

Side-by-Side Meeting: 非対称な環境を用いた遠隔作業支援

飯塚裕一[†] 河口信夫^{††}

近年、テレビ会議システムの普及とともにその利用が増えているが、対面のコミュニケーションに主眼が置かれており、家庭教師のような隣に並んで行う作業支援には利用しづらい。本研究では隣に並んで行う作業支援を遠隔で実現する Side-by-Side Meeting を提案する。作業支援は作業者と支援者で役割が異なるため、従来のテレビ会議システムのように対称な環境ではなく、役割に応じた非対称な環境を用いて支援の効率を向上させる。本論文では Side-by-Side Meeting 構築のための実験を行い、遠隔作業支援の実現を目指す。

Side-by-Side Meeting: Remote Assistance in Asymmetric Environment

Yuuichi IIZUKA[†] Nobuo KAWAGUCHI^{††}

Recently teleconference systems are spreading. It focuses on face-to-face communication. So it is difficult to use teleconference systems in side-by-side assistance like a tutor. This paper proposes Side-by-Side Meeting which enables side-by-side remote assistance. In a side-by-side assistance, each of participants has a different role; one is a worker and the other is an assistant. So each site of remote would not be same. We employ asymmetric environment to enable efficient remote assistant. This paper also explains about experiments for Side-by-Side Meeting and building remote assistant environment.

1. はじめに

近年、高速ネットワークの普及によって、遠隔地を結ぶテレビ会議システム¹⁾の利用が増えている。テレビ会議システムでは電話のような音声だけの伝送ではなく映像も同時に伝送できるため、誰が参加しているか、話しているかなどがわかりやすいという特徴がある。このような特徴から、打合せや対面カウンセリングなどでの利用が多い。一方で、家庭教師や論文添削のような作業支援にテレビ会議システムを使うのは困難である。例えば家庭教師では、同じ作業(例:数学の問題を解く)を作業者と支援者で共有して行う。家庭教師の場合は生徒が問題を解いているノートを教師も見ている。このとき、机を挟んで向かい合う形では視点方向が一致せず支援が困難になるため、通常は作業者の隣に支援者が座って支援を行う。また、生徒が作業に行き詰まり困っているときには教師がヒントを与えるためにノートに書き込みを行うこともある。このようなコミュニケーションの性質の違いを表1にまとめる。テレビ会議システムは、相互に伝送するのが音声や映像のみであったり、講演やカウンセリングといった資料の提示や記録が一方方向であったりするコミュニケーションには利用可能であるが、家庭教師のように、相手に対して書き込みを行うなどの共有作業がある場合は利用が困難である。

本論文では、家庭教師や論文添削のような支援を遠隔で行う Side-by-Side Meeting を提案する。Side-by-side Meeting は以下の特徴を持つ。

表1 コミュニケーションの性質

場面要素	打合せ	講演	カウンセリング	家庭教師
人数	1:1 or 複数	1:多	1:1	1:1
立場	対等	発表者 聴衆	カウンセラー 相談者	教師 生徒
視線方向	お互いの表情	聴衆から発表者の一方	お互いの表情	生徒の作業内容
向き	対面	対面	対面	隣接
資料を出す	全員	発表者	なし	生徒
記録をとる	全員	聴衆	カウンセラー	生徒
書き込み	なし	なし	なし	教師から生徒へ
テレビ会議で利用可	○	○	○	×

- 対面ではなく隣接のコミュニケーション
- 生徒の机上の撮影による作業の共有
- 教師から生徒へのフィードバック
- 教師と生徒という役割に応じた非対称な環境
- 教師が同時に複数の生徒に対応可能

これらの特徴から、従来は実際に隣り合わなければ実現が困難であった作業支援が Side-by-Side Meeting によって遠隔で実現が可能になる。これによって、作業支援を受けるために遠くまで移動する必要がなくなるなどの利便性向上につながると考えられる。

本論文では、Side-by-Side Meeting でどのような設備が必要であるかを検討した。また、作業支援のための環境が作業のしやすさに与える影響を検討し実験を行った。

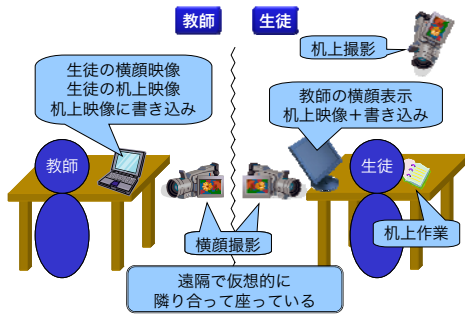


図 1 Side-by-Side Meeting

2. 関連研究

関連研究として、同じ部屋にいるような感覚を得られるt-Room¹⁾が挙げられる。t-Roomは複数台の大型ディスプレイとカメラを用い、同じ構成の部屋を複数用意する。そして、カメラで撮影した映像を相手拠点の反対側のディスプレイに表示することによって、あたかも同じ部屋にいるかのような感覚（同室感）が得られるシステムである。また、映像を録画しておき過去の映像を再生する機能や、過去の映像に対して重畳して録画することも可能である。t-Roomでは空間・時間の壁を越えたコミュニケーションを目指しているが、本研究のSide-by-Side Meetingでは空間的に隣にいる感覚を与えつつ作業の支援も行えるようにしている。

また、仮想的な鏡の中でコミュニケーションを行うシステムとして超鏡³⁾が挙げられる。超鏡では、遠隔拠点にいる人同士が同じ平面上でコミュニケーションが可能となる。つまり、対称なコミュニケーションを目指しているが、本研究では作業支援、つまり作業する側と支援する側という異なる立場で、コミュニケーションを遠隔で行うことを目指しているため、環境を非対称に構築する。

3. Side-by-Side Meeting

本論文では家庭教師や論文添削のような支援を遠隔で行うSide-by-Side Meetingを提案する。支援を行うにあたって、家庭教師のモデルにたとえて作業者を生徒、支援者を教師と呼ぶ。一般にこのモデルでは通常の会話や質疑に加えて特に以下のようなコミュニケーションが行われる。

- 教師が生徒の様子（表情や注視点等）を見る
- 教師が生徒の机上のノートや教科書を見る
- 教師が生徒のノート等には書き込みや、指示をして説明を行う

これらのコミュニケーションが打合せやカウンセリ

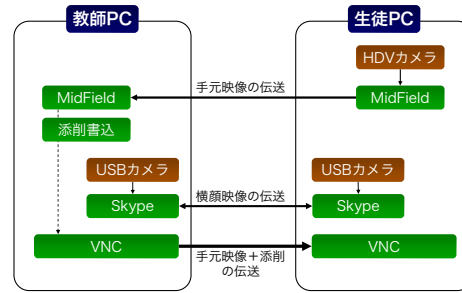


図 2 Side-by-Side Meeting 実験環境構成

ングといったコミュニケーションと家庭教師に代表される作業支援の違いである。

家庭教師は隣に並んで行われるが、これを遠隔で実現するためには従来のテレビ会議システムのように人物を正面から撮影するのではなく横側から撮影する必要がある。これにより、生徒の注視点や作業の様子の理解が深まることが期待できる。また、生徒にとっても正面の教師よりも隣に教師がいる方が親しみやすく、質問がしやすいことが期待できる。

また、生徒の作業内容を見るために、生徒の机上の作業を撮影することも必要である。机上の撮影においては、生徒の作業内容が十分に理解できる明瞭さが求められる。

さらに、教師が生徒の作業に対して書き込みを行う必要がある。また、その書き込みを生徒にわかりやすく提示する仕組みが必要である。

このように、Side-by-Side Meetingでは教師と生徒で明確に役割が異なり、そのために必要な環境も異なる。テレビ会議システムはお互いに対等にコミュニケーションを図る目的で設計されているため、双方に対称な設備を用意するが、Side-by-Side Meetingでは教師側と生徒側の環境を非対称に構築する。これによって、作業支援の効率化、設備の簡易化を可能とする。Side-by-Side Meetingを図で表すと図1のようになる。

また、Side-by-Side Meetingでは環境が非対称であるため、一人の教師が同時に複数の生徒に対して支援を行うことができるようになると考えられる。これは、支援する側である教師は適切な支援を行うための訓練を受けると想定することができるためである。

4. Side-by-Side Meeting 環境構築実験

まず、Side-by-Side Meetingの概要を示すため、簡易的な環境を構築して指導の実験を行った。生徒側の環境は、手元撮影のためにHDVカメラ（HDR-HC1）を用いた。また、横顔撮影には30万画素のUSBカメラ

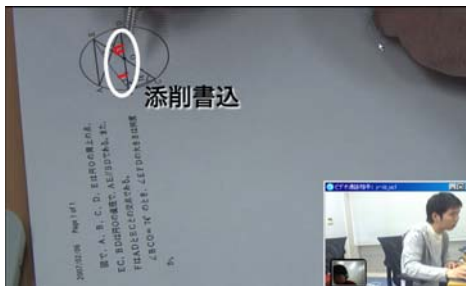


図 3 Side-by-Side Meeting による数学の問題指導

(サンワサプライ CMS-V11) を用いた。教師側の横顔撮影には 30 万画素の USB カメラ (Logicool Qcam Pro 4000) を用いた。生徒側では通常のように紙上で作業を行う。その様子を斜め上から撮影し教師に伝送する。これによって、教師側から生徒の作業の様子を「見る」ことができる。また、生徒の横から横顔を撮影し、教師側も同様に横から横顔を撮影しお互いの横顔が隣に見えるという状態になる。今回の実験では横顔表示はノート PC を用いた。生徒側 PC には教師の横顔と自分の手元映像に対して教師が書き込みを行った映像が表示される。教師側 PC では生徒の横顔と手元映像が表示され、手元映像に対して書き込みが可能である。この構成を図 2 に示す。

手元映像の伝送には MidField⁴⁾ を用いた。MidField はコンピュータネットワークを利用した多地点相互通信アプリケーションである。書き込みの伝送には、実験用の仮環境として Windows のデスクトップ上に書き込みをできるフリーソフトを用いて MidField 上の映像に書き込みを行い、そのウィンドウを VNC⁵⁾ を利用して転送した。横顔の伝送は Skype のビデオチャットを利用した。

この構成で、数学の問題を遠隔から指導する実験を行った様子が図 3 である。これは生徒側の画面をキャプチャしたものであり、生徒の手元映像 (数学の問題) に対して教師が書き込みを行い、伝送することに成功した (図 3 の白丸で囲った箇所で円周角定理が使えることを教師が書き込んでいる。) この指導によって生徒は解法がわかり、この問題を解くことができた。これによって、隣に座っている教師が生徒に対して行う支援を遠隔で実現できるということを確認することができた。

しかし、横顔映像の伝送は帯域不足からうまく行われなかった。これは、実験のために構築した簡易的な設備だったため、無駄な伝送が多かったことが原因だと考えられる。実際に Side-by-Side Meeting を構築す

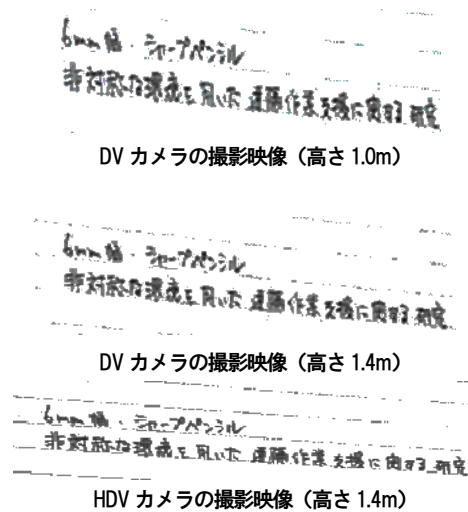


図 4 カメラの解像度と高さによる違い

る際には、伝送方法を吟味して構築する必要があることがわかった。また、図 3 では生徒の作業内容が 90 度回転してややゆがんだ状態で表示されているが、画像処理によって視点方向を生徒と同じで、かつ見やすい表示を行うことも必要である。

5. 手元映像の共有手法

Side-by-Side Meeting では、机上の共有を行い教師は生徒の手元を見ること、誤りを見つけた場合は指摘することが必要である。そのため、生徒が机上で紙に書いた文字を読み取る必要がある。これを確認するために、DV 方式 (解像度 720×480) のビデオカメラと HDV 方式 (解像度 1440×1080) のビデオカメラを用いて視認性の比較を行った。三脚を用いて上方から A4 サイズの紙全体を撮影して比較を行ったが、DV カメラの場合、視認性が悪く全ての文字を読むことは困難である。ズームを行えば認識可能であるが、HDV カメラで撮影した映像の場合は、ズームを行わなくても文字を読むことが可能になることがわかった。また、真上から撮影することが理想であるが、設備が複雑になるため、今回は三脚を用いた。三脚の限界まで高くして撮影すると文字の視認性が上がることもわかった。これは、撮影高度が低いとレンズから紙までの距離が最短の箇所と最長の箇所差が出てしまい焦点が定まらない場合や、遠近差で歪みが生じてしまう場合があるため視認性が下がると考えられる。

次に、教師から生徒への作業支援方法について検討する。従来のテレビ会議システムでは音声・映像は伝

送されるが、隣り合って行われる家庭教師でよく行われる「教師が生徒のノートに直接書き込む」という指導が実現できない。そこで、教師側に伝送されている手元映像に対して教師が電子的に書き込みを行い、それを生徒側に表示する方法を考えた。直接書き込むことはできないため、生徒はそれを見て自分のノートに書き写す必要があるが、手元映像に重ねてかかっているため理解しやすいと考えられる。また学習の場合、自分の手を動かして書くことで学習効果が上がるという場合もある⁵⁾。

6. 作業支援の環境

Side-by-Side Meeting では遠隔コミュニケーションを通じて、教師が生徒の隣に仮想的に並んで指導を行う。このとき、生徒は横顔をカメラで撮影され教師がその様子を知ることができる。一方、現実の家庭教師では生徒の横に教師が並んでその様子を見ている。この違いが作業に対してどのような影響を与えるかを調べるために以下の実験を行った。また、比較のために従来のテレビ会議システムの環境である正面にカメラがある環境や、教師と向かい合う環境においても実験を行った。作業環境として以下の5つを用意した。

1. 何もなし
2. 教師が正面にいる
3. 教師が隣にいる
4. ビデオカメラが正面から撮影
5. ビデオカメラが横から撮影

ビデオカメラはソニー製 HDR-HC7 を使用し、大学生・大学院生あわせて5人の被験者に、それぞれの環境において、2桁同士の足し算を5×5マスの合計25マス計算を各2回ずつ行ってもらった。計算が平易にならないようにランダムに2桁の数字を選び問題ごとの差は生じないようにした。また、環境の順番による影響を排除するため被験者ごとに順番を変えて実験を行った。各環境における作業効率を、計算時間と誤答数を用いて評価する。環境kの評価を s_k とし、以下の計算式によって求めた。この評価では、個人の計算能力の差が反映されないように、被験者ごとの全計算時間平均からどれだけ速いか遅いかを百分率で表す式となっている。また、誤答数を評価に加えるため、誤答1個につき4%（合計25回計算を行うので、再計算に必要な時間を1回あたり4%とした）の時間加算を行った。

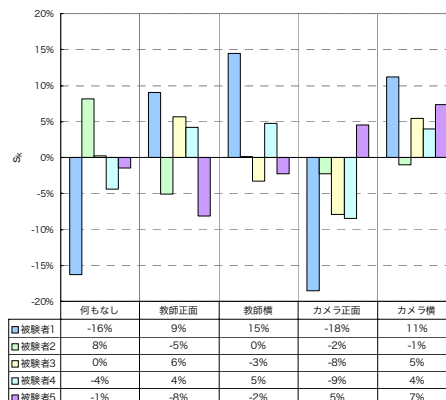


図5 環境ごとの評価 s_k

$$s_k = \frac{\mu - t_k}{\mu} \times (100 + 4m_k)$$

- t_k : 環境kの計算時間平均
- μ : 全ての環境の計算時間平均
- m_k : 環境kの誤答数平均

この指標を元に、5人の実験結果をグラフにすると図5のようになる。何もなし、教師がいる環境では計算時間は人によって差があるが、カメラ正面の環境ではほぼ全員の計算時間が遅くなっているのがわかる。また、カメラ横の環境ではほぼ全員の計算時間が速くなっているのがわかる。

また実験後、被験者にアンケートを行った。アンケート項目は以下の通りである。

1. どの環境が一番作業しやすかったですか
2. 教師が正面にいるときと横にいるときの違いはありましたか？
3. カメラが正面にあるときと横にあるときの違いはありましたか？
4. カメラと教師どちらが気になりましたか？
5. その他、感じたことを自由にお書きください。

どの環境が作業しやすかったかという問いに対して、何もなしの環境と答えた人が3名、差がないと答えた人が2名であった。また、カメラと教師のどちらが気になったかという問いに対しては全員が教師と答えた。また、教師の場合、正面よりも横にいるときの方が気になったという意見もあった。これらのことから、カメラを使って横から撮影する方法は作業環境として適切であると考えられる。また、この実験では短時間で作業が完了してしまうため、周りの環境を気にしている暇がなかったという意見もあった。

以上の結果から、生徒の心理的には教師やカメラなしの一人で作業している環境が最も作業に適していると考えられる。また、個別指導方式の学習塾などでよく行われている、隣に座って支援をするという環境では心理的な圧迫感を感じる生徒がいるということもわかった。その一方で、カメラを使った遠隔支援を考えると、正面に撮影用のカメラを置くことで作業に影響が出る場合がある。つまり、カメラを横に置くことで作業への影響が最小化できると言うことがわかった。

なお、今回の実験では1作業につき1分程度と比較的短時間で集中して終わらせてしまえる作業だったため、周りの環境の与える影響が出にくかったと考えられる。よって、より環境の影響に左右されやすい時間のかかる作業においても同様の実験を行う必要があると考えられる。

7. まとめと今後の課題

テレビ会議システムでは実現が困難であった、隣に並んで行う作業支援を遠隔で実現する Side-by-Side Meeting を提案した。これによって、今までは遠隔で実現することが困難であった家庭教師や論文指導などの遠隔作業支援が可能になる。作業支援に特化した、机上の共有や隣に並ぶモデルの模倣などの特徴から、作業者が作業しやすく、支援者が支援しやすい環境であると言える。

今後の課題として、教師から生徒への指導の伝達方法が挙げられる。現状では、教師が生徒の映像に対して書き込みを行って生徒に提示する方法をとっているが、プロジェクタなどによって生徒の机上に直接指示を出せるようにする⁷⁾などの改良の余地があると考えられる。また、Side-by-Side Meetingを手軽に使えるように、会議室のようにあらかじめ準備されたものではなく、その場で簡単に構築できるような構成を考える必要がある。

また、教師は訓練を受けている前提であるため、映像の切替や支援を必要とする作業者の自動検出などの機能追加により1人の教師が同時に複数の生徒に対応可能な1対多の遠隔作業支援の実現を目指す。

8. 参考文献

- 1) 中島汎仁, 遊佐洋, テレビ会議システム, 社団法人映像情報メディア学会, テレビジョン学会誌, Vol.36, No.6, p.482-489, 1982
- 2) 山下直美, 平田圭二, 遠隔コラボレーションシステムにおける物体の共有, 人工知能学会 全国大会(第20回), 2006
- 3) 森川治, 前迫孝憲, 「超鏡」: 自己像を表示する

ビデオ対話方式, 情報処理学会研究報告, ヒューマンインタフェース研究会報告, vol.97, pp.25-30, 1997

4) 利用者環境を考慮した相互通信のためのミドルウェア, 橋本浩二, 柴田義孝, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.2, 2005

5) T. Richardson, Q. Stafford-Fraser, K.R. Wood, A. Hopper, Virtual network computing, A. IEEE Internet Computing Volume: 2 Issue: 1 p.33-38, 1998

6) 稲垣紀夫, 藤田正, 漢字学習における書字行為に関する研究, 教育実践総合センター 研究紀要 Vol.14, 2005

7) 山下淳, 葛岡英明, 山崎敬一, 山崎晶子, 加藤浩, 鈴木栄幸, 三樹弘之, 相互モニタリングが可能な遠隔共同作業支援システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.495-504, 1999