

化学実験実習におけるオンライン教材を活用した 反転授業の実践

宇和田 貴之

1. はじめに

2020年1月に始まり現在(2021年9月)まで続く新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の流行に伴い、大学教育は状況に合わせた対応を迫られ続けた。本学の対応をまとめると、まず2020年4月からの流行第1波および4月7日からの緊急事態宣言(全国へは4月16日)のために前期講義開始を5月まで延期し、講義が開始されてからも全面的にオンラインで講義を行った⁽¹⁾。前期講義終了間際(2020年7月)に始まった流行第2波が8月末には収束の気配を見せたため、9月からの後期授業は対面とオンラインを織り交ぜての講義となり、2021年1月をピークとする流行第3波をも乗り越えた。2021年前期は4月から流行第4波の兆しが見えていたが原則として対面での講義を行い、東京2020オリンピック・パラリンピック開催のために日程を早めていたことも幸いして7月からの流行第5波が本格化する前に終えることができた。

これまで本学が大きなクラスター(感染者集団)を出すことなく現在まで至っているのは、学生と教職員が一丸となつての行動変容の徹底、すなわち体温検査、入り口での手指消毒、「三密」(密集、密接、密閉)の回避、黙食の徹底などと、模索しながら確立していったオンライン講義によるところが大きい。しかしながら2021年9月現在未だ続く流行第5波は従来のもより感染力が高いデルタ変異株によるものであり、従来通りの対応で十分な効果があるかは不透明である。今

後は状況を見極めながら慎重に決定せねばならないことは書き添えておく。

このように2020年度においてはオンライン講義が主であり、2021年度に入ってから対面講義が主となった。かといって2021年度の対面講義は以前の対面講義と全く同じというわけではなく、前年のオンライン講義を通して得られた知見を大きく活かしたものとなった。2020年度に手探りで始めたオンライン講義は教員にとっても学生にとっても大きな負担とはなったが、そこで培われたものは教育に大きな選択肢を与えるものとなった。そこでこの報告では、一例として理学部化学科2年の必修科目「基礎化学実験」の2021年度における取り組みを紹介する。この科目は2020年度には実験科目でありながら学生は実験動画を視聴した上でレポートをまとめる完全オンラインで実施された。2021年度は対面で行うにあたってこの2020年度の実験動画を再編集した上で学生に公開し、事前に実験操作・手順や注意すべき点を予習しておいてもらい、対面での実験に臨んでもらった。これはすなわち実験科目における反転学習となると考えている。

反転授業(反転学習とも)は近年注目されている教育形態の一つで⁽²⁾、従来の教室で行われる「知識伝授」をビデオ等の教材をもとに自宅などで自ら行い、自宅で宿題を通して行われていた「知識の咀嚼」を教室で行うものである(図1)。教室と自宅との役割が従来の授業とは逆になることから“反転”授業と呼ばれる。これには多くの利点があることが報告されているが、最も大きな

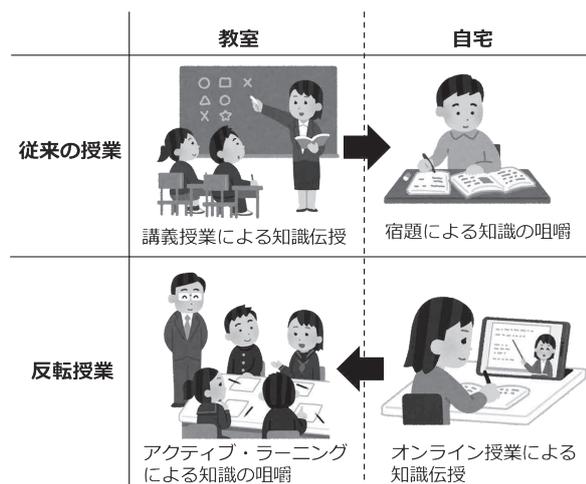


図1 従来の授業と反転授業の比較。

ものは教室で双方向の授業（アクティブ・ラーニング）を展開しやすいことであるとされる。個人ごとに進み具合の異なる知識の伝授を自宅で各自のペースで行っておくことで、教室では多くの学生が集まることで初めて可能となるグループワークやディベートなどの協同学習に集中でき、その結果として知識を使いこなし応用する能力の涵養につながるとされる⁽³⁾。実験科目においてはこの“個人ごとに進み具合の異なる知識の伝授”が実験の予習となり、“多くの学生が集まることで初めて可能となる”ことが実験となる。つまり実験科目はそもそもがアクティブ・ラーニングであり、反転授業の導入は必須であった。しかしながら様々な事情によりそれが先延ばしされており、教室と自宅の役割が不明瞭なまま行われてきた。この報告は、そのような状況から2020年度のコロナ禍を奇貨として旧弊を改め、反転授業導入へとこぎつけた事例であると考えている。

2. 従来の化学実験実習の実施方法

基礎化学実験への反転学習導入事例の紹介に先立って、この実験科目の概要およびコロナ禍前にこの科目がどのように実施されてきたかを簡単に

まとめておく。基礎化学実験は先に述べたように理学部化学科2年の必修科目である⁽⁴⁾。科学において実験は座学で学んだことの実践であり、実験技術を習得する機会でもある。これだけでも十分に重要であるが、最大の目的は行う実験について培ってきた知見をもとに仮説を立て、その仮説を検証するための実験計画を練り、そして実際に実験を行い得られた実験データを注意深く分析し、その結果をもとに考察を行い仮説を検証し、新たな知見を得るという、これら一連の過程から科学的な見方や考え方を育成することにある。大学教育における実験科目は、高校までの理科教育では実験が十分にできないことも相まって大学教育の意義そのものと言っても過言ではない。

化学科においては1年次に化学基礎セミナーIIという実験科目が存在するが、本格的な化学実験はこの基礎化学実験をもって始まる、という意味で講義名は「基礎」化学実験となっており、2年後期および3年次以降の学生実験へとつながるため重要視されている。従って実験そのもの以前に実験技術の基礎を身につけること、実験への安全意識を高めることが重要な目的となる。また、実験計画および仮説をまとめ、実験データを記録するための実験ノートのとり方、実験データを分析し考察を行い報告するための実験レポートのまとめ方の指導も行う必要がある。このように基礎化学実験は科学者としての第一歩となるような内容となっているため、学生全員がついてこれるよう目の行き届いた指導を行う必要がある。

基礎化学実験で行う実験単元を表1に示す。

大きく分けて4つの実験単元があり⁽⁴⁾、これを全20回で実施する。全ての単元において受講者は行う予定の実験手順を実験ノートにまとめた上で授業に臨む。授業時にはまず全員講義室に集まり、その日に行う実験についての諸注意を行う。その後受講者は実験室へと移動し、実験装置の使い方などを教員が実物をもとに演示するのを見て

表1 基礎化学実験の単元。初日のガイダンスおよび最終日の片付けは含まない。

1	分子模型（3回）
2	ガラス細工（2回）
3	硫酸銅の合成（6回）
4	金属イオンの定性分析（7回）

操作の要点を学ぶ。実験によってはこのときに実験手順をまとめたノートを教員に確認してもらう。その後、各自実験卓で実験を行い、実験ノートに適宜観察や測定の結果を書きつける。各単元の実験が終了し次第、受講者は実験レポートをまとめ期限までに提出する、というのが一連の流れとなる。成績評価は予習および実験レポートの総合的な評価で行っている。

2020年度前期の基礎化学実験は先述の通りオンラインでの実施となった⁽¹⁾。この際に活用したシステムはMicrosoft Teamsである。受講者は単元の始まりにTeams内に作成した講義チームに置かれたオンライン教材にアクセスし、教材を消化し終わるとチーム内の課題提出場所から課題を提出した。オンライン教材は主に動画である。

「1. 分子模型」では自宅で実施してもらうために分子模型のキットを全受講者の自宅にレターパックで送付した。受講者は筆者が撮影した分子模型の組み立て手順や注意点をまとめた動画をもとに分子模型を組み立て、それをもとにした考察をまとめた実験ノートをスマートフォンで写真に収め提出した。「2. ガラス細工」は簡単なガラス器具を自作する化学実験の基本のテーマである。受講者は筆者がガラス細工を製作している姿を撮影した動画を視聴した上で、簡単な課題をMicrosoft Formsで提出した。「3. 硫酸銅の合成」では受講者は筆者が実験している姿を撮影した動画を視聴したが、それ以外は通常の実験通りの過程を踏んだ。例えば、英語で書かれたダイレクションを読みながら実験ノートに日本語で実験

手順を作成し、そのノートの写真を提出した。実験をしながらその観察や測定結果を実験ノートに記していく部分は、動画を見ながら、自身が実験をしていると想定して行った。さらに、その実験ノートをもとにレポートを作成して提出した。

このように、学生自身が実験をすることはできなかったものの、実験の事前準備や事後のレポート提出など、実験の流れはオンライン授業となっても学ばせることはできたと考えている。さらに、最後の単元「4. 陽イオンの定性分析」は実施を延期し、後期授業が一部対面になったことを受けて、希望する学生は9月23日以降の4日間、登校して実験を行った。諸々の事情がある学生もいるため、大学に来て実験を行ったのは37名（全69名のうち）であった。登校のできない学生にはそれまでと同様に筆者が撮影した実験動画をもとにレポートを作成し提出してもらった。このように2020年度に基礎化学実験の全ての単元において筆者が実験を行い、その様子を撮影した動画を教材としていた。また、学生はオンライン授業が必須となることでネットワーク環境の整備を行い、学年を問わずパソコンの操作に熟達することとなった。このことが、2021年度の反転授業導入の大きな契機となった。

3. 2021年度の反転授業実践

3.1 反転学習導入・実施方法

では2021年度に基礎化学実験に反転学習を導入することでどのように変わったのか、まずは実験前後の流れを図2に示す。この年度から、新たに撮影した実験の目的や要点を説明した動画と2020年度に撮影した実際の実験操作の動画を編集し1つにまとめたものをMicrosoft Teamsの講義チームにあらかじめアップロードしておき、受講者には実験前までに視聴することを義務づけた（図3）。この動画は実験内容にもよるがおおよそ30

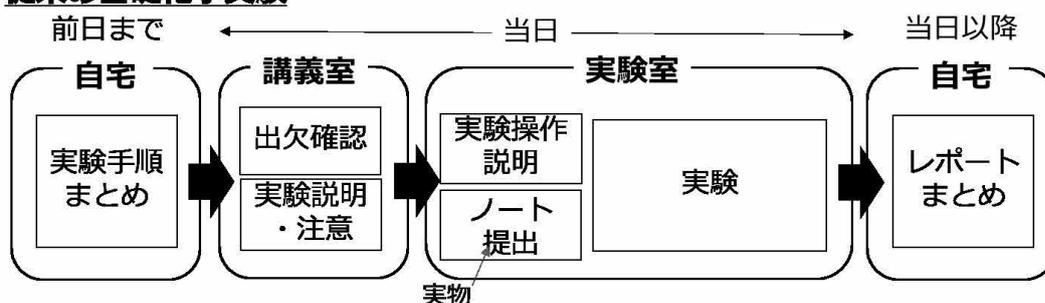
～90分程度となった。これにより従来は実験ノートに実験手順をまとめる際は受講者はダイレクションを参照していたが、この年度は動画をも参考にできるようになった。また、従来はこの実験ノートへの予習確認を実験直前に教員が行っていたが、今回は実験前日までにノートの写真をスマートフォンで撮影し、その写真を講義チームの課題提出フォームから行うようにした。このように、従来は実験当日に講義室や実験室で行っていた事を極力自宅ですることができるようにし、かつ学生が実験に臨む前に多くの情報が得られるように配慮した。

実験当日は受講者を従来と異なり直接実験室に集合させ、あらかじめ指定された席に着席しているかを視認することで出欠の確認を行った。実験目的や操作などの説明は既に動画で視聴したものとし、また予習も前日までに提出した実験ノートを教員が確認しているため、受講者は集合後速やかに実験を始めることができた。なお、実験ノートを提出していない受講者は準備不足であるた

め、別室で動画を視聴した上でノートに手順をまとめ終わるまでは実験を行ってはならない、と申し渡していたが、そのような事態となる受講者はついに現れなかった。実験中、教員は安全の確保や器具の補充、質問受け付け、戸惑う学生へのサポートに注力した。

実験後、受講者は自宅などでパソコンを使用し実験レポートをまとめた。レポートの形式は実験によって実験結果をまとめたノートの写真ファイル、wordファイル、Microsoft Formsを用いた1問1答形式を使い分けた。レポートをwordにまとめる場合はこちらが講義チームにアップロードしておいたフォーマットや採点基準を適宜利用した。すべての形式の実験レポートは講義チームの課題提出フォームから行き、教員は全受講者のレポートを3分割した上で3人の教員で分担して採点し、フィードバックを受講者へ送った。成績評価は予習および実験レポートの総合的な評価で行った。

従来の基礎化学実験



2021年度の基礎化学実験

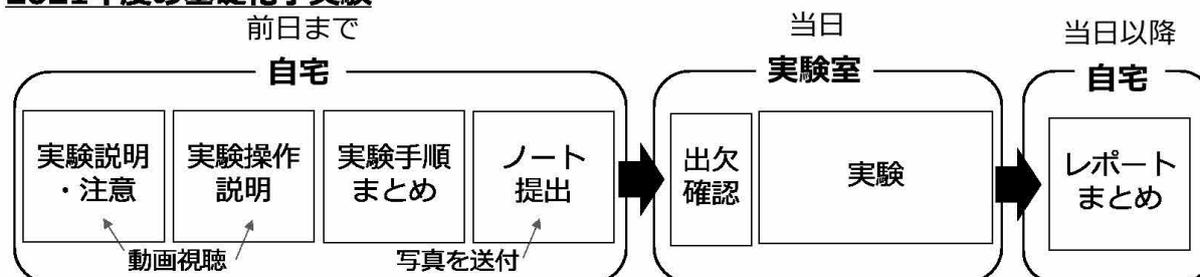


図2 反転学習を導入した2021年度基礎化学実験の流れ。比較のために従来の基礎化学実験の流れも記す（上部）。



図3 2021年度基礎化学実験の実験事前説明動画一覧。Microsoft Teamsの講義チームのこの画面から動画にアクセスし視聴する。全20回の実験講義に対し17本の動画を準備しアップロードした。

3.2 反転学習の効果と問題点

このように学生実験に反転学習を取り入れた効果として最も大きいものが、受講者がしっかりと事前学習を行った上で実験に臨むようになったことである。実験ノートへ実験手順を事前にまとめさせることは以前から行っていたが、ダイレクションのみを参照しまとめるよりも実際に実験を行った動画を併せて視聴することで、実験の最終的に目的とするところがリアリティをもって実感できたのだと考えられる。実験事前説明の動画再生数を見ると多いもので受講者数の2倍、少なくともほぼ同数となっているため、受講者が大いに参考にしたことは疑いようもない。その結果、受講者は単にダイレクションを引き写したのではない、適度な要約と適切な補足の加わった、実験を行いながら確認するのにとても良いノートを作っていたものが多かった。当然ながら良い予習は良い実験に繋がったものとの実感が得られた上、事故もほとんどなく終わることができた。

また、この実験ノートを撮影した写真の提出を義務付けたことも大きかった。従来はノート確認を実験前に慌ただしく行っていたために、予習内容の精査は全くできなかった。実験前に数日間ノートを預かるわけにもいかないので致し方なかったが、このような状況が続くと学生はダイレクションをそのまま写したようなノートを作り、結局はその場でノートでなくダイレクションを読んで実験を行うものも多かった。そこでノートの写真を提出させることで受講者はノートを手元に置いたままでの提出が可能となり、教員も実験前までに余裕を持って確認ができるため受講者の緊張感を保つのに効果があると考えられる。2020年度の経験からノートの写真でも十分に解読できるとわかっていたために実現できたことである。

学生のレポートにも大きな質の向上が見られた。レポートは行った実験の目的を理解した上で仮説を立て実験操作の手順をよく理解する、つまり事前の予習と実際の実験結果、そして結果から

仮説を検証した考察をバランス良くまとめる必要があり、受講者はそのいずれにおいても一定水準以上であったことがうかがえる。また実験レポートの書式や文体も例年より向上していた。これは反転学習のみの成果と断言するのは難しく、事前説明の動画でレポートのまとめ方を丁寧に指導したことが功を奏したのかもしれないとも思えるが、いずれにしても良い方向に向かっていることは間違いがない。

また、副次的な効果として実験時間が大幅に短縮できたことがある。まず、従来講義室、実験室で行っていた実験の主旨説明、操作の実演を事前学習動画での視聴で行い、かつ予習の確認も事前に写真送信で行っているため、部屋の移動も含めおおよそ30分から60分ほどを圧縮できた。講義開始時にすぐにも実験を始められる状態で実験室にいることは大きい。また、十分な予習を行っているため行うべき実験を把握していること、操作に戸惑うことがないのも実験時間短縮に効果があった。これによって学生が遅い時間まで実験する必要がないことが事故の減少にも繋がっていると考えられる。また、じっくり実験を行う学生にも余裕を持って指導ができた。2021年度現在ではコロナ禍はまだ続いているため、在学時間を短縮するという意味でも、反転学習には大きな意義があったと思える。

さらに、学生実験をペーパーレスで行えるようになったことも大きい。学生実験は事前の配布資料、予習課題、レポートなど大量の紙を必要とするものであるが、今回は実験そのもの以外を全てTeamsの講義チームに集約したため資料配布、課題・レポート提出の全てをTeams内で完結するようにした。したがってダイレクションを除いて全く紙を配布していないことは資源保護・経費削減の面からも大きな利点であるといえる。無論、受講者が資料を自ら印刷する分には自由である。また、受講者が提出物を全てTeamsで行う

ことは皆がコンピュータの使用に熟達する良い機会になったとも考えられる。基礎化学実験での提出物一覧を表2に示す。実験レポートは手書きでの提出を求めることも多いと聞かすが、反転学習はICT (Information and Communication Technology) を活用しなければ成立しない以上は提出物もまたICTを活用しなければそれは矛盾であると考ええる。さらに、全提出物をTeamsを介しての提出としたことで、提出物への採点結果を受講生別や課題別に一覧で確認でき、また総合点も容易に算出できる。成績評価の上でも利便性は大きく向上した。

その一方で、反転学習の不徹底、あるいはシステム上の困難もいくつか挙げられる。Teamsでは予習動画を誰がいつ、どれだけ見たかがわからないため、本当に受講生が動画を最初から最後まで見たかは確認がもてなかった。予習ノートを見る限りは皆が動画を視聴したと思えるが、それでも確認ができるシステムであれば教員側の手応えも含めてわかるため良いのではないか。また、電子ファイルでのレポートの提出となると剽窃のチェックが不可欠であると思われるが、今回はそこまで手が回らなかった。来年度以降は剽窃チェックソフトiThenticate⁽⁵⁾を使用するなどして点検してゆきたい。いずれにしても、反転学習そのものには問題がなく多くのメリットばかりがあったと考えている。

表2 従来と2021年度の基礎化学実験における提出物の形式一覧。カッコ内は表1の単元に対応する。

提出物	従来	2021年度
実験ノート(予習)	ノート実物	画像ファイル
予習課題(3)	レポート用紙	Wordファイル
予習課題(4)	レポート用紙	Forms
実験レポート(1)	ノート実物	画像ファイル
実験レポート(3, 4)	レポート用紙	Wordファイル

3.3 学生へのアンケート結果

では学生からはこの反転授業がどのように映っているのか。教員側としても初めての試みであったので、意見を募るべく実験最終日に調査の趣旨を説明した上でWebアンケートを実施した。アンケートの項目は引用文献⁽⁶⁾を参照していただきたい。表3に本報告に関わりのある項目についての結果をまとめた。問1の回答から9割を超える受講生がしっかりと予習動画を視聴していたことがうかがえ、しっかりと反転授業の意義を理解していると考えられる。これは2020年度以降のコロナ禍により受講生らがオンライン授業に十分に対応していた証左でもあるであろう。一方、その予習動画をいつ視聴したのかという問2に関しては実験前日という受講生が多く、なかなか前もっての準備は難しいのだと実感した。だが、週末に視聴したのも一定数いたようであり、動画の公開は実験の前の週の週末に入る前に行っておく

が良いと思われる。予習動画が最も役に立った単元を問3には多くが「3. 硫酸銅の合成」と答えており、複雑な実験操作や取り扱いに注意を要する実験であればあるほど予習の意義が実感できるようである。また、問4からしっかりとした予習が実験時間の短縮に繋がったと受講生も自覚しているようであり、この予習を徹底できた点だけでも、反転授業の導入に効果があったと思える。

最後に、自由回答として授業改善へのアドバイスを募ったので、そのうちのいくつかをここに紹介するとともに、改善すべき点を探ってゆきたい。

(回答抜粋)

「予習動画の重さとラグさを改善できるならお願い致します。」

「一個の動画を複数に分けて貰えると授業の合間

表3 2021年度基礎化学実験の授業アンケート結果。Microsoft Formsを用いて配布・回答を行った。サンプル数84。

質問	選択肢	人数 (%)
(問1) 予習動画をどれくらい視聴しましたか？	全部	51 (61)
	8割くらい	27 (32)
	5割くらい	4 (5)
	あまり見なかった	2 (2)
	まったく見なかった	0 (0)
	(問2) 予習動画をどの時間に視聴しましたか？ (複数選択可)	週末
月曜(実験前日)		75
実験当日		26
(問3) 予習動画が役に立ったのはどの単元でしたか？ (複数選択可)	分子模型	18
	ガラス細工	31
	硫酸銅の合成	77
	金属イオンの定性分析	54
(問4) 予習動画をもとに実験手順をノートに事前にまとめたことが、実験時間の短縮に役に立ったと思いますか？	はい	74 (88)
	いいえ	1 (1)
	どちらともいえない	9 (11)

などに見れていいなとは思いました。1時間30分は家でみるのは厳しいと思います。」

「レポートの書き方で一時間ほど講義してほしいです」

「多くのひとが動画を見ていた時、動画が見れない事があった以外は特にはないです」

「もう少し事前の予習動画が短いと、視聴する時間を確保しやすいです。例えば、金属イオンの定性分析では、手順を早送りにしたカットを多めに取り入れる（編集が大変でしょうが）と良いのではないのでしょうか。もしくは動画の公開を早めてみてはいかがでしょうか。」

このように、アドバイスの多くが予習動画の長さ、予習動画視聴の技術的な困難を挙げていた。受講生が予習動画を視聴する際、集中力には限度があるため、動画を短く編集するか、あるいは15分ほどに分割することが有効であるように思われる。こうすることでネットワーク環境にも左右されることなく、安定した視聴も可能となるかもしれない。来年度以降に検討してゆくべきことである。また、レポートの書き方のように、実験そのものではなく言わばリテラシーに関する指導を望む声もあり、こちらも今後充実させてゆくべきと考える。いずれにしても、反転授業の導入は今年度からであるため、受講生の声を柔軟に反映させてゆき、より効果的な学びとなる講義へとさせてゆくつもりである。

4. まとめ

2021年度に城西大学理学部化学科2年生必修科目の基礎化学実験において反転授業を導入した経緯と実践方法を紹介した。2020年度のコロナ禍を通して教員および学生のオンライン授業へのリテラシーが大きく向上したことで、その際の授業動画および資料の蓄積があって初めて可能となった

反転授業であったが、受講生の十分な予習をもとにした理解向上や滞りや危険のない実験、提出物の質向上など大きな利点があることがわかった。本年度得られた教訓を生かしながら今後も反転授業形式で学生実験を行い、教育の質向上へと繋げてゆきたいと考えている。

また、反転授業を続けるためには大学生には入学後からコンピュータに関するリテラシーを育む必要があることも明らかである。現在は学生のその能力が一時的に上がっているだけという可能性も高い。もしコロナ禍が過ぎ去り完全に対面授業が行われるようになって、学生が反転授業に対応できるようコンピュータリテラシーを身につける手助けを、他の授業、他の教職員、他の機関との連携をとりつつ行わねばならない。これは反転授業のみならず学生の学士力にもつながることであるため、1年次から支援する全学的な体制を整えるべきであると考えている。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、基礎化学実験の運営を全面的に支えてくださった実験助手の新部直美さんに心より感謝申し上げます。また、アンケートに答えてくれた基礎化学実験受講者の皆さん、基礎化学実験の予習に欠かせない本学ネットワークの保守管理に尽力してくださった本学情報センターの皆さん、学生の履修や学生への配布物郵送を助けていただいた理学部事務の皆さんに感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 佐野香織・宇和田貴之・見附孝一郎 (2021) 「2020年度前期, 理学部化学科のオンライン講義を振り返って」『城西大学教職課程センター紀要』 5, 19-26.
- (2) 重田勝介 (2014) 「反転授業 ICTによる教育改革の進展年」『情報管理』 56 (10), 677-684.
- (3) 文部科学省中央教育審議会 (2014) 『新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育, 大学教育, 大学入学者選抜の一体的改革について (答申) (中教審第177号)』 (https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1354191.htm) (2021年9月21日)
- (4) 城西大学理学部化学科基礎化学実験『城西大学シラバス』 (2021) ([https://junavi.josai.ac.jp/camweb/slbsbdr.do?value\(risyunen\)=2021&value\(semekikn\)=1&value\(kougicd\)=00281011&value\(crclumcd\)=zz19999999](https://junavi.josai.ac.jp/camweb/slbsbdr.do?value(risyunen)=2021&value(semekikn)=1&value(kougicd)=00281011&value(crclumcd)=zz19999999)) (2021年9月21日)
- (5) 学術研究用の剽窃チェックツールiThenticate『Turnitin』 (2021) (<https://www.ithenticate.com/>) (2021年9月21日)
- (6) 城西大学理学部化学科基礎化学実験『授業アンケート』 (2021) (<https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=87B-D9Ip70adULOub8TQdHnamZ1aNxZPtzXGslPstVFUNEFLNkiDMEJVSEJKUVFNN0tSNDE2VkiVSS4>) (2021年9月21日)