報　告

パーソナル吸光度計と学習管理システムを用いた学生実験の実践

山下陽子 [1)]・三木聖雄 [2)]・水口仁志 [3)]

[1)] 徳島大学 技術支援部
[2)] ウシオ電機株式会社 事業創出本部 マーケティング部門
[3)] 徳島大学大学院 社会産業理工学研究部

要約：学生実験は，限られた授業時間，実験作業スペース，限られた数の機器など，いくつかの制約の下で行われている。これらの制約を緩和するために，予習用のコンテンツを学習管理システム（LMS）でオンライン公開した。2017 年度前期より，学生一人ひとりが利用できる計測機器とタブレットを導入した。その後，アプリの改良を重ね，貸出用のタブレットではなく，学生が自分のスマートフォンを利用できるようになった。2022 年度前期には，学生実験に一通りの方法が確立した。また，今後の改良点を模索するためにも学生実験終了後にアンケートを取った。本稿では，学生実験の概要，アンケート結果について報告する。

（キーワード：学生実験，パーソナル吸光度計，学習管理システム，反転授業）

A Practice of the Laboratory Course Using a Personal Spectrometer and Learning Management System

Yoko YAMASHITA[1)] Seiyu MIKI [2)] Hitoshi MIZUGUCHI [3)]

[1)] Technical Support Department, Tokushima University
[2)] Marketing Division, Ushio Inc.
[3)] Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University

Abstract: Laboratory courses are conducted under some constraints, such as limited class hours, insufficient experimental workspace, and limited numbers of instruments. We released online preparatory content on the learning management system (LMS) to alleviate these restrictions. We introduced a measurement device and a tablet available to each student in the first semester of 2017. The measurement application has improved since then, and now students can use their own smartphones instead of tablets. An appropriate method for our laboratory course was completed in the first semester of 2022. In addition, a questionnaire was taken for further improvements after the laboratory course was finished. In this paper, we report the outline of the laboratory course and the questionnaire results.

(Keywords: laboratory course, personal spectrometer, learning management system, flipped classroom)

1. はじめに

大学の理・工学部の化学系分野のカリキュラムにはたいてい学生実験が盛り込まれている。化学分析，物質の合成，物性測定，物質生産に関する基礎的な実験を行い，その結果と考察をレポートにまとめることを通して化学分野における実験操作の基本を学ぶ。徳島大学理工学部応用化学システムコースにおいてもこのような実習はカリキュラムに含まれており，2 年次後期，および，3 年次通年で学生実験が開講されている。

3 年次前期の学生実験では，吸光光度法による微量元素の定量分析を行っている。本実験は，有色の物質の濃度と任意の波長における吸光度が比例関係となる Beer の法則に基づいた基本的な化学分析法であり [1)]，学生実験としてもっとも頻繁に採用されるテーマの一つである。このテーマでは，分析対象物質と発色試薬との反応の条件を考えながら測定試料溶液を調製し，吸光光度計を用

いて試料溶液の吸光度を測定することが基本的な作業内容である。筆者らの担当する実習では，標準溶液を用いて濃度と吸光度との関係（検量線）を得たのちに，飲料水などの実際の試料から得た測定溶液の吸光度を測定し，予め作成した検量線を用いて目的物質の濃度を求めることを課題としている。

一般的に分析機器を実習に用いる場合，準備できる機材の台数が限られるため，グループワークでは順番待ち等による待機時間が発生しやすく，受講生個人としては作業機会が少なくなる傾向にある。限られた時間の中で実動の時間を長く確保するには，実習開始前や後の説明は必要最低限に留めたいところである。また，コロナ禍における対応の一つとして，密を避けるために，従来のグループをさらに半分に分け，その前半と後半で実習を行う時間帯をずらしたため，これらの説明をオンライン対応として実動時間を確保することが必要不可欠の状況であった。筆者らは，2017 年度よりハンドヘルド型のパーソナル吸光度計と反転授業を用いることで，学生実験における上記の慢性的な課題の解決を試みてきた。本稿では，筆者らの取り組んできた内容について紹介するとともに，受講生を対象としたアンケート調査を行ったので，その結果について報告する。

2. 学生実験の概要と実施状況

2.1　パーソナル吸光度計

本実習で用いるパーソナル吸光度計（ヤマト科学，PAS-110-YU）は，白色 LED と 3 色のカラーセンサを，それぞれ光源，および，光検出器として内蔵する小型かつ軽量の装置である [2]。装置の外観を図 1 に示す。PCR（Polymerase chain reaction）チューブと呼ばれる容量 200 μL のポリプロピレン製容器を吸光度測定用のキュベットとして用い，これに着色した溶液を入れて本体にセットすることで吸光度が測定できる。光学系はポリジメチルシロキサンで作製され，吸光度単位として 0.02 以上で安定なデータ取得ができる仕様である。佐藤らは，当該機器を用いて鉄 (II)-1,10- フェナントロリン錯体を用いる吸光光度法およびブラッドフォード法によるタンパク質の定量分析を行い，従来の紫外可視分光光度計と比較し，吸光度計としての性能を報告している [3]。このほか，多くのアプリケーションの事例がメーカーのホームページで紹介されており [4]，実習用の機材として十分に使用できることが確認されている。また，当該装置は，スマートフォンやタブレットで制御でき，Android の場合は Play ストア，アップル社製機器の場合は App Store でそれぞれ専用のアプリケーションソフトウェア（以下, アプリと略記）が公開されており，無料でダウンロードして使用することができる [4]。

図 1　パーソナル吸光度計とアプリ

2.2　事前学習

実習の開講にあたっては，予習のための動画教材として，吸光光度法の原理，化学反応などの基礎的な解説, 操作手順や注意点の 3 本を準備した。また，レポート課題の説明動画も準備した。すべての動画は，1 本あたり 15 分程度に収まるよう工夫した。これらはいずれも，従来は実験直前や実験作業後の説明に相当するもので，実験作業のための十分な時間を確保する上で有効である。その他にも，装置の使用方法や，スマートフォンやタブレットに保存された測定データを提出する方法を示した資料も準備した。また，事前に各自のスマートフォンにアプリをインストールし，画面表示からアプリの動作確認を行うことも予習の一部とした。これにより, 全員がアプリをインストールできた状態で実験に参加したため，スムーズに進めることができた。また, スマートフォンによっ

てはバグが発生することもある。その際は，筆者らが別途準備したタブレットを貸し出して対応した。筆者らの経験した不具合は上記のみであるが，その他不都合があれば申し出るよう事前に周知している。

2.3　当日の実験作業

本実験は 3 ～ 5 人程度を 1 グループとして，8 日間にわたるローテーションの一つとして行っている。2020 年度，2021 年度は，コロナ禍での密を回避する必要性から，名簿上の班分けをさらに前半と後半に分け，時間帯をずらして実施し，2022 年度は実験スペースを倍増させ，従来の班分けで一斉に実施した。

実験の概要[1) 5)]は以下の通りである。鉄 (II) イオンは 1,10- フェナントロリン（phen）と反応することで，510 nm を最大吸収波長として強く赤色に呈する鉄 (II)－phen 錯体（$[Fe(phen)_3]^{2+}$）を生成する。鉄 (III) イオンをはじめとする多くの金属錯体が無色か薄い黄色であることから，phen を用いる吸光光度定量は鉄 (II) イオンに対して比較的選択性の高い方法である。また，鉄 (II) 濃度と吸光度が比例関係であることを利用し，本実験では特級モール塩から調製した鉄 (II) 標準溶液を用いて検量線を作成する。その後，市販されている鉄含有飲料も同様に $[Fe(phen)_3]^{2+}$ を生成させ，測定された吸光度から飲料中の鉄イオン濃度を算出する。2022 年度は実験時間確保のため，500.0 mg L^{-1} の鉄 (II) 標準原液，1 mol L^{-1} の塩酸水溶液，5×10^{-3}mol L^{-1} の phen 水溶液，2 mol L^{-1} の酢酸ナトリウム水溶液はスタッフが事前に調製し，当日受講生に配布した。また，実際試料として鉄含有の市販の清涼飲料水を準備した。

実験は次のような手順で実施した。鉄 (II) 標準原液を 10 mL 採取し 250 mL メスフラスコで調製する。0，2，4，6，8 mL の鉄 (II) 溶液をそれぞれ 50 mL ビーカーに採取する。塩酸を 2 mL 添加して酸性状態にし，L- アスコルビン酸を約 10 mg 溶解させることで，鉄イオンを 2 価に還元する。その後，phen 水溶液を 5 mL 添加したのち，$[Fe(phen)_3]^{2+}$ が安定に生成する pH 4.7 となるように酢酸ナトリウム水溶液を 2 mL 添加し，最後に水を加えながらメスフラスコで 25 mL 定容とする。実際試料中の鉄イオンを測定する際には，飲料試料 10 mL を 50 mL ビーカーにとり，塩酸を添加した後，穏やかに煮沸する。その後は先述と同様の手順で，L- アスコルビン酸，phen 水溶液，酢酸ナトリウム水溶液を添加して，最終的に 25 mL 定容とする。

吸光度の測定にあたっては，1 人に 1 台のパーソナル吸光度計を貸し出し，専用のアプリを事前にインストールしたスマートフォンとパーソナル吸光度計を，Bluetooth を介してペアリングする。その後，指示された手順に従って，検量線用の試料溶液の吸光度を測定し，相関係数等の測定に問題がないことを確認した後，引き続き試料溶液の濃度を測定した。なお，スマートフォンを用いるこれらの一連の作業は実験台で行うことになるため，当日は，試料調製を行った後，不要となった器具や溶液を整理し各自作業スペースを確保したうえでスマートフォンとパーソナル吸光度計の準備を行うように指導した。

事前に LMS を通じて実験の原理や手順を説明していることから，当日はすぐに試料調製を開始することができた。なお，当日の説明は，事故防止の観点から安全に関する説明とアプリの操作方法に絞って行った。学生が初めて使用する器具もあったため，戸惑っている場面も見受けられたが，説明時間の短縮により，時間に余裕もできて落ち着いて作業を行えているようであった。吸光度測定では，できるだけ装置上のトラブル等が起こらないよう詳しく操作方法を説明した。受講生 71 人のうち，スマートフォンと接続できないという事例が 2 名いたが，うち 1 人については時間内に解決できなかったことから予め準備しておいたタブレットを貸し出した。その後，スマートフォン側の設定が原因であることがわかり，以降は問題なく全員が各自のスマートフォンで測定することができた。図 2 は，測定作業中の様子である。各自がそれぞれに作業を行っており，順番を待つような時間は発生していない。

2.4　データの確認と提出

アプリ内では，暫定の検量線と直線近似での相

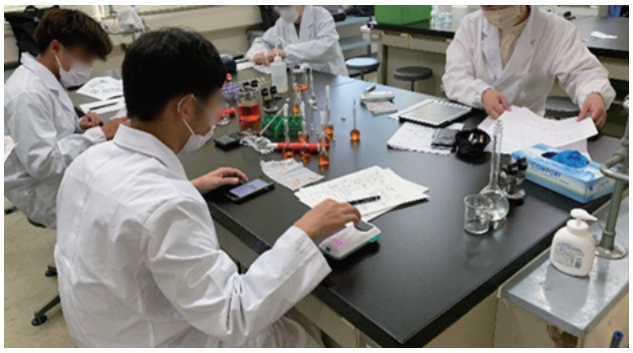

図 2　スマートフォンを使用して吸光度を測定している様子

関係数が表示されるので，直線性の良否から試料調製に問題がなかったかどうかがわかった。この時点でグラフに問題があれば，試料溶液を調製し直した。

測定データは CSV ファイルとしてスマートフォンに保存されるが，使用しているスマートフォンの種類によって，また使用しているパソコンによって取り出し方が変わってくる。Android は内部ストレージに保管されて比較的簡単に取り出せるのに対し，iPhone の場合は Mac PC 又はパソコン用音楽管理ソフト iTunes を使用する必要があった。しかし，ほとんどの学生が Windows を使用していること，近年音楽をパソコンで購入・管理する必要がなくソフト利用者数が少ないことから，iPhone ユーザーは CSV ファイルを取り出すことができなかった。この点は，2022 年 4 月のアプリ更新で改良され，実習終了後，ただちに LMS を通して提出することが可能となった。今後はこの作業で提出されたデータを出席の確認のために用いることもできる。なお，受講生は，取り出した CSV ファイル内のデータを使ってグラフを作成するなどし，1 週間後までにレポートをまとめて提出することとなっている。

3. アンケート結果

アンケートは実験参加者 71 名中，62 名から回答を得た（一部記入の人も含む）。

設問内容は以下の通りであり，LMS 上にあるアンケート機能を利用して回答してもらった。

① 動画内容について
　1．動画は視聴したか
　2．内容は理解できたか
　3．予習に役立ったか
　4．レポート作成に役立ったか
　5．動画で良かったところ悪かったところは何か

② 使用しているスマートフォンについて
　1．スマホの種類は何か

③ アプリについて
　1．問題なくダウンロードできたか
　2．実験当日問題なく使用できたか
　3．操作に問題はなかったか

④ CSV ファイルの取り出しについて
　1．問題なく取り出せたか
　2．取り出せなかった人はどこで躓いたか

⑤ アプリの評価
　1．アプリを使用して良かったところと悪かったところは何か

⑥ 総合評価
　1．実験全体を通して良かったところと悪かったところは何か
　2．実験の満足度はいくらか

3.1　動画について

3.1.1　予習動画の理解度

62 人中 61 人が動画を見たと回答した。視聴した学生の理解度については図 3 の通りである。ほとんどの学生が理解してくれたようである。自分のペースで予習できることが良い結果になったと考えられる。何名かは理解ができなかったようであるが，今後さらに受講生の意見を取り入れて改善を図る予定である。

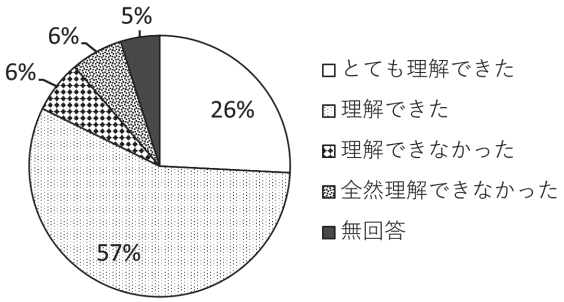

図 3　理解度についての調査

3.1.2　予習時の参考になったか

予習動画として，原理と操作手順についてあげていた。視聴した学生の半数以上が「とても役に立った」と回答した（図 4）。

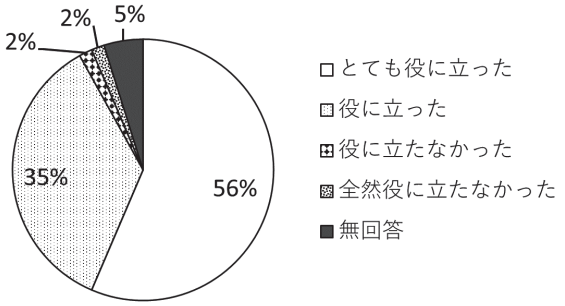

図 4　予習動画の参考度についての調査

3.1.3　レポート作成時の参考になったか

半数以上の学生から「とても役に立った」と回答が得られた（図 5）。レポート課題には，CSV ファイル内のデータを使用した数値計算や飲料のラベルからの濃度換算，LMS から班員の結果を確認するといった内容が含まれるが，口頭だけでは説明が難しい部分があった。また，3 年次前期の実験でレポート作成にまだ慣れていない学生が多く，何を書いたら良いのかわかっていない学生が過去にいた。そのため，動画で CSV ファイルの見方，設問で捉えて欲しい点など一部の内容に対して解説を行った。

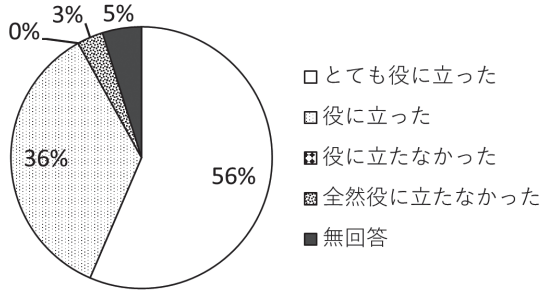

図 5　解説動画の参考度についての調査

3.1.4　コメント

動画を LMS にあげたことに対する受講生からのコメントも多く寄せられた。ポジティブなものとして多かった内容は，「詳しい説明でわかりやすかった」，「レポート課題の作成に役立った」，「テキストの文字だけではイメージしにくいが図や音声があることでイメージがしやすかった」というものだった。逆に，改善してほしい点として，「ただスライドを読んでいるだけである」，「初めて使用する器具についてもっと詳しい説明が欲しい」，「予習課題の解説が欲しい」，「原理についてのつながりがわかる全体図が欲しい」といった声があった。実際に指導，レポート内容を見たところ，詳しく解説したところの出来が良く，各自調べて理解してもらうためにあえて少なく解説しているところで躓いているようだった。どこまで解説するのかの匙加減がとても難しく，今後の課題である。

3.2　アプリ及び測定について

使用機種の割合については図 6 の通りである。iPhone 使用者が圧倒的に多い状況であるが，専用アプリの事前取得は全員が問題なくできた。

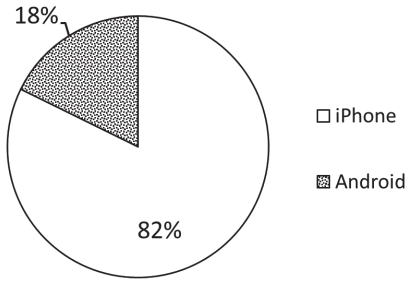

図 6　スマートフォンの機種調査

3.3　操作について

アプリの操作性については 77% の学生が簡単であったと回答した（図 7）。スマートフォンとパーソナル吸光度計のペアリングで問題が生じたケースもあったが，アプリの操作については簡単

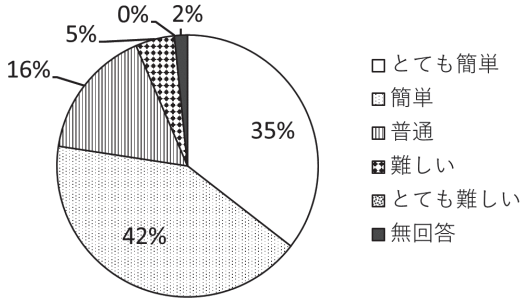

図 7　アプリの使用感の調査

に使用できたようである。普段使用しているスマートフォンでの操作であったことから使いやすいという意見が多かった。

3.4　CSV ファイルの提出

CSV ファイルは，測定時に自動的に作成されるので，スマートフォンの内部ストレージに保存される。データの改ざんなどの不正が発生しにくく，実習に出席して作業を行ったことを示す客観的な証拠にもなり得る。そこで，受講生に対して図 8 のような案内で，CSV ファイルの提出を指示した。初週については案内が行き届かない部分があったため，後日の提出となった。4 名の学生がデータの取り出しに手間取ったが，操作方法の案内をより具体的かつ詳細に記述することで対応は可能であると思われる。

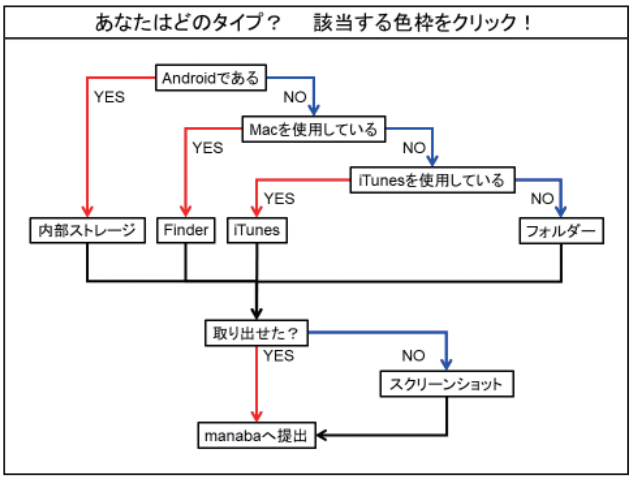

図 8　データ取り出しのためのフローチャート

3.5　アプリに対する意見

アプリの良かった点として，以下のような意見が多く上がった。

- 操作が簡便である。
- 測定値や検量線がすぐにわかる。
- CSV ファイルをスムーズに転送でき，データ処理がしやすい。

これらは，学生でも簡単に装置を使用できることを示しており，操作が簡便であるというアンケート結果とも結びついている。

逆に，良くなかった点については，以下のような意見があった。

- 装置の操作方法がすぐにはわからない。
- 装置の操作が簡単すぎて，原理を考えずに操作をしてしまう。
- 保存先の場所がわかりにくい，取り込み方がわかりにくい。
- （測定方法しか教えていなかったため，）測定後のデータの見方がわかりにくい。

これらは，筆者らが把握できていなかったり，長年の慣れで気が付かなかったりした点が指摘されたものである。今後の改善につなげていきたい。また，スマートフォン側の設定により画面が見にくくなってしまう点についての指摘や，スマートフォンやアプリに今後備えて欲しい性能などについての意見などもあった。

3.6　総合評価

6 割を超える学生から満足との回答が得られた（図 9）。感想として，動画等を事前に準備したことにより，当日の流れが分かって良かった，わかりやすくまとめられていて良かったという意見が多かったが，簡単に説明を終わらせたところについてはもっと詳しくして欲しいという意見もあった。どこまで詳しくするかが悩みどころである。スマートフォンのアプリという身近なもので実験できたという事が良かったという意見もあった。

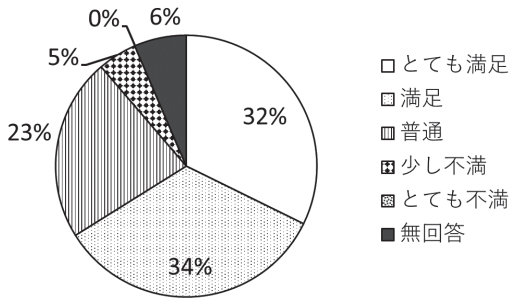

図 9　総合評価についての調査

4. まとめ，今後の展望

2017 年度から行ってきた学生実験の改良を進め，2022 年度に事前学習の導入と，各自ですべての実験作業，データ処理を行えるようになった。

事前学習では，実験当日の作業時間の確保ができる利点以外にも，何度も動画の確認ができ，文

字だけではなく図や音声があることで理解度を上げられることがアンケート結果からもわかる。装置やアプリの使用については，1 人 1 台ですべてのことができ，普段使っているスマートフォンで操作も簡単である。実験後もデータが残っており，確認がしやすく，CSV ファイルも取り出せる。簡単にできたという良い意見を述べている学生が多かったが，逆に簡単すぎて，原理がわからないまま進んでしまったという意見があった。LMS では，予習内容以外にも装置の使用方法やレポート作成のヒントをあげており，参考になったという意見が多くあった一方で，もっと詳しく説明して欲しいという意見もあった。この点は，学生に合ったコンテンツを提供するため，引き続き改善していきたい。以上のように，筆者らはパーソナル吸光度計と LMS とを連携させた反転授業を用いる学生実験の手法を実際に運用したが，この方式は限られた時間を有効に活用できるシステムとして有用であると言える。

参考文献

1) 梅澤喜夫, 本水昌二, 渡会仁, 寺前紀夫（2008）『分析化学実験』，東京化学同人，pp. 165-214.
2) H. Nomada, K. Morita, H. Higuchi, H. Yoshioka, and Y. Oki (2017). Carbon–polydimethylsiloxane-based integratable optical technology for spectroscopic analysis. *Talanta, 166*, 428-432.
3) 佐藤香枝，今泉幸子，森田金市（2016）「パーソナル吸光度計を用いた鉄イオン及びタンパク質の定量分析」『分析化学（Bunseki Kagaku）』65，533-537.
4) ヤマト科学株式会社，（n.d.）『吸光度計 PiCOEXPLORER (PAS-110-YU)』（https://www.yamato-net.co.jp/product/show/picoexplorer/）（最終アクセス日：2022 年 10 月 31 日）
5) 日本分析化学会北海道支部・東北支部（1998）『分析化学反応の基礎―演習と実験―』，培風館，pp. 142-147.