

同時双方向型遠隔授業で利活用した 数学基礎教育向けツールの紹介

山陽小野田市立山口東京理科大学・共通教育センター 亀田 真澄
Masumi KAMEDA, Center for Liberal Arts and Sciences, Sanyo-Onoda City
University

新潟大学・学術情報基盤機構情報基盤センター 宇田川 暢
Mitsuru UDAGAWA, Center for Academic Information Service, Niigata University

1 学修環境システム（対面式授業）

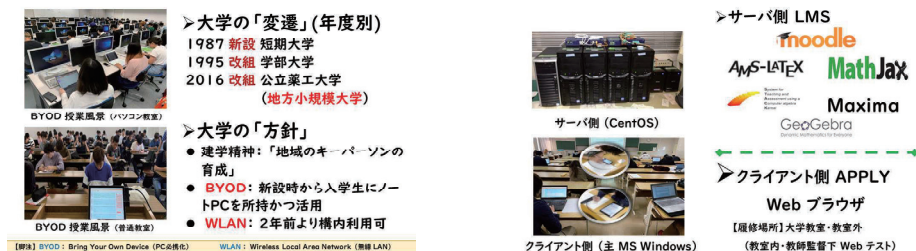
第1筆者は地方の小規模公立理工系大学である山陽小野田市立山口東京理科大学（以下、「本学」という）にて数学基礎教育を永年担当し、そして10年前から第2筆者との協働活動であるe-Learningシステム（以下、「本システム」という）を運用し続けている。この本システムにおいて筆者らがシステムおよびコース管理者であり、担当科目クラスの履修者らが学習サービスの専有利用者である（図1）。

図1aに、1987年度の新設から2016年度の公立化までの「本学の『変遷』」を述べ（図上部）、さらに本学の建学精神「地域のキーパーソンの育成」の下で、新設時から入学生に学生PCの必携化及び教育的活用（Bring Your Own Device: BYOD）を指導し、さらに2年前には大学構内のワイヤレスネットワーク網（WLAN）を構築されることを含む「大学の『方針』」を述べている（図下部）。これらにより全学生が学内全教室においてICT教育を受講できる大学教育環境に発展させた。

図1bに、本システムの概略構成を解説している。すなわちサーバ側では学修管理システム（Learning Managing System: LMS）のプラットフォーム「Moodle」、組版システム「AMS-LaTeX」、数式JavaScriptライブラリ「MathJax」、数式オンラインテスト評価システム「STACK」、数式処理システム「Maxima」、および動的数学ソフトウェア「GeoGebra」を融合的に組み込まれていることを述べ（図上部）、クライアント側では利用媒体の標準的Webブラウザだけを利用するシステムであることを述べている（図下部）。これらにより学内教室および自宅などの学外においても本システムを利用できる大学教育環境に発展させた。

2 DX（ニューノーマル時代）

直近において情報通信技術（Information and Communication Technology: ICT）を取り入れたデジタル技術による事業変革（Digital Transformation: DX）が求められている[1]。さらに新型コロナウイルス感染症（以下、「COVID-19」という）の感染回避行動を要求される「ニューノーマル時代」の事例および事業を紹介する[2]。



(a) (旧) 学修環境 (1)

(b) (旧) 学修環境 (2)

図 1: (旧) 学修環境システム

2.1 DX について

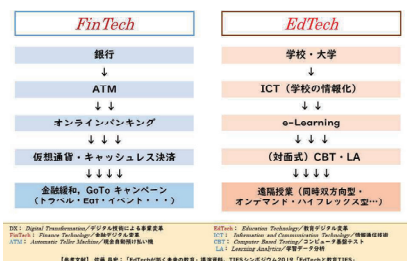
図 2a に, (左側において) 金融事業における「銀行 (対面式現場)」「現金自動預け払い機 (Automatic Teller Machine: ATM)」「オンラインバンキング」「仮想通貨・キャッシュレス決済」の順に進化していくデジタル技術変革 (これを「FinTech」という) を紹介し, さらに COVID-19 に対応する「金融緩和」「GoTo キャンペーン (例: トラベル・Eat・イベントなど)」を取り入れる事業変革へと進化し続けているフローチャートを図示した。また, (右側において) 大学教育事業における「学校・大学 (対面式現場)」「学校の情報化」「e-Learning」「コンピュータで行う試験 (Computer Based Testing: CBT)・学習データ分析 (Learning Analytics: LA)」の順に進化していくデジタル技術変革 (これを「EdTech」という) を紹介し, さらに COVID-19 に対応する「遠隔授業 (受講配信方式: 同時双方向型・オンデマンド型・ハイフレックス型など)」を取り入れる事業変革へと進化し続けているフローチャートを図示した。

図 2b に, これらの急激な事業変革が世界保健機関 (World Health Organization: WHO) の緊急事態宣言 (2020 年 1 月 30 日) から始まり, 日本政府 (内閣府・法務省・内閣府・厚生労働省・文部科学省など) の COVID-19 に対応した方策宣言へと続いている [2]。この方策について「対面授業から大学が認めた遠隔授業へ」(掲載箇所: 左上, 出典: [2], p.10), 「学習者への授業内外でのフォロー」(右上, p.11), 「授業目的公衆送信補償金の無償化」(左下, p.15), および「訪日できない留学生への支援」(右下, p.55) をあげている。

2.2 COVID-19 向け方策について

次に, COVID-19 に対応した大学教育における EdTech 事例および EdTech 事例検証を紹介する (図 3)。

図 3a に, 第 2 筆者の宇田川 [3] が大学新入生に対する学務情報アカウント (ID/パスワード) を「非対面 (非接触)」にて配布するシステムを中心に開発し, かつ実践した結果, 新入生のオンデマンド型行動パターンによりアカウント取得を収束させていく可視化情報などを紹介した。



(a) FinTech および EdTech のフローチャート

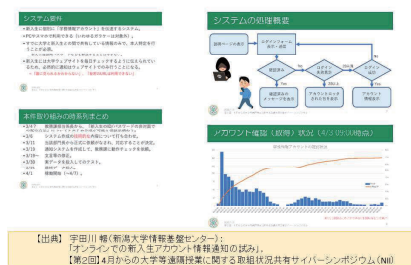


(b) 日本政府の COVID-19 への方策

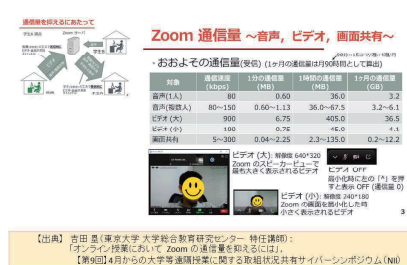
図 2: 事業別 DX のフローチャートおよび COVID-19 への方策

図 3b に、吉田 [4] が Web 会議システム「Zoom Video System」を利用した遠隔授業において、配信方式（音声、ビデオ、画面共有）別ネットワーク通信量を計測した結果などを紹介した。

これらの紹介例により、COVID-19 に対応した大学教育環境における遠隔授業では、「画面共有」が合理的かつ有効な授業配信方式であることが判断できる。



(a) 新入生アカウント情報通知の試み



(b) Zoom の通信量を抑えるには

図 3: EdTech 事例および EdTech 事例検証

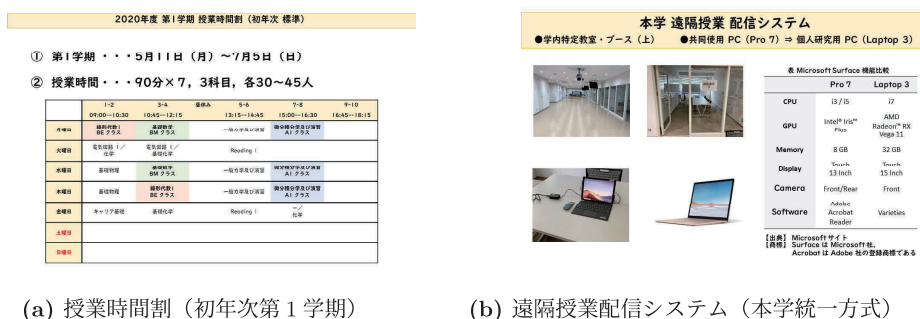
3 授業実践（ニューノーマル時代）

2020年度（ニューノーマル時代突入時期）、COVID-19により本学の大学教育は劇的に変化し、本学は次の「授業時間割（初年次第1学期）」および「遠隔授業配信システム（本学統一方式）」で対応した（図4）。

1. 第1学期を5月11日(月)～7月5日(日)に設定し直し、さらに第1学期の授業時間割では非実験系および非演習系授業を基軸に組み替えた(図4a)。その結果、第1筆者の初年次担当科目に関して、「基礎数学(2単位必須)」は月・水曜日3-4時限に、「線形代数1(2単位必須)」は月曜日1-2時限・木曜日3-4時限に、および「微分積分学及び演習(3単位必須)」は月・水・木曜日7-8時限(3単位必修科目)にそれぞれ再編した。結果的に、第1筆者は週7コマ(90分間×7回)を担当し、

各担当クラスでは30～45人で編成され、履修人数はのべ118人（数名の再履修者を含む）を数えた。

- 第1学期のすべての授業は Zoom Webinar 配信方式を用いた同時双方向型（リアルタイム）の遠隔授業で学内では統一された。この Zoom Webinar 配信方式とは、教師が学内特定教室のブースから大学保有の用意されたノートパソコン（中程度スペック保持）を教員間で共同利用しながら遠隔授業を提供し、一方受講者は希望する場所から遠隔授業を受信する方式である。なお遠隔授業の後半から、Zoom Video System の「ホスト切り替え」機能を用いて、共同利用ノートパソコン（Microsoft Surface Pro 7）から第1筆者の研究用高機能保持ノートパソコン（Microsoft Surface Laptop 3）に切り替えたことで、数学基礎教育に向けた豊富な有効的なソフトウェア群を同時双方向（リアルタイム）型遠隔授業で利用できるようになった（図4b）。
- 多くの学生は在宅にて、ごく少数の学生は Wi-Fi 設備された学内教室にて、および入国制限された留学生（複数国籍者2名）は国外の自宅にてリアルタイム遠隔授業をそれぞれの場所にて受講した。また本学の BYOD 指導により、初年次生は保有ノートパソコン（Web カメラは必携としていないが、大学推奨ノートパソコンには Web カメラが内蔵されている）を活用して遠隔授業を受講していた。



(a) 授業時間割（初年次第1学期）

(b) 遠隔授業配信システム（本学統一方式）

図 4: COVID-19 に対応した事例

4 Z 世代の学習環境および学習ツール

この節では同時双方向型遠隔授業を受講する履修学生側の学習環境および学習環境ツールについて解説する（図5）。

初年次生は、現在16歳～24歳の「Z世代（Gen Z）」に属したデジタルネイティブ世代であり、育ったデジタルワールドには高速インターネット、スマートフォン（以下、「スマホ」という）、ビデオ・オン・デマンド（VOD）、さまざまなゲーム機器、そして SNS の存在が当たり前のよう存在している時代を過ごしている。それ故、初年次

生は入学後の緊急事態宣言直前の2日間（4月25日・26日）において、本学のデジタルイゼーション（Digitalization）された次の履修システム：「メールシステム（Microsoft 365）」「学園生活支援システム（UNIVERSAL PASSPORT）」および「授業支援システム（SOCU-Moodle）」に関する操作方法などを対面式で指導されることで、即時利用できるように成長した。

次に、第1学期開始前に、初年次生は「オンライン授業の Zoom 会議システムの利用方法」および「遠隔授業に対する授業時間割表（Zoom 会議システムへのリンク情報を含む）」に関する履修システム指導書（PDF 形式テキスト）をメールシステム経由で受領したことで、保有ノートパソコンに対して簡単な操作だけ、学生宅において簡便に遠隔授業を受講できるように成長した。

4.1 遠隔授業環境調査について

遠隔授業第1週に、Web 会議システムの初動操作を実行した直後、本システム（独自アカウントによる認証システムを利用する）の初動操作をオンラインにて学んだ。引き続き、本システムの（Moodle 機能である）フィードバックを利用して調査を行った。なおこの Web 調査では、対象人数は 118 人（重複なし）、調査期間は 5 月 11 日～17 日、回答者数は 101 人（回答率は 86%）であった（図 5a）。

1. 【インターネット回線速度】履修者の受講場所でサイト「インターネット回線の速度テスト—Fast.com (<https://fast.com>)」を閲覧して、自動的に測定された回線速度「ダウンロード（授業場所への速度）」および「アップロード（授業場所からの速度）」を回答する。
2. 【保有スマホ】履修者がどのようなスマホを保有しているかについて回答する。

「インターネット回線速度」の回答結果から「ダウンロード」に関して人数 $n = 101$ 、平均 $m = 74$ 、標準偏差 $sd = 84$ となる、同様に「アップロード」に関して $n = 96$ 、 $m = 163$ 、 $sd = 178$ となるそれぞれの記述統計量が得られた。明らかにダウンロード速度が有意に遅いことが分かるが、問題とすべきことは低速域のインターネット回線速度である受講環境の場合、ネットワークに関連するトラブル（例：音切れ、フリーズ、遅延など）が発生することである。

「保有スマホ」の回答結果から「iOS 系（iPhone）」が 75%、「Android 系」が 24%、その他（非保有者を含む）が 1% となる保有状況であった。この保有状況からスマホに関する学習指導は iOS 系スマホを主に解説してよいと判断したが、問題とすべきことは低スペックのノートパソコンあるいは画面の狭いスマホに起因する受講ストレス（例：学習画面の狭さ、レスポンスの遅さなど）が発生することである。

4.2 LINE オープンチャットについて

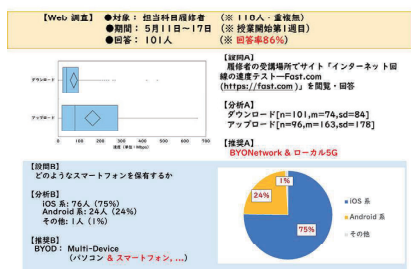
SNS アプリ「LINE オープンチャット」を第1学期開講科目向けコミュニケーションの共通ツールとして利活用した[5]。第1学期におけるチャット名は「亀田研@SOCU20」

に設定した。第1学期内の5月22日時点に招待制を取り入れた閉鎖的なSNSアプリへ、最終的に参加した参加者数は103人(全履修者比率:87%)を数えた。ただし、2人の海外在住留学生はアプリ仕様のため、加えてスマホ非保有履修者1人はこのSNSアプリを利用できない状況であった。一方このSNSアプリの配信数において履修者側配信数が61通、教師側配信数は57通の記事がそれぞれ送受信された(図5b)。

なお、このSNSアプリを学習活動における次の目的で使用した。

- 【目的(1)】 遠隔授業内で使用している Zoom Video System とは異なるコミュニケーション(例えば、学習トラブル、台風によるネットワーク・トラブル、SINET機器によるトラブルなどへの処理対応)
- 【目的(2)】 毎回の遠隔授業に対する開始予告
- 【目的(3)】 24時間対応の質疑応答
- 【目的(4)】 履修者同士によるピア・インストラクションおよびサポート
- 【目的(5)】 学習における情報共有(例えば、画像(亀田研サイトのスクリーンショット(以下、「スクショ」とする))、動画、音声などのマルチメディアおよびデジタル文書ファイル、学習向けサイトのURL伝達)

この利用目的の根拠には、Gen Zの若者がほとんどスマホ保持者であり、かつ Gen Zの生活活動圏に入り込む学習姿勢を取った結果である。また LINE オープンチャットの規約では個人情報への緩やかな利用環境があげられる。例えばメールアドレス・携帯電話番号の無断取得不可(セキュリティ対策)、参加者のニックネームの自由設定(「学籍番号・イニシャル・履修科目名」とするニックネーム設定依頼)、および自由意思による入退室などの利活用方法があげられる。



(a) 遠隔授業環境調査結果



(b) LINE オープンチャットのスクショ

図 5: Z 世代のネットワーク利用環境

5 数学的概念の双方向型伝達環境 (オンデマンド型)

数学基礎教育の遠隔授業では、履修者および教師が指定された時間にネットワーク上の学習空間に集まり、かつ共有しながらリアルタイムで授業を進行させる。この場合、教科書(PDF テキスト)または本システムのコンテンツを画面共有しながら数学的概

念を簡略的に口頭説明しながら数学的概念を伝承している。この節では履修者のオンデマンド型で進行する数学的概念の双方向型伝達環境について解説する（図6）。

5.1 数学的概念に対するコマンド対応について

対面式授業における数学的概念の伝承とは、数学の教科書または配布紙面資料を活用しながら対面式授業の中で教室内黒板に数学的概念および数式を板書することで伝承されていた。しかし遠隔授業においては物理的対面による集会が実行できないためネットワーク上の学習空間（仮想教室）で対面かつ集会し、かつネットワーク上の学習空間における（電子）黒板に対して数学的概念および数式を記載（板書）する形式を取らざる負えない。さらに履修者へ伝承された数学概念を確立および確認するために、本システムの（Moodle 機能である）オンラインテストを利活用した。

それ故、教科書に記載されている「数式（数学的概念）」に対して、オンラインテストで利用される「数式処理式（Maxima コマンド）」と組版システムで利用される「TeX コマンド」の対応が必要となる。図 6a に担当科目「基礎数学」および「線形代数 I」における主な数学的概念をリストアップしている。

【例 (1)】 2つの数学的定数「円周率 π 」および「オイラー数 e 」の加法 $\pi + e$ に対して、数式処理の Maxima コマンド「`%pi + %e`」、および組版システムの AMS-LaTeX コマンド「`\(e + \pi\)`」に対応

【例 (2)】 3次元ベクトル $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$ に対して、数式処理の Maxima コマンド「`matrix([1, [2], [3]])`」、および組版システムの AMS-LaTeX コマンド「`\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}`」に対応

5.2 オンラインテスト（ドリルの学習）について

数学基礎教育で利活用しているオンラインテストは CBT で実行されるシステムであり、履修者が希望する時間、かつ希望する場所から受験できる学習活動である。さらに提供されたオンラインテストでは、本システムが出題される問題文の数値および関数などをランダムに設定し、試験に関連する試験期間および所要時間を自動的に管理し、受験終了後には入力された回答を自動採点し、その採点結果を自動的に記録し、反復受験を許可し、その複数の採点結果における最高評点を採用している。

実際、図 6b にその受験サイクルを図示している。すなわち数学問題を標準的な数学概念の下で出題し（記載箇所：左上）、履修者は Web ページに対して数学的解答を数式処理コマンドにて回答し（右上）、入力された数式処理コマンドを標準的な数式として返答し（左下）、さいごに自動的に採点された結果を、正解の場合には黒色文字で、誤答の場合には赤字で、模範解答付きで戻している（右下）、

このオンラインテストの反復受験制度は数学概念の習得に対するドリル的学習として利用している。

① 基礎数学の対応表：「Math」「Maxima」「AMS-LATEX」

基礎数学	Math	Maxima	AMS-LATEX
1. 微分係数	$y = x$	$\%d x + \%e$	$\frac{d}{dx} x + e$
2. 関数	$\sin(x) - \cos^2 x$	$\sin(x) - \cos(x)^2$	$\sqrt{\sin(x) - \cos^2(x)}$
3. 関数	$a(x+2)$	$a * (x+2)$	$\{a(x+2)\}$
4. 関数	$x^2 - 3^x + \sqrt{5}$	$x^2 - 3^x + \sqrt{5}$	$\{x^2 - 3^x + \sqrt{5}\}$
5. 関数	$x^2 + 3x - \frac{1}{4}$	$x^2 + 3x - 1/4$	$\{x^2 + 3x - \frac{1}{4}\}$

② 幾何代数の対応表：「Math」「Maxima」「AMS-LATEX」

幾何代数	Math	Maxima	AMS-LATEX
1. 行列ベクトル	$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([1, 2], [2], [1, 2])$	$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$
2. 行列ベクトル	$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([a_1, a_2, a_3], [b_1, b_2, b_3], [1, 2, 3])$	$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix}$
3. 行列ベクトル	$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([a_1, a_2, a_3], [b_1, b_2, b_3], [1, 2, 3])$	$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix}$
4. 行列ベクトル	$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([a_1, a_2, a_3], [b_1, b_2, b_3], [1, 2, 3])$	$\begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{pmatrix}$

オンラインテスト（ドリルの学習）

① ランダム出題 【TeX】

② 解答コマンド入力 【Maxima】

③ サーチ認識 【MathJax】

④ フィードバック付採点 【STACK】

(a) 数学的概念に対するコマンド対応 (b) オンラインテスト（ドリルの学習）

図 6: 数学的概念の双方向型伝達環境（オンデマンド型）

6 数学的概念の双方向型伝達環境（リアルタイム型）

この節では同時双方向型遠隔授業において、リアルタイムで数学的概念を双方向型で伝達できる学習環境について解説する。

同時双方向型遠隔授業においてリアルタイムにコミュニケーションする手段は、Web 会議システム Zoom Video System に付随する「チャット」機能を利用することが標準であるが、Zoom の「画面共有」機能との共存かつ共用がしづらい学習環境であると考える。以下において「画面共有」機能と共存かつ共用できる Web ツールを紹介する（図 7）。

6.1 CommentScreen について

この小節では「ニコニコ動画風チャット」と同等な機能をもつコミュニケーション Web ツール「CommentScreen」を紹介する [6]。この公式サイトでは、「もっと楽しく、もっと盛り上がる、インタラクティブなプレゼンテーションに」をモットーに、「オンラインイベントや授業を盛り上げることができるツール」「コメントやリアクションをスクリーンで流そう」「リアルタイムでアンケートを取ろう」を伝えている [6]。

同時双方向型遠隔授業において次の手順に従ってこの Web ツールを利用する（図 7a）。

- 【手順 (1)】 履修者が発したいメッセージを特定の「CommentScreen」サイト（固有グループ活動名：SOCU20）に入力する（掲載イメージ：図 7a 左）
- 【手順 (2)】 即応的にインターネットを通じて教師側 PC 画面にも同一メッセージが流れる
- 【手順 (3)】 さらに教師が Zoom の「画面共有」機能を利用している場合、そのメッセージが流れる PC 画面も同時に画面共有される（図 7a 右）

この仕様を活用すれば、教師が遠隔授業の実行中において口頭で数学問題（例えば、3次関数 x^3 を微分せよ）を発出した場合、履修者はその数学的解答（ $3x^2$ ）に対するMaximaの数式処理コマンド（ $3 * x^2$ ）を、Web アプリ「CommentScreen」を通して回答する。

この実行例と同様に、解答する学習活動は参加している履修者が同時に実行できるので、正解および不正解を含めた多数のメッセージ（数式処理コマンド）が画面に流れるので、数学基礎教育における質疑応答を共有することができる。



(a) CommentScreen のスクショ

(b) Moodle Chat with MathJax のスクショ

図 7: Web ツール（リアルタイム型）

6.2 Moodle Chat with MathJax について

本システムは基礎数学教育に向けた専用コースで構成されている。そのコース内で利用される Web ページにおいて、その html ソース内に組版システム「AMS-LaTeX」のコマンドを融合させることで MathJax を通して高度かつ複雑な数式をその Web ページに数式レンダリングされる仕様をもつ [7]。

この仕様を利用して、本システム（Moodle）の「チャット」機能を通して数学基礎教育における学習活動を行うことができる（図 7b）。

同時双方向型遠隔授業において次の手順に従って「Moodle Chat」機能を利用する（図 7b）。

- 【手順 (1)】 履修者が発したいメッセージを「Moodle Chat」機能に入力する
- 【手順 (2)】 他の利用者における「Moodle Chat」機能においても同一のメッセージが即応的、かつ同時に共有される
- 【手順 (3)】 さらに教師が Zoom の「画面共有」機能を利用している場合、そのメッセージが教師側の PC 画面を經由して参加者間で共有される

この仕様を利用すれば、教師が遠隔授業の実行中において口頭で数学問題（例えば、三角関数の 3 乗 $\sin^3(x)$ を微分せよ）を発出した場合、履修者は組版システム「AMS-LaTeX」のコマンド（ $\backslash(3\sin^2(x)\cos(x)\backslash)$ ）を「Moodle Chat」機能に入力する。このとき、全ての「Moodle Chat」機能では 2 次形式の数式（ $3\sin^2(x)\cos(x)$ ）を参加者間で共有することができる（図 7b）。

この実行例と同様に、参加している履修者が同時に実行できるので、正解および不正解を含めた多数の2次形式の数式が画面に流れるので、数学基礎教育における質疑応答を普段通りの数式で共有することができる。

参考文献

- [1] 佐藤昌宏：「EdTechが拓く未来の教育」講演資料，TIESシンポジウム2019「EdTechと教育 TIES」，2019.
- [2] 教育再生実行会議：高等教育ワーキング・グループ（第2回）関連参考資料，2020.
- [3] 宇田川暢：「オンラインでの新入生アカウント情報通知の試み」，【第2回】4月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム，国立情報学研究所（NII），2020.
- [4] 吉田壘：「オンライン授業において Zoom の通信量を抑えるには」，【第9回】4月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム，国立情報学研究所（NII），2020.
- [5] コミュニケーションアプリ LINE（ライン）サイト：「LINEOpenChat 公式ブログ」，<https://openchat-blog.line.me/>（参照日：2020 年 10 月 7 日）.
- [6] CommentScreen サイト：「ポータルページ」，<https://commentsscreen.com/>（参照日：2021 年 2 月 15 日）.
- [7] Moodle サイト：「チャットの設定」，<https://docs.moodle.org/3x/ja/%E3%83%81%E3%83%A3%E3%83%83%E3%83%88%E3%81%AE%E8%A8%AD%E5%AE%9A>（参照日：2021 年 2 月 15 日）.