

遠隔共有仮想空間を利用した 共同作業とグループ作業訓練

東京農工大学大学院／藤田 欣也、池田 裕泰、船越 誠人
メディア教育開発センター／大澤 範高

本稿では、東京農工大学とメディア教育開発センターを接続して行った遠隔共有仮想空間での共同作業実験、ならびに現在研究開発を行っている遠隔共有仮想空間を利用したグループ作業訓練システムを中心に、遠隔共有仮想空間を用いた共同作業と、その教育・訓練への応用に関して述べる。

1 はじめに

ブロードバンドネットワークの爆発的普及を背景に、音声や映像などのマルチメディア情報を利用する機会が増加してきている。ネットワークの普及は、グループウェアと呼ばれる共同作業支援ソフトウェアジャンルを生み出した。グループウェア群には、電子会議システムやワークフロー管理システム、あるいは議論を支援するシステムや各種のインフォーマルコミュニケーション機能を提供するものなど多様であり、これらは情報共有を軸に、共同知的作業を支援するものといえる。

他方、やはり近年発展が著しいバーチャルリアリティ(以下VRと略す)は、仮想の環境を用いてユーザと計算機のインタラクションをおこなう技術である。最近、ネットワークの普及によって、遠隔地にいる複数の利用者が同一の仮想環境を共有し、共同で作業を行う環境を構築する多くの試みが行われている。

2 遠隔共有仮想空間と共同作業

VR技術の応用分野のひとつに工業デザインが挙げられ、仮想環境の遠隔共有が可能になれば、国を越えた共同デザインなどが自由にできるようになるものと期待される。遠隔共有仮想空間を実現するためのフレームワークは、DIVE¹⁾やCAVERN²⁾をはじめ多くのシステムが開発され

ており、筆者らもコミュニケーション機能を重視した共有仮想環境の構築を行ってきた³⁾。これらは通信によって仮想空間のデータを共有し、多数のユーザが自由に仮想空間内を移動して、Voice over IP機能によって音声通信を行う機能を備えている。また、多面スクリーンを用いた没入型仮想空間システムやデスクトップシステムを同様に扱うスケラビリティを備えるものが多い。

しかし、遠隔共有仮想環境において共同作業を実用的に行うためには、現実空間と同様の作業性を実現する必要がある、近年では仮想空間での作業効率や、その改善方法に関する研究が精力的に進められている^{4), 5)}。そこで、筆者らもインターネットを利用して2地点の没入型仮想空間を遠隔共有し、共同作業を行ったときの作業効率を分析する実験を行った。

実験には、東京農工大学の3面没入環境とメディア教育開発センターの6面没入仮想環境を使用し、通信はインターネットを利用してUDP/IPプロトコルによって行った(実測平均通信遅延時間6ms)。UDP/IP利用によりデータ欠損の可能性が生じるため、物体位置座標などの仮想世界情報をサーバで一元管理し、両地点における操作情報は、状態変化や相対運動量のような相対情報としてサーバに伝送した。これにより、データ欠損時には操作が反映されない可能性が生じるが、両地点での仮想空間の不整合を回避することができる。

また、多面スクリーンを用いたシステムでは、対象物に

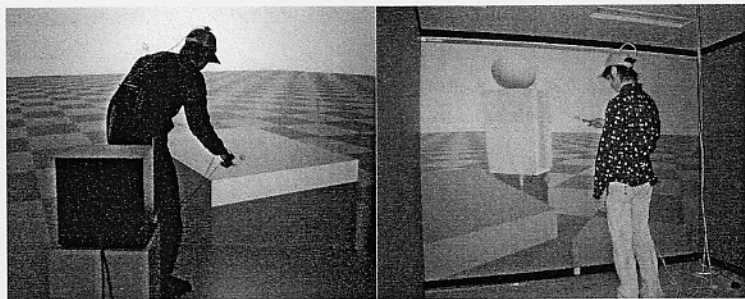


図1 遠隔共有仮想空間での共同物体運搬作業
(左:メディア教育開発センター
右:東京農工大学)

触れたときの反力を表現する力覚提示装置の実装が困難であるため、単純にユーザの操作を合成すると、2人で仮想物体を押し合ったときに、物体に手が埋没する現象が生じる。そこで、試作システムではユーザ位置を埋没分だけ逆に補正することによって矛盾を回避した。さらに、物体と手が接触したときには物体の色を濃くして、逆に把持しているときは半透明になるようにして、反力の欠落を視覚的に補完する機能を実装した。

東京農工大学とメディア教育開発センターの2地点間で共同作業をおこなったときの実験風景を図1に、単独作業と共同作業での作業時間を図2に示す。作業課題は、 $0.9 \times 0.9\text{m}$ の板を2人で把持し、4m移動した後に方向を合わせて台の上に置くもので、5組の被験者に各5回ずつ行わせた。その結果、移動時間や物体運搬時間で顕著な差が見られないのと同様に、共同で位置を合わせる場面において、現実空間に比較して多くの作業時間がかかることが判明した。これは、対象物の位置や方向が2人の操作の和によって決定されるのに対し、作業相手の操作力が力覚として知覚できないことによるものと考えられる。作業時間の作業フェーズ毎分析によって、現在の遠隔共有仮想空間の問題点が明らかになった。改善には、簡易な力覚提示装置の開発や視覚による代替表現などが有効と考えられる。

3 遠隔共有仮想空間と教育・訓練

訓練や教育もVRの有望な応用分野として、近年精力的に研究が進められている。遠隔共有仮想空間を用いた共同教育システムとしては、作図をしながら幾何学の問題を共同で解くConstruct3D⁶⁾や、共有仮想空間の島で、遠隔ユーザと探検をしたり一緒に庭で野菜を作ったりすること

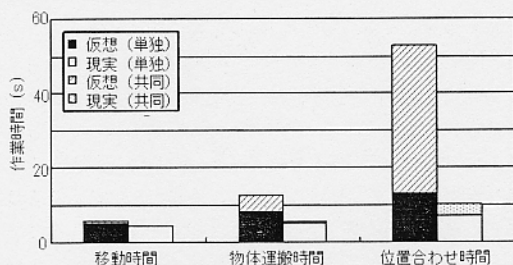


図2 遠隔共有仮想空間と現実空間での運搬作業時間

によって児童に生態系の学習を行わせるNICEプロジェクト⁷⁾などがある。後者は「学習は何かをつくることによって成立する」という構成主義的立場から、仮想空間内での行動が物語になるような設定としている。日本でも、安藤らのグループ太陽系学習システムなど、さまざまな共同学習システムが提案・開発され始めている⁸⁾。

4 グループ作業訓練と仮想空間での実現

共同作業や共同学習を行うためには、他者と協調して作業や学習を進める能力が必要であり、そのような社会性を獲得させることを目的に、現在、企業や学校などで共同作業の訓練・学習が広く行われており、そのひとつにGWT (Group Work Training) がある。

GWTはグループ共同作業を体験するだけではなく、その体験をまとめて検討し次回に活かす、という流れによりグループ作業の能力を高めるものである。図3のように体験・指摘・分析・仮説化の4つの段階を経て行うものとされる^{9), 10)}。また、グループ作業の体験において生じた問題点を指摘し、その意味を分析して仮説化する一連の作業を振り返りと呼ぶ。

表1 共同作業訓練に必要な要素と実装方法

協同作業訓練			システムへの実装	
段階	内容	必要な機能	共有VRでの機能	分類
体験	グループで課題に取り組む	共同作業空間 会話 作業道具	共有仮想空間 音声通信 作業ツール・課題	共有VR
指摘	協同作業中の問題の確認	アドバイザが支援	参加者モニタリング	振り返り支援
分析	問題の発生理由の検討		作業ログ保存 作業ログ解析	
仮説化	分析結果の文章化		ホワイトボード 音声通信	遠隔会議

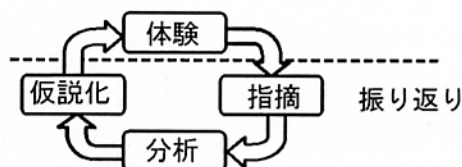


図3 グループ作業訓練の流れ

我々は、この一連の訓練過程を遠隔共有仮想空間において実現することを目標に、システムの開発を行った¹¹⁾。訓練過程の実現には、共同作業空間や会話、作業道具、データ収集・解析などの機能が必要となる(表1)。この機能を遠隔共有仮想空間で実現するためには、通常の共有VR機能や音声通信やホワイトボードなどの遠隔会議機能に加えて、さらに作業ログの保存や解析などのグループ作業訓練に固有の振り返り支援機能を実装することが重要となる。

また、グループ作業訓練の実施にあたっては、1人では容易でない話し合いや協調を必要とするような課題が望ましいため、思考を要する知的創造作業が適していると考えられる。さらに、VRには現実空間の制約に縛られない自由な発想ができるという利点があることから、本研究では、壁への直接描画による部屋のデザインをグループ作業課題として設定し、そのためのシステムを試作した。

描画機能は部屋のデザインのために必要な基本的なものとして、ペン/消しゴム/塗りつぶし/色変更/ペンサイズ変更の機能を実装した。グループ作業訓練では、自他の行動や意図を意識することや、周囲への影響に気づくこ

とが重要であるため、ユーザ相互の描画行為が干渉するように混色機能を実装した。さらに、グループ作業の訓練には、自他の行動を意識することが重要であるため、音声通信機能や描画情報の伝送・提示だけでなく、誰がどこで何をしているかといったアウェアネスの提示機能が求められる。そのため、他の訓練者をそれぞれ色を変えてアバターとして表示し、選択したペン、位置や視線方向などの情報を自然に認知することを可能とした。さらに、作業の記録および再生、作業時間や作業種類の記録と集計・表示などの振り返り支援機能を実装した。

このほか、描画データ数の削減処理や、視野外の物体の描画カリング、データの重要度に応じた通信間隔の設定などによって、処理軽減と高速化を図った。通信はUDP/IPを用いたサーバ/クライアント方式とし、音声通信機能はVoIPによって実現した。また、システムはデスクトップ環境および多面スクリーンの没入環境の両方で利用可能なようにスケーラブルなシステムとした。

試作したシステムを用いてグループ作業を行った例を図4、5に示す。作業課題は、話し合いを必要とする知的創造課題であることが望ましいため、「おいしい部屋」のような抽象的な主題での部屋のデザインとした。作業環境はデスクトップ環境とし、3人を1組とする6組、延べ18名それぞれに1試行は25分のグループ作業と単独作業を行わせた。実験中の作業・会話の様子をビデオ録画し、発話回数、発話時間、他のユーザ作業の観察回数、他のユーザの作業への干渉の回数を分析するとともに、各試行後に被験者への質問紙を用いた聞き取り調査を行った。

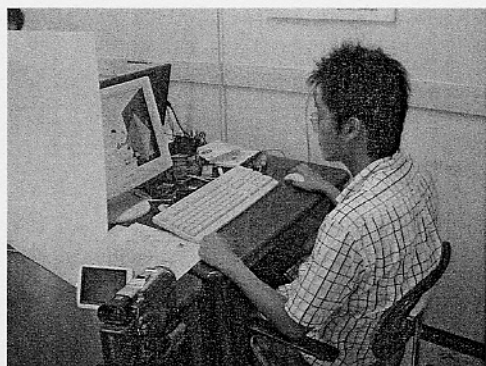


図4 グループ作業訓練中のユーザ

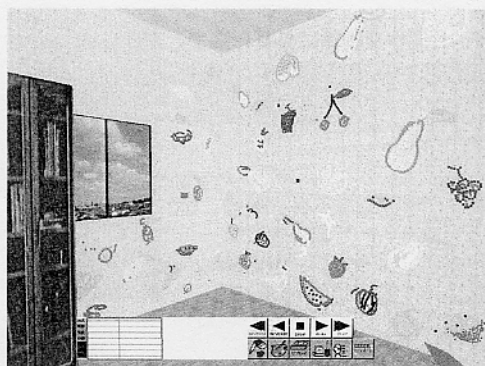


図5 操作画面とグループ作業の例

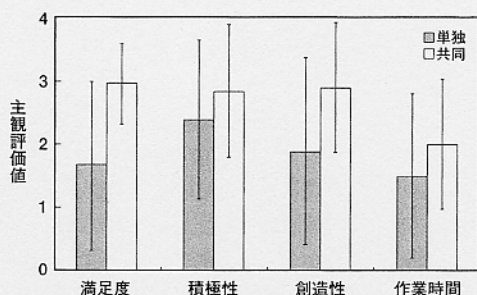


図6 単独作業と共同作業の主観評価結果

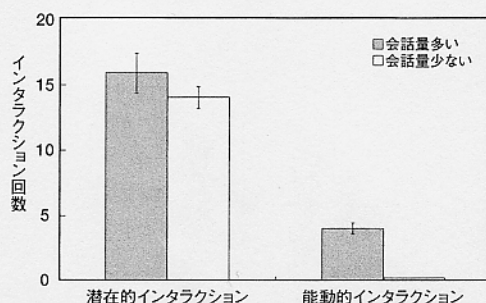


図7 会話量とインタラクション回数の関係

単独作業とグループ作業での主観評価結果を図6に示す。すべての項目において、単独作業よりも共同作業条件での主観評価値が高くなっており、被験者が他者との共同作業を単独作業よりも肯定的に評価した結果と考えられる。グループ作業訓練で重要な「自分およびメンバーを肯定的に受け入れる」ことが実現されていることが伺える。

ここで、会話量の最も多かった2グループと最も少なかった2グループに対して、グループ作業中のインタラクションを分析した結果を図7に示す。別のユーザが描いた内容に手を加える能動的インタラクションは、会話量の多い群で多く発生しているのに対し、会話量の少ない群では極端に少なくなっていた。これに対して、別のユーザの作業に注意を払う潜在的インタラクションは、両群とも同程度であった。共同作業に消極的な群も、積極的な群と同程度に他者の行動を意識していることが伺え、話題提供などなんらかの支援によって、消極的な群も積極的な共同作業が可能になるのではないかと期待される。

5 まとめ

本稿では、我々が研究開発を行っている遠隔共有仮想空間を利用したグループ作業訓練システムを中心に、遠隔共有仮想空間を用いた共同作業の現状と応用に関して述べた。バーチャルリアリティの教育や訓練への応用はさまざまな用途や効果が見込まれ、今後の発展が期待される。

謝辞

本稿で紹介した研究の一部は総務省戦略的情報通信研究開発推進制度によるものである。また、遠隔共同作業実験には細田孝浩君の協力を得た。ここに記して感謝する。

参考文献

- 1) C. Carlsson, O. Hagsand, DIVE -a multi-user virtual reality system, Proc. IEEE Virtual Reality Ann. Int. Symp., pp.394-401, 1993

- 2) J. Leigh, A. E. Johnson, T. A. DeFanti, CAVERN: A Distributed Architecture for Supporting Scalable Persistence and Interoperability in Collaborative Virtual Environments, J. Virtual Reality Res., Dev. and App., (2), pp. 217-237, 1997
- 3) 宮島、下地、藤田、視線と存在の擬似アウェアネス機能を有する共有仮想空間コミュニケーションシステム、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、10(1)、pp.71-80、2005
- 4) R. Schroeder, A. Steed, A. S. Axelsson, I. Heldal, A. Abelin, , J. Widestr, A. Nilsson, M. Slater, "Collaborating in networked immersive spaces: as good as being there together?," Computer & Graphics, 25, pp.781-788, 2001
- 5) R. A. Rudle, J. C. D. Savage, D. M. Jones, "Levels of Control During a Collaborative Carrying Task," Presence, 12(2), pp.140-150, 2003
- 6) H. Kaufmann, D. Schmalstieg, M. Wagner, "Construct3D: A Virtual Reality Application for Mathematics and Geometry Education," Education and Information Technologies, 5(4), pp. 263-276, 2000
- 7) A. Johnson, M. Roussos, J. Leigh, C. Barnes, C. Vasilakis, T. Moher, "The NICE Project: Learning Together in a Virtual World," Proc. VRAIS '98, pp.176-183, 1998
- 8) 安藤、吉田、谷川、加藤、葛岡、廣瀬、グループ学習のための太陽系VRコンテンツの開発、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会講演論文集、pp.413-416、2004
- 9) 津村、山口、人間関係トレーニング、ナカニシヤ出版、pp.5-8、1992
- 10) 坂野、リーダーのGWT、遊戯社、1988
- 11) 池田、船越、藤田、協同作業訓練を目的とした共有仮想空間描画システムの開発、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文誌、pp.265-268、2004

☆東京農工大学大学院

情報コミュニケーション工学専攻

TEL.042-388-7142 FAX.042-388-7142

kfujita@cc.tuat.ac.jp

<http://reality.ei.tuat.ac.jp/>