

AMI-NOOH : ミクストリアリティを用いたアミノ酸学習教材の研究

南部良佳^{†1} 大島登志一^{†1}

概要：本研究では、ミクストリアリティ (Mixed Reality; MR) を用い、アミノ酸の分子構造を学習することのできるシステムを開発した。対象ユーザは、アミノ酸という言葉は耳にしたことがあるが、アミノ酸について学んだ経験がほとんどない人である。ユーザは、三次元空間で分子同士を組み合わせることで、人間の体に必要な必須アミノ酸と非必須アミノ酸からなる 20 種類のアミノ酸を作り上げることができる。また、同時にアミノ酸の特徴や二次元構造といったアミノ酸についての知識を補足するスライドも提示することで、アミノ酸に対して更なる理解を図る。

1. はじめに

高校化学の学習指導要領[2]の目標では、「化学的な事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、化学的な事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することを目指す」としており、「この資質・能力を育成するためには、観察、実験は大きな役割を果たしている。化学が対象とする事物・現象は、一般的に実験室で取り扱えることが多く、実際に観察、実験を行い、探究の過程を踏まえた学習活動を行うようにすることが大切である。」と記されている。しかし、多くの場合、実験を行わずに教科書で構造式を覚えるという実態がある。

本研究では、有機化学分野の中でも特に、人の体にとって重要なアミノ酸に焦点を当て、ミクストリアリティ (Mixed Reality; MR) [1]を用いてアミノ酸の立体構造や基礎的な知識を学習することができる、インタラクティブな学習教材を開発した。実際には見ることでできないアミノ酸の構造を、MR を用いることで可視化し、アミノ酸の構造を作り上げる過程を通して、難しいテーマを楽しく学ぶことを目的としている。

2. インタラクティブ学習教材の研究

2.1 MR を用いた学習教材

これまでに、MR を用いた学習教材は、様々なシステムが開発されている。坂本ら[3]は AR マーカを並べることで、図形を描くことのできるプログラミング学習ツールを開発した。これは、プログラミング要素が図式化されたマーカ上を、始めから終わりまで縦に並べるだけで、プログラミングを知らない人でも体感的に図形を描くことができる点が特徴的である。

隅田ら[4]は、ARToolKit を用い、AR マーカ上に化学の実験器具を表示させることで、化学の実験室以外でも化学

実験を反復的に学習することができる学習支援システムを開発した。これは、ディスプレイに映し出されている仮想空間内で、AR マーカ上に実験で使う器具が表示され、現実空間に器具が無くても、実験の様子を学習することができる点が特徴的である。

西元ら[5]は、MR の技術を活かし、ガスバーナーは使用するが、本物の炎は使用せずに、ガスバーナーの使い方と炎色反応を学ぶことができる実験教材を開発した。これは、空間結像型空中像ディスプレイを用いることで、ユーザが HMD などのデバイスを何もつけず、あたかもそこに炎があるかのようにガスバーナー上に空中像の炎を確認でき、その炎を使用して実験することができる点が特徴的である。

これらの研究から、MR を学習教材に活かすことで、教科書の写真や図ではわかりにくい内容を可視化してわかりやすくすることができる。また、ユーザが習ったことのない難しい内容でも、インタフェースを工夫することで体感的に学習することができたり、実験を実験室以外でも提供できたりし、ユーザの学習意欲を高めることができると期待される。

2.2 従来の化学構造の学習教材

化学物質の分子構造を学習することのできる教材として、模型[6]が化学の授業でもよく用いられている。教科書では確認できない分子の三次元構造を学ぶことができる点が特徴的である。しかし、模型では網羅しきれない複雑な構造があったり、模型の組み換えを素早く行うことができなかったりするといった課題がある。

化学構造の学習教材には、カードゲーム式のものも存在する[7][8]。これらのカードゲームは、楽しみながら学べるという利点がある。しかし、カードゲームでは、構造を三次元で確認することはできない。

2.3 MR 型の有機化学教材 AMI-NOOH

本研究では、従来事例も踏まえて、アミノ酸の立体構造と基礎知識を理解することを目的とし、MR を用いること

^{†1} 立命館大学映像学部

で、複雑かつ複数の構造に対応できるアミノ酸学習教材 AMI-NOOH（アミノ；アミノ酸と親しめることを意図し、化学式のような表記を組み合わせた名称）を試作した（図 1）。アミノ酸の構造を学ぶのに必要な前提知識も同時に提示し、アミノ酸について詳しく知らない人でも、パズル感覚で楽しみながら学習することのできるシステムである。

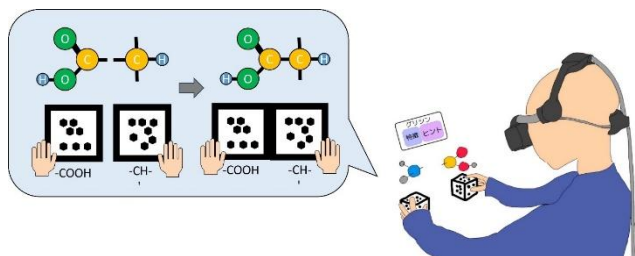


図 1 体験イメージ図

本研究では、現実空間に仮想空間を重ねて表示することのできるビデオスースルー型 HMD（Canon MREAL X-1）を用いている（図 2）。このシステムを利用することにより、現実空間において、実際にユーザが手を使い、現実のものに触れながらも、仮想空間において、現実では目にすることのできないアミノ酸の分子構造を可視化することができる。現実世界が見えたり、ユーザ自身の手が見えたりすることによって、ユーザがより現実味を持って学習することができる。また、ユーザは、現実空間で手元のマーカを動かすことで、仮想空間上に表示された分子を結合したり、分離したりすることができる（図 3）。実在するマーカを回転させるだけで、分子構造も簡単に回転させ、あらゆる角度から観察することができたり、手にとって構造を近づけて見るができたりと、実際にユーザ自身の手を使うことで操作が容易になる。



図 2 MR HMD



図 3 マーカ

3. 体験とインタフェース

3.1 体験シナリオ

最初にユーザに必須アミノ酸を作るか、非必須アミノ酸を作るか選択してもらったと同時に、それぞれどのようなものかわかる説明も加えて提示した。

次にユーザが、必須アミノ酸 9 種類・非必須アミノ酸 11 種類の中から、作りたいアミノ酸を選択する。それぞれのアミノ酸の名前の下には、アミノ酸の二次元構造を表示し、書籍等での表現を対応付けた（図 4-a）。

上記で選んだアミノ酸の分子が、マーカ上に出てくるため、ユーザはそれらをくっつけたり離したりしながら、ア

ミノ酸の構造を作り上げる（図 4-b）。



a) アミノ酸の選択



b) アミノ酸の作成

図 4 体験画面

操作方法としては、ユーザは、シナリオに表示されている足のマークに合わせ、該当する箇所のフットペダルを踏むと、次のシナリオに進むようにしている。フットペダルには、シナリオと同色の足のマークを表示している。

また、本研究はアミノ酸のことをほとんど知らない人を対象としているため、アミノ酸についての基礎知識や構造の基本情報を含んだスライドも提示する。以下その詳細を説明する。

3.2 システム内の情報提示

シナリオの開始前に、アミノ酸の概念を学習するためのスライドを提示した（図 5）。

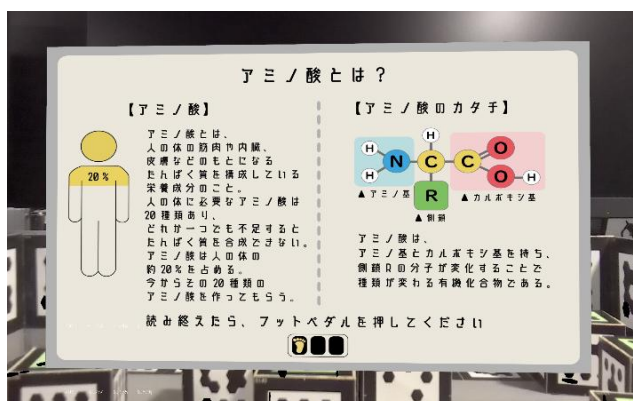


図 5 操作方法の提示

ここでは、アミノ酸とは何か、アミノ酸の基本的な形について学習することのできる情報を、図を用いて提示し、アミノ酸の構造を作り上げる前に必要な、アミノ酸の基礎情報を提示した。

また、各アミノ酸の名前・分子式・特徴・構造ヒントで構成したスライドを提示した（図 6）。これにより、アミノ酸の構造を全く知らないユーザでも、二次元構造のヒントを参考に、アミノ酸を三次元上に作り上げることができるように意図した。また、アミノ酸を作っていく過程で、アミノ酸が人間の体に必要な要素であることも実感してもらうために、各アミノ酸の特徴も提示した。さらに、化学の授業で学習する、酸性・中性・塩基性、疎水性・親水性といった情報も加え、構造ヒント中の対応する箇所に印をつけることで、化学を学習したことのあるユーザに対してもアプローチできる情報を取り入れた。

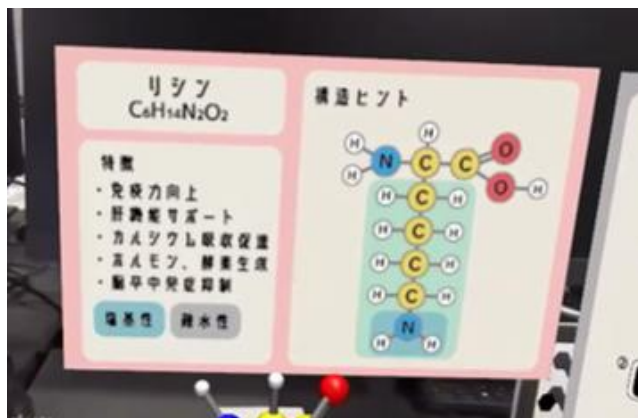


図6 操作方法の提示

さらに、ユーザが操作方法を確認できるスライドも提示した。ユーザが構造を作り上げた後に、作り上げた構造を多方面から観察することができるように、真ん中のマーカを手に取り、観察するよう促すスライドも加えた。

3.3 マーカ上の分子情報提示

ユーザが操作するキューブは平面で並べていくのに対し、結合する分子は立体的に出来上がっていく。そこで、分子ごとに結合することのできる位置を分かりやすくするために、マーカ上に分子の情報を提示した(図7)。マーカ上には、その分子の分子式と、三角のマークを提示した。この三角のマークは、分子同士を結合することのできる腕が存在する位置である。ユーザがマーカを回転させて分子同士を結合することも想定し、分子式はマーカが回転しても常にユーザの方に文字が向くように設定した。一方、三角のマークは、分子の腕の方向に合わせて配置しているため、マーカが回転すると、同じように回転するように設定した。この情報提示により、このシステムでアミノ酸の構造が出来上がる過程と、高校化学で構造式を書く過程が同じになるように工夫した。

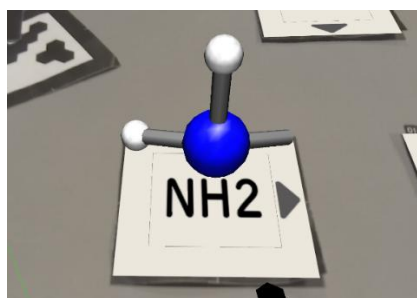


図7 分子情報提示

4. システム構成

本研究のシステムは、HMD、マーカ、フットペダル、モニターで構成されている(図8)。

このシステムでは、ユーザがHMDを装着することで、現実空間上に重なった、仮想空間上にあるアミノ酸の分子や情報提示したスライドを確認することができる。マーカは、ボード上に表示されているものと、キューブ状になっ

ているものの2種類存在する。前述したマーカは、HMDの位置と姿勢を計測し、システム全体の座標系を決めるために使用している。一方、後述したマーカは、仮想空間上にアミノ酸の分子を表示するのに用い、マーカの位置と回転、マーカ同士の距離を計測し、ユーザが結合する・分離する操作を行いたい分子を割り出している。ユーザの足元にあるフットペダルは、シナリオを次に進めたり、分子を結合したりする・分離する操作をするかどうかの判断をするためのものである。フットペダルについては、ボタンでの操作も考えたが、ユーザはマーカを操作する際に、常に手を使うことになるため、シナリオを進めたり、分子の操作の決定をしたり際には、足で操作する方が、操作性が高いと考え、フットペダルを採用した。さらに、HMDを被ったユーザ以外の人でも、HMD内の様子を観察することができるように、ユーザの前にはモニターを用意した。

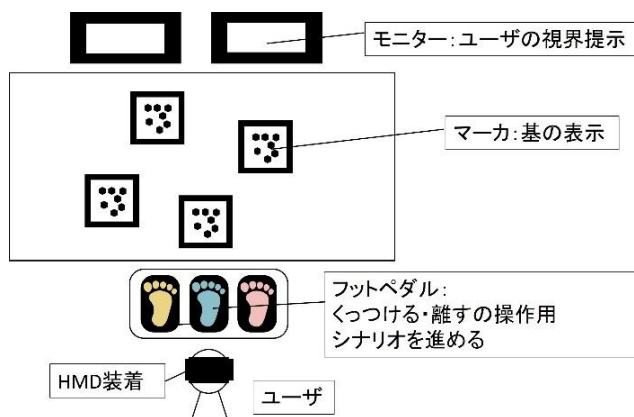


図8 システム構成

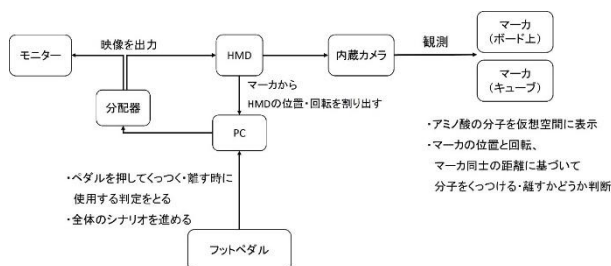


図9 機能ブロック図

5. 分子シミュレーション

5.1 分子モデル

本システムでは、アミノ酸を一定の分子に分けて(ほとんどは有機化学で学習する基に基づいたもの)、マーカ上に表示し、その分子を組み合わせることによって、ユーザがアミノ酸の立体構造を作り上げることができる。

本システムの分子モデルは、正四面体の構造に基づいて形成している(図10)。各腕の位置(arms)を、正四面体の座標に則って設定し、それぞれ分子モデルを生成している。

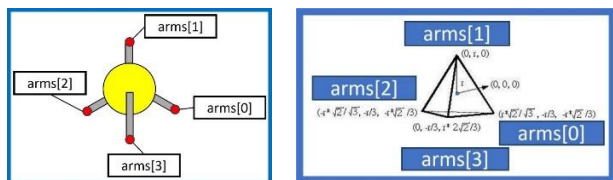


図 10 分子モデル (左) と対応している正四面体 (右)

5.2 分子を結合する

分子モデルの腕の位置(arms)とマーカの辺の位置(Edge)が紐づけているため、分子同士を結合する位置の確定は、マーカ同士の辺が向き合っている場所によって決まる (図 11)。

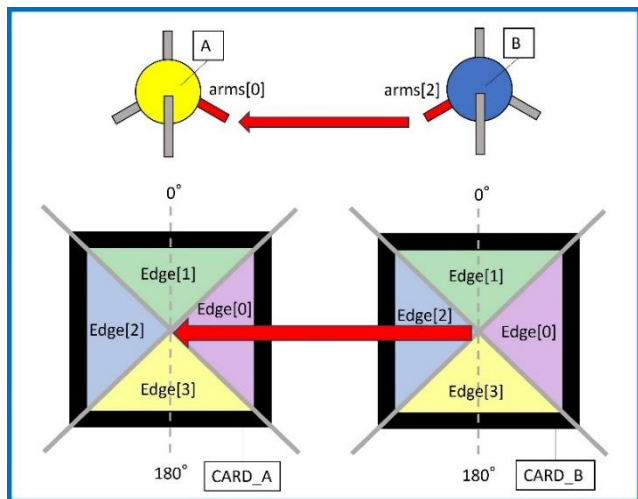


図 11 結合する位置の確定

分子同士を結合することができる位置は、原子が結合していない腕が存在し、その腕がまだどの分子の腕とも結合していない場合のみとしている。そのため、分子の中で原子が結合している腕の位置、分子がすでに他の分子と結合している腕の位置は、新たな分子が結合しないように制限を設けた。

位置が確定した分子は、分子同士を結合するシミュレーションを行う (図 12)。

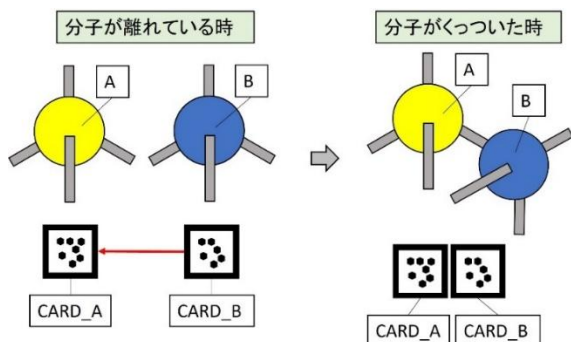


図 12 分子同士を結合するシミュレーションの概要

5.3 分子を分離する

分子を分離するシミュレーションを行う前に、分離するシミュレーションを行う分子のマーカを割り出す必要がある。そのため、本システムでは、分子を結合した時の位置 (ポジション 1) と、ユーザが分離したいと思う分子のマ

ーカを動かした時の位置 (ポジション 2) を測定し、その差分を取り、差分が 2cm 以上 (分離したい分子が無い場合、分離するシミュレーションを行わないため、一定の制限を設ける) のマーカを割り出すことで、分離するシミュレーションを行う分子のマーカを確定している (図 13)。

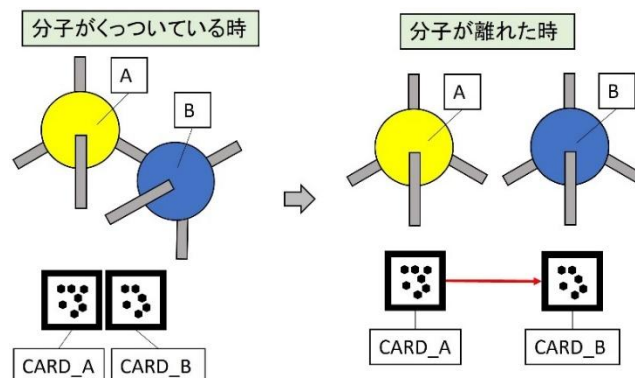


図 13 マーカと分子オブジェクトの関係

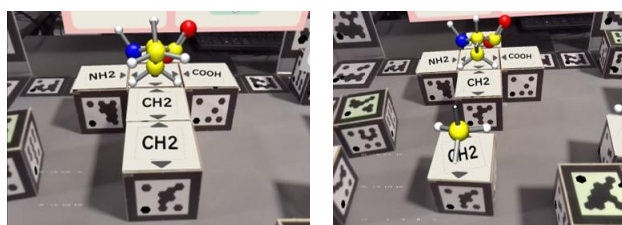


図 14 分離前(左)と分離後(右)

6. 評価実験

本研究は、MR を用いたアミノ酸学習教材の開発が目的である。したがって、この体験を通じて、①アミノ酸の理解度の向上、②立体構造の理解、③操作性、④デバイスの有効性の 4 点が達成されているかどうかを検証する必要がある。本実験は、SIGGRAPH Asia 2024 に参加した 10 代から 50 代の男女 41 人を対象に行った (図 15)。

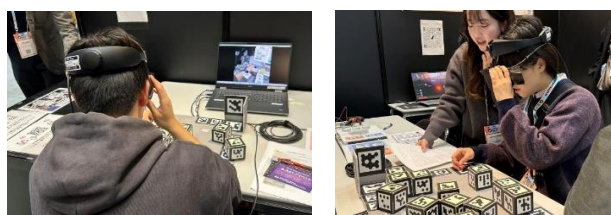


図 15 評価実験の様子

6.1 実験内容

評価実験は、以下のような手順で行った。

1) 本研究の概要と操作方法を、ポスターを使用しながら、口頭で説明する。

SIGGRAPH Asia 2024 内で評価実験を行ったため、ポスター自体は英語であるが、口頭での説明は、被験者に合わせて、日本語または英語で行った。

2) 本システムを体験してもらう。

本システムは、SIGGRAPH Asia 2024 でのデモ展示に向けて、英語のスライドも導入し、被験者に合わせて、日本語・

英語を選択してもらう形で体験してもらった。

3) アンケートに回答してもらう。

アンケートでは、被験者が体験前にアミノ酸についてどの程度知っているかを調査し、体験を経てどの程度アミノ酸の理解が深まったのかを確認した。また、被験者がどの程度アミノ酸の立体構造を理解できたのかどうかと、システム内の操作性やデバイスの効果についても確認し、このアンケートを通して、本研究がアミノ酸学習教材として有効であるかどうかを検証した。

6.2 実験結果

アンケートの主な結果は以下の通りであった（図 16）。なお、アンケートの最後には、任意回答で、自由に意見や感想を記述してもらった。

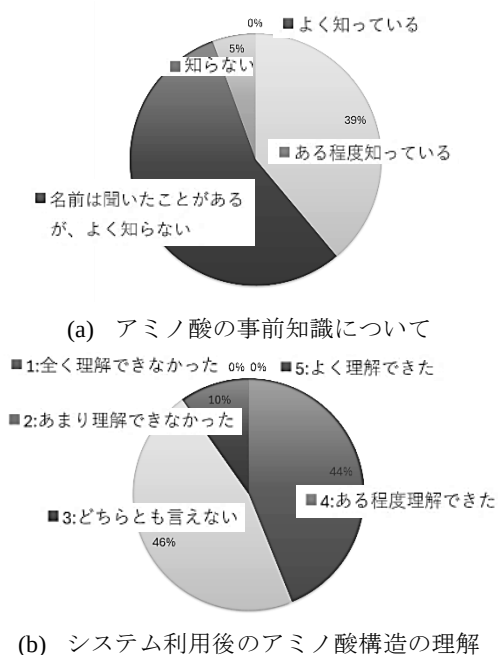


図 16 実験結果

7. 考察

本章では、本研究の目的に沿って、①アミノ酸の理解度の向上、②立体構造の理解、③操作性、④デバイスの有効性の4点が達成されているかどうかを考察する。

①アミノ酸の理解度の向上

本システムの体験前と体験後のアミノ酸の理解度を比較するため、アンケートの前半では、アミノ酸・必須アミノ酸・非必須アミノ酸についてそれぞれ知っているか、学習したことがあるかどうかについて調査を行った。その結果、3~4割の被験者は、それぞれのアミノ酸について学習したことがあったり、ある程度知っていたりしたが、約6割の被験者は名前は聞いたことがあるが、よく知らない、または、知らないといった結果になった。このことから、アミノ酸は名前自体は浸透しているが、アミノ酸の実態を知っている人は少ないと言える。一方、本システムの体験後の「アミノ酸についての理解は深まりましたか？」という質

問では、9割以上の被験者から、とても深まった、または、ある程度深まったという回答を得ることができ、本システムを通して、ユーザのアミノ酸の理解度を向上することができたと言える。

②立体構造の理解

アンケートの結果、アミノ酸が結合する様子に関しては、9割以上の被験者が、よくわかった、または、ある程度わかったと回答しており、アミノ酸が分離する様子に関しては、8割以上の被験者が、よくわかった、または、ある程度わかったと回答している。また、9割の被験者が、アミノ酸の構造をよく理解できた、または、ある程度理解できたと回答しており、本システムがアミノ酸の構造の理解の向上に役立ったと言える。しかし、被験者によっては、構造式に馴染みがあり、アミノ酸の分子を結合する操作のみで完璧に作り上げることができ、分子を分離するフェーズを行わなかった被験者も見受けられた。また、分子の結合の仕方や分離の仕方がわからず、体験の最初の方に戸惑う被験者も見受けられた。そのため、チュートリアルのようなフェーズを設け、ユーザが分子を結合するフェーズと分離するフェーズを確実にこなせるような仕組みが必要であると考える。

③操作性

本システムでは、ユーザの操作は、マーカーとフットペダルによって行った。アンケートの結果、約9割の被験者が、スライドまたは口頭の説明で、操作することができているため、操作はわかりやすいものであったと言える。また、スライドでフットペダルを押す位置を提示していたり、分子を結合する・分離する操作に関しては、スライド内にマーカーのイラストとともに、操作方法を提示していたりしたため、ユーザ自身で操作を進めることができたと考える。さらに、9割以上の被験者が、アミノ酸を結合する位置がわかりやすかった、または、ある程度わかりやすかったと回答しており、アミノ酸を結合する操作においても、操作はわかりやすいものであったと言える。これは、分子のマーカーの上に、分子の名前と結合することができる位置を三角のマークで表示していたことが、操作性の向上に繋がったと考える。

④デバイスの有効性

本システムでは、MREALを用いて、現実空間のマーカーに、仮想空間の分子を重ね、シームレスに体験を行うことのできる形を実現した。その結果、被験者全員が立体感を感じることができたと回答した。映像の見やすさにおいても、約7割の被験者がとても見やすかった、または、ある程度見やすかったと回答している。現実には存在するマーカーを自分の手で動かしながら、同一画面内で仮想空間の分子の構造を確認することができることは、VRやARでは体験できない、このデバイスならではの体験であり、このデバイスが本システムにおいて、有効であったと考えられる。

以上の考察から、部分的な改善は必要なものの、本システムを通して、①アミノ酸の理解度の向上、②立体構造の理解、③操作性、④デバイスの有効性の4点が達成されていると言える。

8. むすび

本研究では、MRを用い、アミノ酸の立体構造を中心に学ぶことのできる、アミノ酸学習教材の開発を行った。その結果、①アミノ酸の理解度の向上、②立体構造の理解、③操作性、④デバイスの有効性の4つの観点において、どの観点も一定数の肯定意見を得ることができた。そのため、本研究の目的である、「アミノ酸の構造を作り上げる過程を通して、有機化学の領域を超えた、生命・人にとっても重要なアミノ酸を扱い、学習と日常生活に関連性を持たせ、難しいテーマを楽しく学ぶこと」を達成できたと言える。

また、高校化学の有機分野を学習する中で課題とされていた、教科書では二次元の構造しか学ぶことができなかったり、ひたすら構造を暗記で覚えたりする部分に関しても、本システムでは、分子構造を三次元で作成し、多面体から観察することができるため、新たな観点から学習することができ、課題の改善に繋げることができる。さらに、模型で実現の難しい、複雑かつ複数の構造への対応に関しても、本システムでは、プログラム内で自由にマーカ上に表示する分子を変えられることができるため、簡単に構造を組み替えることが可能である。と考える。

一方で、本システムのアミノ酸の分子シミュレーション部分や、操作性の部分においては、改善が必要である。特に、シミュレーション部分に関しては、シミュレーションの構成上、ユーザに対して、意図的に操作するマーカを定めたり、マーカを置く場所を定めたり必要がある。今後の展望としては、以下の2点が挙げられる。

1点目は、第8章の考察の改善としても挙げた通り、アミノ酸の構造を作る過程の改善である。まずは、立体構造を作る過程において、チュートリアルを設け、中心となるマーカの位置や作り始めのマーカを固定する必要がある。また、この改善によって、分離するシミュレーションに対する問題も解決できると考える。その他、被験者から「奥側のマーカが手前に重なって見にくい」、「主鎖を先に結合してから、側鎖を結合していく方が、重なって奥側が見にくくなることや、結合する順序がわからなくなることが改善されるのではないか」といった意見もあった。そのため、前述したチュートリアルを主鎖部分に適用させることで、主鎖から作成し、奥側のマーカが見にくくなるのが改善されるのではないかと考えている。

2点目は、本システム自体の汎用性を高めるための実装の検討である。評価実験の際に、被験者から、「ユーザ側がマーカ上に出したい分子を選択でき、それらの分子を用いてユーザが立体構造を作ることができる形にすると、さら

に分子を自由に組み合わせて構造を作ることができ、授業内で先生が分子の立体構造を教えた際などにも、本システムを活用でき、汎用性が高まるのではないかと」いう意見があった。現状のシステムでは、プログラム側でアミノ酸に合わせて、マーカ上に表示する分子を決めているが、それをプログラム側で決めずに、構造に必要な分子からユーザ自身が選択できる形にすると、さらに自由度が高まり、アミノ酸に限らず様々な分子構造に対応することができる可能性がある。

謝辞

本研究においてお力添えいただいた大島研究室の皆様、実験に参加していただいた皆様にも深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 大島登志一『3D映像制作のための基礎からわかるMR（複合現実）～リアルとバーチャルの融合技術～（エンジニア入門シリーズ123）』科学情報出版社、2024
- [2] 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成30年告示）
- [3] Ren Sakamoto, Toshikazu Ohshima : Code Weaver: A Tangible Programming Learning Tool with Mixed Reality Interface, SIGGRAPH Asia 2019 Posters, Article No.: 11, pp.1-2, 2019
- [4] 隅田竜矢, 岡本勝, 松原行宏 : 拡張現実型仮想環境での設問提示を伴う無機化学学習支援システム, 教育システム情報学会全国大会, pp.107-108, 2013
- [5] Kai Nishimoto, Toshikazu Ohshima : HoloBurner: Mixed Reality Equipment for Learning Flame Color Reaction by using Aerial Emerging Display, SIGGRAPH Asia 2021 Emerging Technologies, Article No.: 7, pp.1-2, 2021
- [6] 有機分子模型組立セット・学生向け : <<https://www.3bs.jp/molecule/organic-izorganic/>> (2024年12月11日参照)
- [7] 有機大富豪 : <https://explayin-boardgame.com/organic_president/> (2024年12月11日参照)
- [8] ケミストリークエスト新装版 : <<https://chemistryquest.com/>> (2024年12月11日参照)