ・コマンドとフィードバック

本アプリケーションで利用可能なジェスチャ・コマン



図 4　サイド・バイ・サイドシステムの操作風景
Fig. 4 The side-by-side system operation

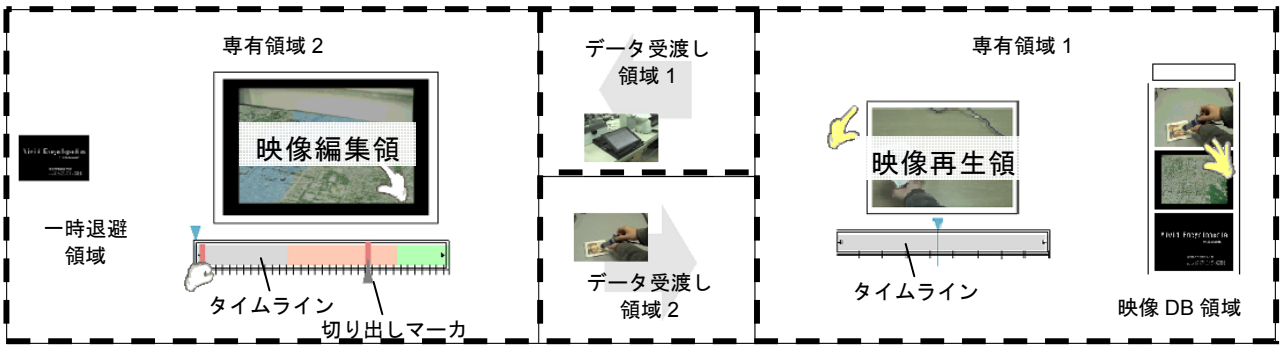


図 5　映像編集アプリケーションの画面構成
Fig. 5 Screen image example of video editing application

表 3　各作業者が利用可能なジェスチャ・コマンド
Table 3 Available gesture commands for each operator

	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， 映像データの保存	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， 映像データの分割
データ 受渡し 領域 1	移動，解除， 選択 （ポインティング）	選択，確定，移動
データ 受渡し 領域 2	選択，確定，移動	移動，解除， 選択 （ポインティング）

表 4　基本ジェスチャ・コマンドとポインタアイコン
Table 4 Basic gesture commands and its pointer icons

	作業者 A	作業者 B
選択		
確定		
解除		

ドを，**表 3** に示す．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．

表 3 の中で，両者とも利用可能な基本となるコマンドは「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」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．

次に，ポインタアイコンと効果音による視覚・聴覚フィードバックについて説明する．ジェスチャによるコマンド入力はマウスの「クリック」と比べバリエーションに富んでいるため，ポインタアイコンによる視覚フィードバックは操作結果を確認する上で重要な役割を担う．本アプリケーションでは，右手と左手のポインタアイコンの形状に左右対称のグリップ型アイコン（**表 4**）と矢印型アイコンを用意し，作業者が事前に選択可能なようにした．ポインタアイコンは，作業者ごとに異なる色とし，その形状はジェスチャ認識結果を随時反映して変更される．

効果音は 6 セット用意し，作業者が事前に選択可能とした．また，各作業者への効果音の音量を作業者ごとに変えて提示することも可能なようにした．

5.4　運用結果

システムの平均処理速度は約 25 fps で，処理速度により作業の進行に支障をきたすことはなかった．ジェスチャによるコマンド入力には慣れが必要であるが，未経験者であっても少し練習するだけでスムーズにコマンド入力することができた．実際，システムを初めて利用する 3 名の被験者に「選択」「確定」「移動」「解除」のジェスチャを 100 回繰り返し行なわせたところ，すべてのジェスチャにおいて認識率は 98%以上であった．また，本システムの運用中，作業者がジェスチャの認識精度に関して不快感を訴えることはほとんどなかった．

未経験者も含む運用結果からは，複数人への拡張は有意義であるというコメントがほとんどであった．特に，同じ作業空間を共有しているので，他者と相談しながら作業できる，他の作業者の様子を間近に感じることができる，また作業効率の向上も期待できるなど，2 人での協調作業に限らず，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．

6.　ユーザテスト

6.1　領域構成とアクセス権限

本研究で設計した領域構成とアクセス権限の効果を評価する．

6.1.1　方法

5.3 で実装した映像編集アプリケーションを利用し，以下の条件の下，映像編集作業を行う．

(i) データ受渡し領域なし，アクセス権限設定なし
(ii) データ受渡し領域あり，アクセス権限設定なし
(iii) データ受渡し領域あり，アクセス権限設定あり

(i)の場合，作業領域は左右 2 分割するのみとする．また，(i)(ii)のアクセス権限設定なしの場合，2 人の作業者ともに全ての領域にアクセスすることを可能とする．一方，アクセス権限設定ありの場合，データを他の作業者の専有領域内に移動させること，他の作業者の専有領域内のデータを操作することはできない．

実験手順は，以下の通り．

(1) 事前に 2 名 1 組の被験者を「映像選別・保存担当」と「映像編集担当」に分け，各々操作方法を教え，十分練習させる．

(2) 映像選別・保存担当者には，映像 DB 内の映像データを記憶するまで繰り返し見せる．映像 DB の映像データは，映像編集担当者には見せない．

(3) 映像編集担当者には，あらかじめ用意した目標映

像を見せ，記憶させる．目標映像は，映像 DB 内の 3 つの映像データの一部を切り出し繋げたものである．この目標映像は，映像選別・保存担当者には見せない．

(4) 2 人の被験者に，(3)で提示した 1 つの目標映像を作成するという課題を与える．映像編集担当者は，映像選別・保存担当者に指示を出し所望の映像データを検索させ，編集作業を行う．映像選別・保存担当者は指示されたシーンを含む映像データを検索し，映像編集担当者に渡す．映像編集担当者は，作成する目標映像をいつでも確認することができる．

(5) 目標映像を完成させ，映像選別・保存担当者がそれを映像 DB に保存して作業終了とする．

作業の様子はすべてビデオ撮影し，会話の内容とその頻度を分析する．実験後，アンケートで「どの場合が協調して作業しやすかったか」「他の作業者のデータと自分のデータを混同することはあったか」「他の作業者の干渉が煩わしくなかったか」を聴取し，感想を自由にコメントさせる．

被験者は大学生 3 組 6 名で，(i)～(iii)の作業順序はそれぞれで変更する．また，(i)～(iii)の 3 種類とも事前に被験者に充分練習させ，慣れた状態で作業を開始した．

6.1.2　　結果と考察

実験の結果を**図 6**，7 に示す．

［データ受渡し領域について］

図 6 に示すように，多くの被験者が，データ受渡し領域がある(ii)(iii)の場合の方が協調して作業を行いやすいと評価しており，データ受渡し領域の導入が有効に機能していることがわかる．

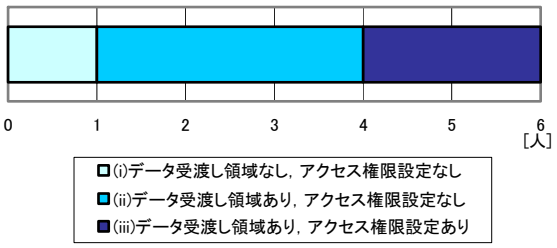


図 6　協調作業のやりやすさと
領域構成・アクセス権限設定の関係
Fig. 6 Relations between facility of cooperation and area configuration and access privilege methods

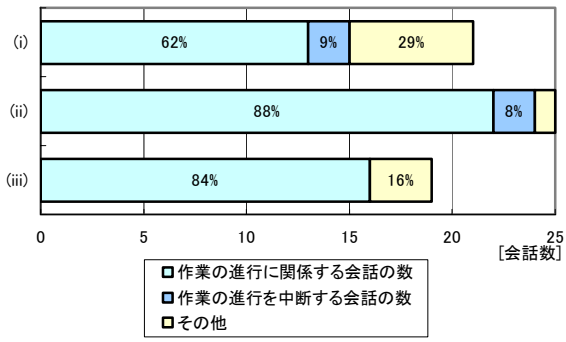


図 7　作業中の会話内容とその割合
Fig. 7 Contents of conversation during operations and its rates

また，ビデオを解析した結果，最初にデータ受渡し領域がある(ii)(iii)を体験した被験者は，データ受渡し領域がない(i)の場合でも決まった場所にデータを置く傾向があった．逆に，データ受渡し領域がないと，データの置き場に困惑する被験者が多く，どのデータが自分のデータなのか混同してしまう被験者も数名いた．

［アクセス権限について］

(ii)アクセス権限を設定しない場合と(iii)する場合で，作業のしやすさに対する意見が分かれた．アクセス権限に対して肯定的な意見の多くは「操作ミスを防げる」「勝手に干渉されない」であり，否定的な意見の多くは「相手の作業に手を出したい場合がある」であった．

図 7 に作業中の被験者の会話の内容とその数を示す．ここでは，他の作業者が故意に，または誤って干渉したことに注意を促す会話を作業の進行を中断する会話とした．(i)(ii)では「それは捨てないで」「（相手の作業者に）再生されてしまった」といった，相手の作業者の干渉によって作業の進行を中断する会話が見られた．これに対して(iii)では，作業の進行を中断する会話は一切なかった．

作業中のビデオを解析したところ，他者の作業領域に故意に干渉する場面が多く見られた．相手に声をかけたり，作業状況を見計らって干渉している場合は問題なかったが，同意なく干渉した場合に深刻なミスにつながる場面が見られた．また，作業中に勢いあまって他者の作業領域に侵入し，意図しない操作を行ってしまうということがまれに起こっていた．

以上のことから，アクセス権限を設定することにより操作ミスを軽減できることがわかった．また，作業量や相手のスキルによって，相手の作業に干渉したい場合があるという意見が得られた．これは，今回強制的に作業を分担し実験を行ったため，一部の被験者が分担相手のスキルに不満を持ち，相手の作業に干渉したいと感じたと考えられる．しかし，本来分担作業は，作業を効率化するために各作業に熟練した作業者間で作業分担を行なうものである．よって，相手の作業に干渉したいという問題は，今回ほどは頻出しないと予想される．ただし，相手の同意を得た上で，相手の作業に干渉する機能を否定するものではない．

6.2　　データの受渡し方法

作業者が，データ受渡し領域を介してデータを受け渡す方法（以下，「受渡し領域経由」）と手渡しによってデータを受け渡す方法（以下，「手渡し」）をどのように使い分けるか調査する．

6.2.1　　方法

映像編集アプリケーションを利用し，被験者には 6.1 と同様の実験課題を課す．ここでは，6.1 の実験の「(iii)

データ受渡し領域あり，アクセス権限設定あり」の場合について作業を行う．作業者は，受渡し領域経由と手渡しの両方のデータ受渡し方法を利用できる．

作業の様子はすべてビデオ撮影し，それぞれのデータ受渡し方法の使用頻度と会話の内容を分析する．実験後，アンケートで「2 種類のデータ受渡し方法をどのように使い分けていたか」「それぞれの受渡し方法の利点・欠点は何か」を聴取し，感想を自由にコメントさせる．

被験者は大学生 5 組 10 名である．また，事前に被験者に 2 種類のデータ受渡し方法を練習させ，十分に慣れた状態で作業を開始した．

6.2.2　結果と考察

受渡し領域経由の方が，手渡しよりも使用回数が多かった（**表 5**）．被験者からは，受渡し領域経由は，相手の作業を妨げることなく，気兼ねせずに渡せる点で優れているという意見が得られた．各作業者が役割を分担する協調作業では，データを渡す際に相手が作業中であることが多いため，このような結果になったと考える．一方，手渡しは，データ受渡し領域内にあるデータの数が多いときや，編集作業を終え，完成した映像作品を渡す際に使用されていた．被験者にどのように使い分けていたか尋ねたところ，手渡しは相手が受け取ったことがすぐ確実にわかるので，重要なデータを渡す際や，相手に要求されたデータを渡す際に使用したという回答が得られた．

また，多くの被験者から，受渡し領域経由はメールを送って情報を渡す感覚，手渡しは電話で話して情報を渡す感覚で使っているという意見を得た．大半の被験者が同様に回答したことから，日常生活でも多くの人がそのように 2 種類の受渡し方法を使い分けていることが確認できる．これらの受渡し方法は，相手が作業中でなければどちらを使用しても構わないという意見が多い．

表 5　2 つのデータ受渡し法の使用頻度
Table 5 Usage frequency of two data passing methods

	受渡し領域経由	手渡し	合計
1 組目	3	1	4
2 組目	3	1	4
3 組目	4	0	4
4 組目	5	0	5
5 組目	3	1	4

以上のことから，相手が作業中である場合は受渡し領域経由が有効であり，重要なデータを渡す場合や特定のデータをすぐに渡したい場合は手渡しが有効であることが示唆された．それぞれの受渡し方法に利点があり，どの被験者も同様の使い分けをしていたため，状況によって使い分け可能な設計が有効であったと言える．

6.3　聴覚フィードバックの提示方法

複数の作業者が互いの聴覚フィードバックを混同せず，作業そのものも円滑になる提示方法を調査する．ここでは，各作業者に提示する効果音の「種類を変える」方法と「音量を変える」方法について，2 つのユーザテストにより調査する．

6.3.1　方法

映像編集アプリケーションを利用し，まず以下の 2 つの条件下で，6.1 と同様の実験課題を課す．

(iv) 2 人の作業者に同じ効果音のセットを提示

(v) 作業者ごとに異なる効果音のセットを提示

実験後，アンケートで「どちらの場合が協調して作業しやすかったか」「互いの効果音を混同することはあったか」を聴取し，感想を自由にコメントさせる．

次に，作業者ごとに好みの効果音の種類を選択させた上で，以下の 3 つの条件下で実験を行う（**図 8**）．

(vi) 自身の効果音のみ提示（各作業者がヘッドホンを装着し，各々への効果音のみ提示）

(vii) 2 人の作業者の効果音を同音量で提示（スピーカから両者の効果音を一緒に提示）

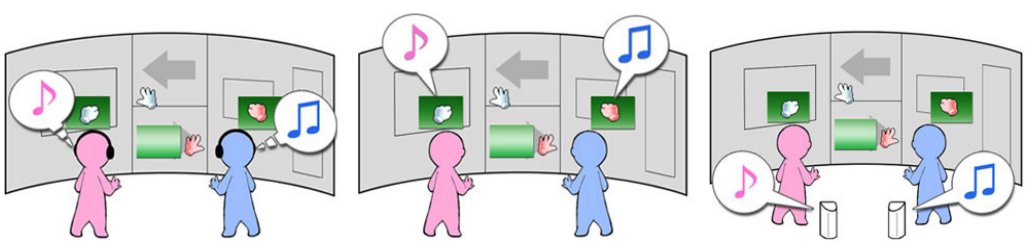
(viii) 自身の効果音を大きく，相手の効果音を小さく提示（各作業者に向けてスピーカを配置し，各々の効果音のみ提示）

実験後，「どの場合が協調して作業しやすかったか」「相手の作業は把握できたか」を聴取し，感想を自由にコメントさせる．

被験者は大学生 6 組 12 名である．

6.3.2　結果と考察

まず，作業者同士の効果音の種類が同じ場合，異なる場合で，どちらが協調して作業しやすいかは，両者同数の回答で差はなかった．実際，互いの効果音を混同することもほとんどなく，ジェスチャのタイミングや視覚フィードバックから，自身の操作に対応した効果音を聴き分けることができたことから，必ずしも作業者間で効果



(vi)自身の効果音のみ　(vii)2 人の効果音を同音量で　(viii)自身の効果音をより大きく

図 8　聴覚フィードバックの提示方法
Fig. 8 Presentation methods of sound feedback

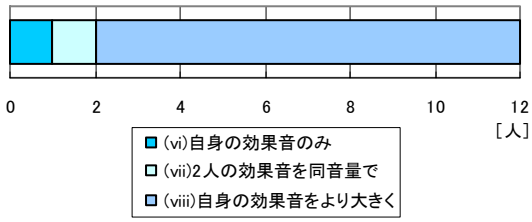


図 9　協調作業のやりやすさと
聴覚フィードバックの提示方法
Fig. 9 Relations between facility of cooperation
and presentation methods of sound feedback

音の種類を変える必要はないことがわかる．実験の際，被験者が自身の好みで選択した効果音は様々であり，自分の選択した効果音を使う方がわかりやすく覚えやすいといったコメントもあった．

次に，効果音の音量を変えた場合については，互いの効果音が聴こえ，かつ音量に差がある場合が，最も協調して作業しやすいという結果を得た（**図 9**）．コメントとして，相手の効果音が全く聴こえないと，相手が何の作業をしているのかが把握しづらい，連携がとり難いのに対して，逆に相手の効果音が少し聞こえると，相手が何か作業していることがわかり安心するという意見が多くあった．つまり，自身の作業を明確に確認できるだけでなく，相手の作業の様子をおおまかに知ることも重要であることがわかる．

6.4　議論

ユーザテストの結果，以下のような指針が得られた．

［領域構成とアクセス権限］

・結果を受渡しながら作業を進める分担型の協調作業では，データ受渡し領域があると混同することがなく作業を効率的に進めることができる．

・他者からの干渉や操作ミスを防ぐため，専有領域を設けアクセス権限を設定することは有効である．ただし，状況に応じて専有領域へのアクセス権限を付与し，他の作業者の干渉を許可できることが望ましい．

［データの受渡し方法］

・データ受渡し領域を利用してデータを受け渡す方法は相手の作業を妨げないという特徴がある．一方，手渡しでデータを受け渡す方法は即時性，確実性があり，重要なデータを渡す場合に向いているという特徴がある．両方のデータ受渡し方法を用意して，作業者が作業の内容や状況に応じて使い分けられるようにすると利便性が増す．

［聴覚フィードバック］

・作業者間で効果音の内容を同じにするか，変えるかは，作業効率に大きく影響しないので，作業者自身がわかりやすく覚えやすいことを優先すれば良い．

・それぞれの作業者に提示される効果音は，互いに共有でき，音量の違いのように無意識に区別できる方法が良い．

［視覚フィードバック］

視覚フィードバックは，ポインタアイコンの形状を矢印／手の形状（表 4）にした場合，ポインタアイコンの色を作業者間で同じ／変更した場合を組み合わせた計 4 パターンについて，簡単な運用実験を行った．但し，矢印の形状のポインタアイコンでは，左右のどちらの手に属するか区別がつくように，右手に対応するアイコンでは矢印の矢先が左上を，左手に対応するアイコンでは右上を向くようデザインした．その結果，全体験者から以下のような意見が同様に得られたため，詳細な実験は行わなかった．

・ポインタアイコンがどちらの作業者に属するかを判別するには，ポインタアイコンの色を変えることで十分効果的である．形状は，作業者間で同じでもさほど問題はなかった．

・ポインタアイコンがどちらの手に属するかを判別するには，ポインタアイコンの形状を手の形状に近いものが良く，ジェスチャ認識結果を随時反映させて形状を変更すると効果的であった．

7.　サイド・バイ・サイドシステムの改良

6 章で得られた指針から，他の作業者の専有領域への干渉を許可する機能を SBS システムに追加した．

ユーザテストから，やみくもに干渉を許すのは深刻なミスにつながり，相手の同意を得るステップが必要であるという知見が得られた．我々が日常生活で相手の同意を得る方法として「相手に近づく」「声をかける」「肩に触れる」などが考えられる．そこで，本システムでは「作業者 B が一定距離以上近づき，作業者 A が作業者 B の肩を叩く」というアクションにより，作業者 A の専有領域に対するアクセス権限を共同作業者 B に付与し，一時的に専有領域を開放して「共有領域」とすることとした（**図 10**）．

この領域では，データへのアクセス権限を複数の作業者がもつことになるので，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，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を採用した．また，付与したアクセス権限を取り上げる，つまり，共有領域から専有領域に戻す場合は，「他の作業者から一定距離以上離れる」というアクションを割り当てた．アクセス権限を付与された作業者がアクセス権限を返還するという場合も考えられるので，「他の作業者から離れる」アクションはどちらの作業者が行っても構わない．

以上の機能を映像編集アプリケーションに実装・運用し，追加機能を利用することで他の作業者へのアクセス権限の付与を円滑に行えることを確認した．

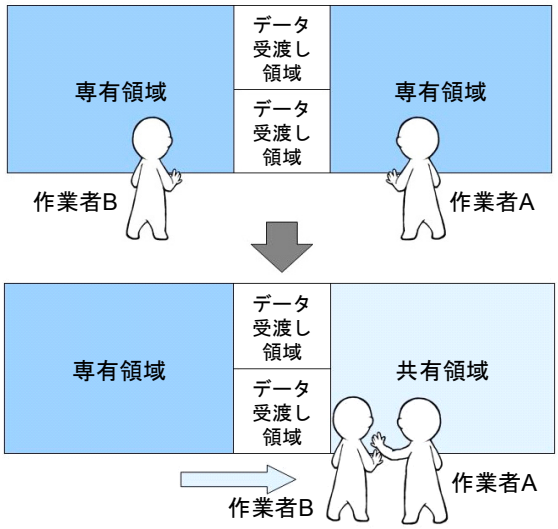


図 10　専有領域の開放方法
Fig. 10 Opening method of private working area

8.　むすび

広視野電子作業空間で複数人が協調作業する効率的な形態として，作業者たちが広視野大型スクリーンに向かって横に並んで分担・協調作業する SBS 型のシステムを選び，これを設計・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」「データ受渡し領域」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．

未経験者も含む運用結果から，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，2 人での協調作業に限らず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．また，ユーザテストを行った結果，領域構成，アクセス権限の設定，データの受渡し方法，視覚・聴覚フィードバックの提示方法について，SBS 型のシステムを設計する上での指標が得られた．特に，専有領域とデータ受渡し領域を設定し，領域を区分したことは効果的であった．アクセス権限は他者からの干渉を防ぐためにも設定することが効果的であることがわかった．ユーザテストで意見の多かった，他の作業者の専有領域への干渉を許可する機能に関しては，追加機能として SBS システムに組み込んだ．

今後は，協調の度合いを変更して運用した場合，領域構成やフィードバックの設計にどのように影響するかといった問題に取り組んで行きたい．また，医師と看護士，映画キャメラマンと撮影助手のような具体的な人間関係に当て嵌めて，彼らの協調作業をどのようにサポートできるかに関しても検討して行きたい．

謝辞

本研究は，JST 戦略的創造研究推進事業（さきがけタイプ）「空間型メディア作品を強化する 7 つ道具型対話デバイス」，および科研費・基盤研究 (A)「三感融合型複合現実空間の構成法に関する研究」の研究助成によるものである．

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] Scott, S. D., et al.: Storage Bins: Mobile storage for collaborative tabletop displays; IEEE Comput. Graph., Vol. 25, No. 4, pp. 58 - 65 (2005).
[5] Shen, C., et al.: DiamondSpin: An extensible toolkit for around-the-table interaction; Proc. CHI 2004, pp. 167 - 174 (2004).
[6] 筧，飯田，苗村，白井，松下，大黒: Lumisight Table: 天地問題を解消した対面協調支援システム;
Proc. WISS 2003, pp. 109 - 114 (2003).
[7] Ishii, H., et al.: ClearBoard: A seamless medium for shared drawing and conversation with eye contact; Proc. CHI 1992, pp. 525 - 532 (1992).
[8] Kirk, D. and Fraser, D.: Comparing remote gesture technologies for supporting collaborative physical tasks; Proc. CHI 2006, pp. 1191 - 1200 (2006).

著者紹介

平沼　真吾



2006 年立命館大学理工学部情報学科卒．2008 年同 大学院理工学研究科博士前期課程修了．同年 4 月，(株）東芝モバイルコミュニケーション社入社．2005 年より 2008 年 3 月まで，ポスト WIMP 型インタフェース，複数人の協調作業支援の研究に従事．

木村　朝子　（正会員）



1996 年大阪大学基礎工学部卒．1998 年同 大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同 大学助手，2003 年立命館大学理工学部助教授，2004 年同 情報理工学部助教授を経て，2007 年 4 月より科学技術振興機構さきがけ研究員，立命館大学総合理工学研究機構客員教授．博士（工学）．実世界指向インタフェース，複合現実感，ハプテックインタフェースの研究に従事．2001 年より 2002 年まで Mayo Clinic にて

Special Project Associate．日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞受賞．ACM，IEEE，電子情報通信学会，情報処理学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員．

柴田　史久



1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了. 1999 年同研究科博士後期課程修了．大阪大学産業科学研究所助手を経て，2003 年4月より立命館大学理工学部助教授. 現在, 同 情報理工学部准教授．博士（工学）．モバイルコンピューティング，複合現実感等の研究に従事．2007 年 10 月～2008 年 9 月 University of Central Florida 客員研究員．IEEE，電子情報通信学会，日本ロボット学会，情報処理学会，日本バーチャルリアリティ学会等の会員．日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞受賞．

田村　秀行



1970 年京都大学工学部電気工学卒．工業技術院電子技術総合研究所，キヤノン（株）等を経て，2003 年 4 月より立命館大学理工学部教授．現在，同 総合理工学院情報理工学部教授．工学博士．パターン認識，画像情報処理，マルチメディア，バーチャルリアリティ等の研究推進と実用化に従事．情報処理学会論文賞，人工知能学会功労賞等受賞．編著書：「コンピュータ画像処理」（オーム社），「デジタル映像」（日本経済新聞社）など．IEEE，ACM，電子情報通信学会，情報処理学会，人工知能学会，映像情報メディア学会，日本バーチャルリアリティ学会等の会員．