

2. 研究の詳細

| | | | |
|------------------|--------------------|------------------|--|
| プロジェクト名 | 化学実験教材の高度化に向けた基礎研究 | | |
| プロジェクト期間 | 平成30年度 | | |
| 申請代表者 (所属講座等) | 小杉健太郎 (理科教育講座) | 共同研究者 (所属講座等) | |

①研究の目的

現在の大学生や中高生は、パソコンやスマートフォン等の情報機器を日常的に使用しながら育ってきており、学校教育の中でも表計算ソフトウェア等を学習しているなど、十数年前の学生・生徒とは大きく異なった技能を身に付けている。また、電子黒板やタブレット PC 等の ICT 機器の教育現場での活用も近年進められつつある。このような学習者の知識・技能と ICT 環境の変化に対応して、理科・科学教育の可能性が模索されているが、まだその広がりには十分ではないように思われる。

本プロジェクト申請者は、学部学生向けの実験の授業や高等学校の課外授業での利用を想定して、物理化学的なテーマに関する実験教材の開発研究を行ってきた。近年は小型分光器を用いる教材用実験について研究を進めてきたが、この分光器用の測定プログラムはライブラリを用いることで自作可能であるため、学習内容や受講者の理解度に合わせたものを作成することができる。このため、特に小型分光器を用いる実験に関しては、既存の実験教材の改良や新規教材の開発などの様々な発展の可能性が見込めると考えている。このような教材開発研究をさらに推進するためには、分光器などの実験装置の機能強化が必要である。例えば、測定可能な光の波長領域や試料温度の制御範囲を拡張することで、より様々な系を測定することが可能となり、小中高等学校の学習内容の理解を深化させられるような新しい実験教材の開発研究へと繋がることを期待できる。

そのような展望のもとで、本プロジェクトでは、既存の分光実験装置の機能拡張を行うことを目指した。その分光実験装置を用いる化学平衡に関する教材の実験内容についても再検討を行うことにした。また、現在の学習者や ICT 環境、そして、プログラミング教育を小中高等学校で受けることになる将来の学習者にも対応する実験教材の開発研究を計画するためのノウハウの蓄積も目的とした。

②研究の内容

1. 分光実験装置の機能強化

小型分光器 (オーシャン・オブティクス社、USB-2000+) を用いることで、紫外可視領域 (波長範囲が約 200 ~ 800 ナノメートル) の光を分光し、スペクトルを得ることができる。この小型分光器には、メーカー純正の測定ソフトウェアが存在し、通常のスเปクトル測定はこのソフトウェアによって行う。このソフトウェアを使用する場合は、多くのメニューの中から動作の選択や条件の設定等を行うことになるため、初めて実験を行う際には、マニュアルに目を通す等して必要な事項を理解する必要がある。大学初年次の学生実験授業や中学生・高校生を対象とする課外授業などでは、初心者である学習者に分光器とソフトウェアの操作方法を実験前に理解させる必要があるが、これによって学習内容の本質的な部分を理解するために必要な時間や学習者の集中力が割かれることになる。そこで、申請者は教材ごとの学習内容・実験内容に特化した測定ソフトウェアを作成することで、学習者がより容易に実験を行えながらも、学習内容の理解をより深めさせられるような学習活動が可能ではないかと考え、近年の教材開発研究の中でナショナル・インスツルメンツ社の開発環境 LabVIEW2015 と、公開されている分光器用ライブラリを使用してソフトウェアの開発も行ってきた。光源としてタングステンハロゲン光源 (オーシャン・オブティクス社、HL-2000-CAL) を使用して、溶液試料に入射する光と透過する光の強度を小型分光器で測定し、これらのデータからその溶液中の分子の吸収スペクトルが得られるように測定ソフトウェアを作成した。しかし、この光源は 400 ナノメートル以下の強度が弱いため、これを用いて紫外領域の吸収スペクトルを得ることが困難であった。そこで、本プロジェクトにおいて、紫外可視領域全体で十分な強度をもつ光源を導入するとともに、それに対応させるために測定ソフトウェアの機能強化を行った。また、測定ソフトウェアの改良の際に、内部の整理とサブルーチンへの分解を進めた。

2. 化学平衡に関する実験教材の向上に向けた探究

2価のコバルトイオンに4つの塩化物イオンが配位している錯体が無色透明の溶液に溶けている場合は、溶液の色が濃い青色に見える。一方、そのコバルトイオンに6個の水分子が配位している場合は、溶液は薄い赤紫色（ピンク色）を呈する。試料の濃度を適切に調整することで、溶液温度の数十度の変化によって溶液色を赤紫色と青色の間で変化させることができるため、この系は化学平衡の温度依存性に関する教材として用いられる。以前、申請者もこの系の可視吸収スペクトルの温度変化の測定を中心とする教材の開発を行った。将来的な研究において、化学平衡に関する教材としての質を向上させられるように、本プロジェクト研究においては、この系について新たな知見を得て、理解を深めることに取り組んだ。

3. 新規の教材用実験装置・ソフトウェアの開発に必要な情報の収集

タブレット PC の教育現場への導入とともに、それと連携して温度や気圧等の種々のデータの集録が行える測定機器が開発・販売されている。このような測定機器を使用することで、従前にはない理科教育が行える可能性が広がっているが、残念ながらそのような機器の導入はまだ一部の高等学校や中学校などに限られているようである。測定機器の普及によって、小学校高学年程度から学習者自身が試行錯誤しながら測定実験を行い、得られたデータを眺めて考察するような理科の学習活動が行われるようになることを申請者は期待している。その一方で、既成の汎用的なものではなく、学習者や教材内容に最適化した実験機器・ソフトウェアによる現代的な理科教育の可能性について探究したいと考えている。このような研究を計画するに先立って、本プロジェクト研究においては、Arduino 互換機を中心とする簡易測定装置と、その測定ソフトウェアの開発に関する基礎情報を収集することを行った。

③研究の方法・進め方

1. 「分光実験装置の機能強化」について

LabVIEW2015 とオーシャン・オプティクス製の小型分光器用のライブラリを用いて、過去に作成していた測定ソフトウェアの改良とサブルーチン化を行った。

2. 「化学平衡に関する実験教材の向上に向けた探究」について

本プロジェクト期間内に入手した文献（参考文献1）に基づいて、物質系の見直しを検討した。この過程における可視吸収スペクトルの測定は、日本分光製の紫外可視分光光度計 V-660 と温度制御機能付きセルチェンジャーを用いて行った。

3. 「新規の教材用実験装置・ソフトウェアの開発に必要な情報の収集」について

Windows や iOS 等の複数のプラットフォーム上で動作するソフトウェアを開発できる Unity を開発環境として用いることにした。実験装置の中心部分として、ESP-WROOM-02 を搭載する Arduino 互換機（スイッチサイエンス社の ESPr Developer 等）を用いることにした。

④実施体制

本プロジェクト申請者が全体の研究計画を立案し、「分光実験装置の機能強化」については単独で行った。また、「化学平衡に関する実験教材の向上に向けた探究」と「新規の教材用実験装置・ソフトウェアの開発に必要な情報の収集」については、平成 30 年度に申請者が指導した 4 年生の卒業研究と共同する形で行った。

⑤平成 30 年度実施による研究成果

1. 分光実験装置の機能強化

本プロジェクトの経費を使用して、重水素タングステンハロゲン光源（オーシャン・オプティクス社、DH-2000-BAL）を導入した。この光源は、紫外から近赤外領域（波長範囲 215～2000 ナノメートル）までの

光を出すことが可能であり、USB-2000+とともに使用することで、紫外可視吸収スペクトルの測定が可能となる。しかし、これまで使用していた可視領域の光源 HL-2000-CAL と比べると光の強度が大きいため、従来使用していた自作の測定ソフトウェアをそのまま使用することができないことが判った。この点については、当初は ND フィルター等を使用して、試料に入射する光の強度を調整することを考えたが、その後、小型分光器の露光時間を調整することを検討した。分光器用のライブラリに含まれるサブルーチンプログラムを調べた結果、露光時間を調整する方法が解ったため、それを測定ソフトウェアのフロントパネル上から設定できるように改良を行った。

また、従来のソフトウェアでは、USB-2000+による可視スペクトルの強度補正を必ず行うようにしていたが、紫外領域の強度補正を行うための標準データを所有していないため、現状では強度補正のオン・オフが行える機能を追加すべきと考えた。フロントパネル上から強度補正の設定が行えるように測定ソフトウェアを改良して、完成させることができた。

また、これらの改良と並行して、測定ソフトウェアの内部をサブルーチンに分解することも行った。これは、今後、申請者が行う教材開発研究や、研究室の学生が取り組む卒業研究において USB-2000+による実験用にソフトウェアを開発する際の効率を上げるためである。測定ソフトウェア内において、小型分光器の初期設定を行う部分と、分光器からスペクトルを読み出す部分については、一応のサブルーチン化を行った。しかし、測定ソフトウェア全体をいくつかのサブルーチンに分解することは完了していない。また、各サブルーチンの汎用性を高めることも必要であるが、その点についても現状では不十分である。

2. 化学平衡に関する実験教材の向上に向けた探究

化学平衡に関する教材用の実験においては、以前は 2-プロパノール水溶液に塩化コバルトを溶かした試料を用いていた。しかし、濃青色に見える温度にした試料溶液においても、四配位のコバルト錯体と薄い赤紫色を呈する六配位のコバルト錯体が共存している可能性があったため、可視領域のスペクトルを成分分解して詳細な考察を行う上では問題があると考えていた。文献調査を行ったところ、類似した系についての先行研究(参考文献 1)が存在し、この文献から濃塩酸を溶媒とすることで、四配位のコバルト錯体の吸収帯のみが観測されている可視スペクトルが得られることが解った。このため、我々も濃塩酸と水のそれぞれに塩化コバルトを溶かした溶液について可視スペクトルを得るとともに、それらの四配位と六配位錯体のスペクトルを複数のガウス型関数でフィッティングして得た結果を用いて、四配位と六配位の錯体が共存する溶液のスペクトルを成分分解した。四配位錯体の吸収帯はよくフィッティングできたものの、六配位錯体の吸収帯は(水に塩化コバルトを溶かした)純粋な六配位錯体のスペクトルより約 10 ナノメートル程度長波長シフトしており、このためにフィッティング曲線と実測データのずれが大きいという結果が得られた。

3. 新規の教材用実験装置・ソフトウェアの開発に必要な情報の収集

Unity の基本的な使用方法については、平成 30 年度の 4 年生の卒業研究を指導する過程で学習した。また、別の 4 年生による卒業研究を通じて、ESP-WROOM-02 を搭載する Arduino 互換機の基本的な機能・使用方法に関する情報を得ることができた。(この卒業研究においては、Arduino 互換機とセンサーを用いて測定した温度・気圧等のデータを、Wi-Fi 経由でパソコンやタブレット PC 上で動作する自作の測定ソフトウェアで取得して、表示することが達成された。これは本プロジェクトの成果には含まない。)

⑥今後の予想される成果(学問的効果、社会的効果及び改善点・改善効果)

本プロジェクトの成果に基づいて申請者が今後取り組む研究によって、学界における現代的な理科・科学教材開発研究を活発化し、発展を促したい。そのような教材開発研究による成果に基づいた実践が広く行われることで、理科・科学教育の改善が行われると考えている。

⑦研究の今後の展望

本プロジェクトで行った研究を発展させて、教材開発研究を進める予定である。現時点では、大学 1 年生や高校 3 年生等の高校化学を学習し終えた学習者に、大学で学習する物理化学的な物質の捉え方の基礎を、分光実験を通して体験させられるような教材の開発を目指している。

⑧主な学会発表及び論文等

本プロジェクト期間の次年度（令和元年度）に、本プロジェクト研究の成果を含む研究発表を理科教育学会全国大会等で行う予定である。