

遠隔合同授業における机間指導のための 授業者支援システムの検討

古澤 駿人^{*1}, 吉澤 和寿保^{*2}, 三好 康夫^{*2}, 岡本 竜^{*2}

^{*1} 高知大学大学院総合人間自然科学研究科理工学専攻情報科学コース

^{*2} 高知大学理工学部情報科学コース

Proposal of a Teacher Support System with a Function for Individual Instruction in Remote Joint Class

Hayato FURUSAWA^{*1}, Kazuho YOSHIZAWA^{*2}, Yasuo MIYOSHI^{*2}, Ryo OKAMOTO^{*2}

^{*1} Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University

^{*2} Department of Information Science, Faculty of Science and Technology, Kochi University

あらまし：小規模校の生徒の教育機会の確保や多様かつ高度な教育に触れる機会を提供することなどをねらいとして、遠隔教育の導入が進んでいる。遠隔地の教室間をつなぐ遠隔合同授業において、既存の遠隔教育システムで相手校の生徒の様子をリアルタイムに把握するには、教室全体を映しているカメラからの映像を確認するか、生徒にタブレット等の端末を持たせてアプリを通して確認するというのが現状である。そこで本研究では、遠隔地の教室にいる生徒の様子をリアルタイムに詳しく把握・指導できるように、個々の生徒の机にカメラと小型プロジェクタを設置することで、紙ベースの授業でも対面で行う授業と同等に見取りや机間指導ができるシステムを提案する。

キーワード：遠隔教育，遠隔合同授業，見取り，机間指導

1. はじめに

中央教育審議会できとりまとめられた第3期教育振興基本計画⁽¹⁾では、多様性ある学習や専門性の高い授業等を実現させる観点から、遠隔教育の推進が図られている。また、遠隔会議システムを利用して離れた学校をつないで行う遠隔合同授業がなども行われている。

小中学校ではGIGAスクール構想⁽²⁾による、高速ネットワークを整備し児童生徒に「1人1台」の情報端末を使った教育が、新型コロナウイルスの関係で当初の計画を前倒し2021年度から本格化している。しかし、高等学校では工業科、普通科など学ぶ内容によって必要な情報端末が異なることや、すでに端末が構想前に配備済みであることから、端末の整備はGIGAスクール構想の対象外となっている。このようなことから、2020年度中に1人1台配備予定だった自治体は12県にとどまり整備にはまだまだ時間がかかる⁽³⁾。

そこで本研究では、遠隔合同授業時に生徒がタブレット等の情報端末を持っていなくても、相手校の生徒の様子を授業者が詳細に把握でき、机間指導を可能とするシステムの構築を目指す。

2. 遠隔合同授業の現状と問題点

実際に高等学校で行われている遠隔合同授業では、対面で行われる授業と異なり相手校の生徒の様子「見取り」が難しいことが課題となっている。例えば、グループやペアでの活動を行う場合、あまり発言をしない生徒への支援が困難であることが挙げられる。これは対面の授業とは違い、生徒の様子を近くで確認することができないことに原因があると考えられる。

既存のシステムでは、生徒の様子を、相手校の教室全体の音を拾う役割を持つマイクと教室全体を映し出しているカメラからの映像からしか確認できない。そ

のため生徒の様子を全体的にしか把握できず、対面の授業での机間指導のように生徒の把握や指摘をすることが難しい。

3. 遠隔合同授業のための授業者支援システムの提案

前章で述べた問題点を整理すると、つまるところ、遠隔合同授業では対面授業のように「見取り」や「机間指導」ができないことが根底の原因であると考えられる。そこで、生徒がタブレット等の情報端末を使用しない前提の遠隔合同授業で、授業者がリアルタイムに相手校の生徒の様子を個別に把握し、指摘や指導ができるシステムを提案する。

提案するシステムの構成は、図1のようになると想定している。

まずは、電子黒板やネットワークカメラとモニタなどで構成された遠隔会議システムがベースの既存システムをそのまま利用する想定である。受信校と離れた場所にいる配信センターの教師が既存システムを利用して、受信校の生徒に向けて授業を行うが、対面授業のような見取りと机間指導を実現するため、次の2種類のデバイスを開発する。

① 生徒用デバイス

リアルタイムに個別の生徒の詳細な様子を収集し、授業者やサポート教員のデバイスとやりとりを行うために生徒1人1人の机に1台ずつ、小型コンピュータ

を設置する。このコンピュータには魚眼レンズ付きWebカメラと小型プロジェクタが接続されており、生徒の机に固定する。Webカメラにより生徒の表情や机の上の学習状況を撮影することができ、小型プロジェクタで授業者からの指示や指導内容を机に投影することにより、個々の生徒への視覚的な情報伝達を容易にする。また、このコンピュータにはマイク付きネックスピーカとも接続しており、他の受講生の邪魔をせずに授業者が個々の生徒と音声によるコミュニケーションを取ることができる。

これら小型コンピュータ、魚眼レンズ付きWebカメラ、小型プロジェクタ、ネックスピーカで構成される生徒用デバイスは、基本的には生徒は何も操作する必要がない。したがって、生徒は通常の紙ベースの授業と同じように授業に集中することができる。

② 授業者・サポート教員用デバイス

遠隔合同授業においては、受信側の教室には、担当教科が異なっても構わないが、誰か教員が付いていなければならないことになっている。そこで、この教員をサポート教員と呼び、提案する授業者支援システムを通じて授業者のサポートを行ってもらう。

具体的には、授業者が授業を行いつつデバイスを操作して生徒の見取りや指導を行うのは大変であるため、デバイス操作をサポート教員に手伝ってもらいながら授業を行える仕組みを提供する。

授業者用デバイスとサポート教員用デバイスは、同じタブレット端末で、連動しており、基本的には同じ

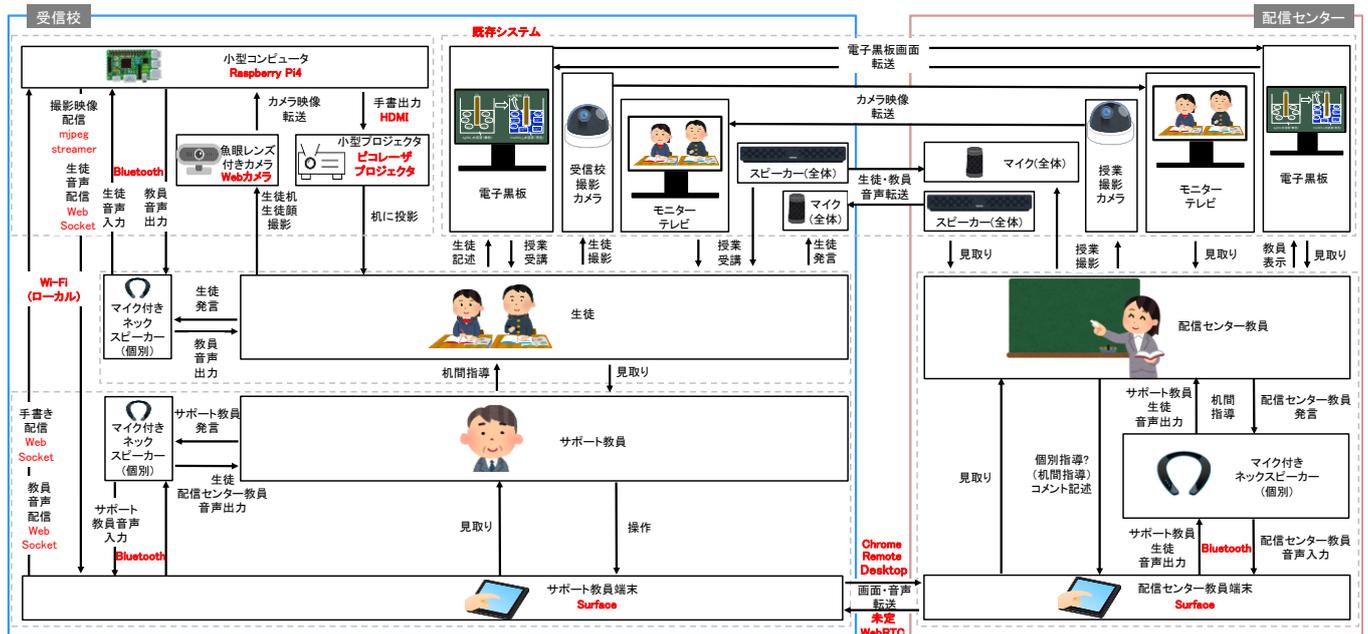


図 1 遠隔合同授業における授業者支援システムの構成図

画面を共有した状態である。双方のデバイスに接続されたネックスピーカで授業者とサポート教員は話をすることが可能で、授業者はサポート教員に口頭で操作を依頼することも可能である。

授業者・サポート教員用デバイスであるタブレット端末は、生徒用デバイスで収集した生徒の様子を受信しモニタすることができる。また、特定の生徒へリアルタイムに指摘できるようにするために、生徒の机上映したカメラ映像の上を、授業者が付属のペンで手書きを行えるようにする。手書きした軌跡は、その生徒の机に設置している小型プロジェクタでカメラ映像の位置と合うように投影される。また、互いのマイク付きネックスピーカを併用して音声を交えた指導も行うことができる。

これにより、授業者は特定の生徒へ声と手書きの軌跡を用いて対面での授業に近い机間指導ができると期待できる。また、生徒側はペア活動やグループワークを行う際に、相手の生徒の声と授業者の声の両方を聞くことができる。

4. 提案システムの試作

現在、前章で提案したシステムの試作を行っているところである。現時点では、図 1 における左側の生徒用デバイスとサポート教員用デバイスとの間で見取りと机間指導を行うために必要となる連携機能の実装に取り組んでいるところであり、本章ではこの連携機能に関することを中心に解説する。この連携機能の性能評価については次章で述べる。

なお、授業者用デバイスとサポート教員用デバイスとの連動機能については、現時点では未着手であるため、本稿では説明を省略する。

4.1 試作に使用した機器等

生徒用デバイスやサポート教員用デバイスの試作に使用した機器類を表 1 に示す。完全プライベートのローカル Wi-Fi ネットワークを用意し、生徒用デバイスの Raspberry Pi とサポート教員用デバイスの Surface Pro は、この Wi-Fi に接続する。生徒用デバイスはインターネットに繋がらなくても良いのでセキュリティ的に少し安心であるが、サポート教員用デバイスは遠隔地の授業者用デバイスとの接続のためにインターネ

ットへの接続が必要となるため、Wi-Fi ドングル等を追加して 2 つの Wi-Fi ネットワークに接続できるようにしておく必要がある。

なお、生徒用デバイスの Web カメラと小型プロジェクタは図 2(左)のように机に固定され、固定された位置から撮影と投影を行うことになる。

表 1 試作デバイスの構成機器の型番等

生徒用デバイス構成機器	
・小型コンピュータ	Raspberry Pi 4 Model B (4GB モデル)
・Web カメラ	ELP USB8MP02G-L180 ・180 度魚眼レンズ ・最大解像度 3264×2448
・小型プロジェクタ	Ultimems HD301D1
サポート教員用デバイス構成機器	
・タブレット端末	Microsoft Surface Pro 7 (Core i5 RAM 8GB)
生徒用・サポート教員用デバイス共通機器	
・ネックスピーカ	Doltech BBH229S (Bluetooth 接続)

4.2 サポート教員用デバイスと生徒用デバイス間のデータ連携機能の実装

サポート教員用デバイスと生徒用デバイスとのデータ連携において必須となる次の 2 つの機能を実装した。

4.2.1 カメラ映像の配信機能

生徒の様子「見取り」を行うための機能であり、動作の流れは以下ようになる。

- ① Web カメラからフレーム画像を取り込む。カメラには 180 度魚眼レンズが搭載されているため、取り込まれた画像には図 2(右)のように広い範囲が写っているが、歪みを補正する必要がある。
- ② オレンジ色の枠のように、あらかじめ切り抜きたい領域を決めておき、切り抜きと歪み補正の処理を行うことで、教員用デバイスに配信するための画像を生成する。図 2(右)の例であれば、配信画像として図 3 の 2 枚が生成される。
- ③ ②で生成した配信用画像を仮想のビデオデバイス (v4l2loopback: <https://github.com/umlaeute/v4l2loopback>) に送る。
- ④ mjpg-streamer (<https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>) を用いて③の仮想ビデオデバイ

スに送られた画像を配信する。

- ⑤ 教員用デバイスが Web ブラウザで生徒用デバイスの mjpg-streamer のアドレスに接続し、配信映像を受信して表示する。

4.2.2 手書きデータの送信・音声データの送受信機能

特定の生徒に対して「机間指導」を模した個別指導を行うための機能であり、以下の流れで動作する。

- ① 教員用デバイスは受講生数分の生徒用デバイスの mjpg-streamer から見取りのための映像を受信し、画面上に一覧表示する。
- ② 授業者かサポート教員が特定の生徒を選択すると、個別指導モードに切り替わる。
- ③ 個別指導モードになると、選択された生徒のデバイスと教員用デバイスとの間で音声通話ができるようにする。それぞれのネックスピーカのマイクで拾った音声は、WebSocket を通じて相手のデバイスへ送信する。受信した音声はネックスピーカに再生させる。
- ④ また、個別指導モードになると、教員用デバイスの手書き入力機能を有効にする。手書きの軌跡のデータは WebSocket を通じて選択された生徒のデバイスにのみ送信される。手書きの軌跡データを受信した生徒のデバイスが軌跡データに基づいて描画すると、小型プロジェクタにより机に手書きの内容が表示される。
- ⑤ 授業者かサポート教員が個別指導モードを抜けて受講生一覧の画面に戻ると、③の音声通話と④の手書き入力機能も終了となる。

4.2.3 各デバイスの起動時の挙動

サポート教員デバイスは WebSocket のやりとりを司るサーバとなる。そのためこのデバイスは起動すると WebSocket サーバを起動して待機状態となる。一方、生徒用デバイスはカメラ映像配信サーバとしての役割も持つため、起動すると、自動的に mjpg-streamer で映像配信を開始する。そして、サポート教員デバイスの WebSocket サーバに自動接続することになる。この時、生徒用デバイスはサポート教員デバイスに、自分自身の IP アドレスを伝え、接続したことを知らせる。サポート教員デバイスは、生徒用デバイスからの接続があると、生徒用デバイスの IP アドレスが得られるため、生徒用デバイスから配信されている mjpg-

streamer の配信映像を受け取れるようになる。



図 2 生徒用デバイスの設置イメージ(左)
Web カメラで撮影される映像(右)



図 3 図 2(右)から切り抜いた映像

5. 動作検証

前章を踏まえ、提案したシステムによって、見取りと机間指導をするための性能が、試作段階でどの程度達成できているか確かめるため、次の3点を目的として動作検証を行った。

- ① 配信される映像は、文字を識別できる画質で、滑らかな映像であるか。
- ② 魚眼レンズ付きカメラで撮影し、魚眼補正を行った画像を生成し配信されるまでの遅延はどの程度あるのか。
- ③ SurfacePen で描いた手書きデータは WebSocket を通じて、欠損もなく速く送られているか。また、配信映像上では手書きデータはどのように見ることが出来るか。

5.1 動作検証手順

①が達成できているかを確認するために魚眼補正を行うプログラムを動かし、フォントの大きさ別に書いた紙の見え方を確認した。

②がどの程度達成できているか確かめるため、図 3 のように、魚眼レンズ付きカメラで映すことのできる範囲上にストップウォッチを配置し、配信されている映像を SurfacePro7 で表示しそれをビデオカメラで撮影し計測を行った。

③の検証については、②と同じように SurfacePro7 と並べてビデオカメラで撮影し計測を行った。また、SurfacePro7 の画面で手書きデータはどのように見ることが出来るか確認した。



図 4 配信遅延時間の計測例

5.2 動作検証結果・考察

表 2 はそれぞれの入力画像のピクセル数において、各出力画像のピクセル数のときの見え方、画像生成時間、配信遅延時間を示したものである。配信遅延時間は魚眼レンズ付きカメラで撮影し画像生成を生成し配信されるまでを計測した時間である。また、画像の文字が見えやすいもの、時間の値が小さいものを黄色で示している。

①の配信される映像が、文字を識別できる画質で、滑らかな映像であるかについては、入力ピクセル数が 2048x1536 以上であれば出力ピクセル数の値に関係

なく読み取ることができた。

②の魚眼レンズ付きカメラで撮影し、魚眼補正を行った画像を生成し配信されるまでの遅延はどの程度あるかについては、図 4 の画像生成時間を確認するとどれも 0.5 秒以内で作成されているが、入力画像、出力画像ともにピクセル数が大きくなるほど生成に時間がかかった。配信遅延時間については、入力ピクセル数が 2048x1536 以外の時に、出力ピクセル数 1280x960 の時の秒数が出力ピクセル数 1024x768 の秒数より下回るという結果が得られた。これは、配信遅延時間を計測するために撮影したビデオカメラの画像生成時間と補正された映像の生成時間がうまくかみ合ったからではないかと考えられる。

これらのことより、画像生成時間と配信遅延時間が短いものを考慮すると入力ピクセル数が 2048x1536、出力ピクセル数が 800x600 の設定が適切であると検討した。

③の SurfacePen で描いた手書きデータについては、しかし、机間指導については、試作した WebSocket の手書き配信では 0.1 秒以内に配信されることが多かった。これは、WebSocket で送られるデータが、描いた部分の座標値、描いている色の RGB の値の情報しかないため、データ量が音声や配信映像の場合よりも少ないからだと考えられる。

次に、SurfacePro7 の画面で手書きデータはどのよ

表 2 入力画像と出力画像別の画像生成とその配信遅延時間

入力画像: ピクセル数 (解像度)	出力画像:ピクセル数(解像度)					
	480000 (800×600)	786432 (1024×768)	1228800 (1280×960)	1920000 (1600×1200)	3145728 (2048×1536)	5038848 (2592×1944)
5038848 (2592×1944)	0.35 / 1.95	0.38 / 2.28	0.40 / 2.16	0.41 / 2.41	0.47 / 3.03	0.53 / 3.32
3145728 (2048×1536)	0.29 / 0.93	0.29 / 0.99	0.29 / 1.21	0.31 / 1.90	0.35 / 2.20	0.43 / 2.71
1920000 (1600×1200)	0.15 / 0.94	0.18 / 1.24	0.20 / 1.12	0.22 / 1.51	0.27 / 1.74	0.35 / 2.47

※各セルの数値は、画像生成時間(s) / 配信遅延時間(s)

うに見ることができるかについては、図 6 のようにズレが発生している。これは、図 7 のようにプロジェクタを傾けて投影しているためズレが発生していると考えられる。これを解決するためには、プロジェクタで投影されている部分のみを検出し台形補正をする必要があると考えられる。

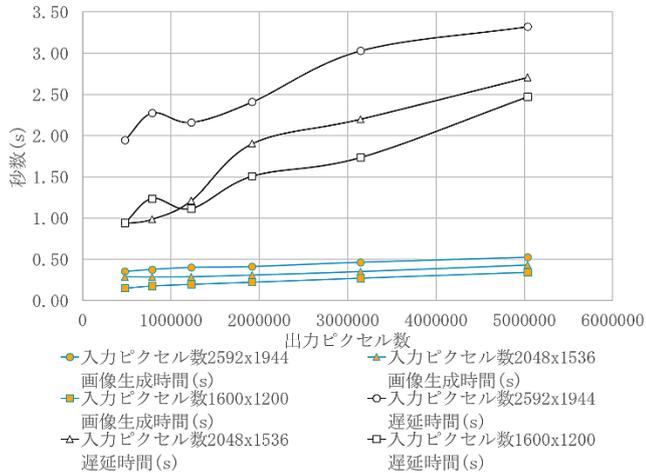


図 5 画像生成と画像配信にかかる秒数

表 3 手書き文字の配信遅延時間(s)

回数	1	2	3	4	5	6
遅延	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.11

①, ②を踏まえて見取り, 机間指導を行うことができるかについては, 机上の文字を見取りすることは入力ピクセル数が 2048x1536 以上であれば可能であると考えられる。よりリアルタイム性を重視した見取りをするのであれば入力ピクセル数が 2048x1536, 出力ピクセル数が 800x600 の設定が適切であると提案する。

①~③より, 机間指導は, 配信映像, 音声, 手書きそれぞれの配信の遅延を理解したうえで配信するタイミングの調整を行わないと難しいと考えられる。さらに, 今回得られたデータは同じ LAN に接続した環境で行ったため, 実際に遠隔で配信できるように実装した場合, より遅延が大きくなることが考えられる。

6. おわりに

本稿では, 授業者がリアルタイムに相手校の生徒の様子を見取り, 机間指導ができるシステムについて述べ, 試作システムで評価検証を行った。評価検証より, 入力ピクセル数が 2048x1536 以上であれば, 出力ピクセル数が小さいと遅延も少なく文字を読み取ることができるが, 机間指導をするためにはたくさんの解決すべき問題点が数多くある。今後は性能のいい Jetson Nano や今回の検証で用いた魚眼レンズのカメラの最大解像度 3264x2448, 15fps で撮影することができるようにした場合についての検証等を行う。その後実際の遠隔合同授業に近い環境で, 机間指導ができるかどうか評価実験を行いたい。

参考文献

- (1) 中央教育審議会, “第 3 期教育振興計画”
https://www.mext.go.jp/content/1406127_002.pdf
 (2021 年 8 月 16 日確認)
- (2) 文部科学省, “GIGA スクール構想の実現について”
https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm
 (2021 年 8 月 16 日確認)
- (3) 朝日新聞 2021 年 5 月 26 日「1 人 1 台」進まぬ高校情報端末昨年度配備「完了」12 県

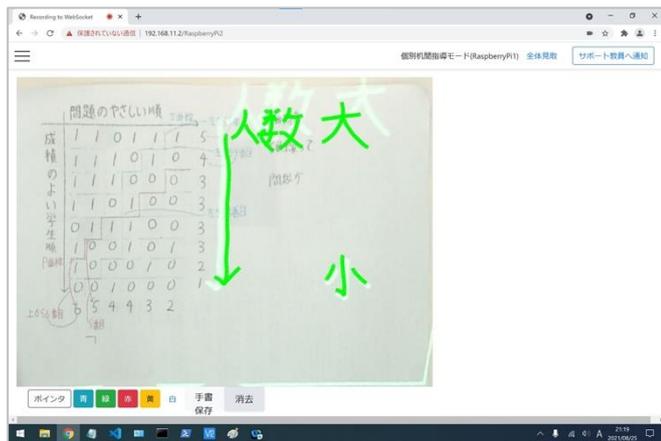


図 6 机間指導を行う画面

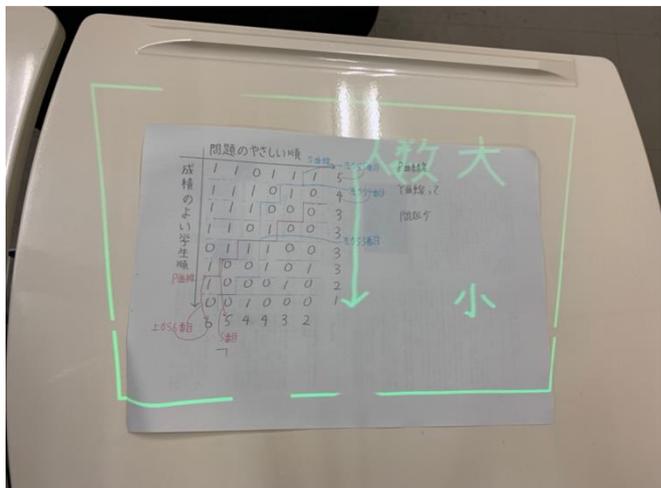


図 7 プロジェクタで投影した手書き