G-21

有機化学反応の流れを学ぶカード型学習教材の Web 化と評価

Web-Based Implementation and Evaluation of Game-Based Organic Chemistry Learning Materials

○佐井郁心[1]，五味悠一郎[2]
*Sai Ikumi[1]，Yuichiro Gomi[2]

Abstract : This study developed a web version of the card game “Connect Synthesis” aimed at promoting organic chemistry learning and evaluated its learning effectiveness through subject experiments. The results showed that while convenience and rule comprehension received high ratings, learning effects related to recalling chemical substance names and understanding reaction sequences were low. This is primarily attributed to UI/UX issues such as insufficient readability, over-reliance on color information, and weak contextual presentation. Future redesigns are necessary to address these issues.

１．はじめに

有機化学は元素周期表や官能基や反応名など暗記負荷が大きい分野である．阿部らは有機化学を楽しく学ぶ方法を模索し，ゲーム性を取り入れた教材「コネクト・シンセシス」を開発した[1]．その後，高校生向け教材として反応式を精選し改良を重ね，色を取り入れることで幅広い年齢層が遊べる形となった[2]．教育心理学の専門家によるアンケート設計や応用情報学の専門家による開発協力を得ることで，教材の教育効果を高める取り組みが進められている[3]．本研究では，「コネクト・シンセシス」を Web 化し学習教材と連動させることで，有機化学学習をより効率的かつ主体的に行える環境を設計し，その有効性を評価する．

２．目的

教育用 Web アプリゲームを制作し，ゲームの認知度向上および被験者のフィードバック収集を行うことで，学習内容に沿う形で使用されている教科書や教材と連携したゲームを遊べる環境づくりを目的とする．

３．目標

「コネクト・シンセシス」の Web ゲーム（以下，Web ゲーム）プログラムを制作し，被験者にプレイしてもらいアンケートで Web ゲームを評価してもらうことで，ゲームの課題を明らかにする．

Web ゲームは教育現場での利用を想定し，PC およびタブレット端末向けに実装する．

４．実装方法と主要機能

HTML5 Canvas と JavaScript による単一 HTML 構成とし，カード画像（PNG）を 2D コンテキストで描画した．PC ブラウザ（Chrome / Edge）で即時起動でき，インストールを不要とすることで手軽さを確保した．Web ゲームのシステム構成と基本仕様を以下に示す．

４.１．システム構成

- 構成要素: UI は盤面・手札・山札残数・ターン・メッセージで構成する．
- データ管理: 使用するカードは，化学反応の流れを示す反応カード 19 枚，分子構造を示す官能基カード 5 枚，任意の結合を可能にする万能カード 1 枚である．反応カードと官能基カードおよび万能カードは配列で管理する．山札・手札・盤面の状態・ターン・終了判定は変数群で制御する．

４.２．基本仕様

- 手札管理: 画面制約に対応して手札上限を 8 枚に設定した．官能基カードは一方向配置に限定する．
- 描画: カードは色帯が見えるよう重ねて描画する．
- 操作補助: 手札選択時は配置可能位置を青丸で可視化する．配置不可能な場合はドローとなり，手札上限または山札が枯渇した場合はパスとする．
- CPU ロジック: CPU は全手候補から確率的に 1 手を選択する．
- 勝敗判定: 双方が連続してパスした場合，あるいは山札が枯渇してプレイヤー双方が手札を出せなくなった場合に game_over() を呼び出し，残り手札枚数で勝敗を判定する．
- ゲームの流れ: Figure1 にゲームの流れを記載する．

１：日大理工・学部・情報 ２：日大理工・教員・情報

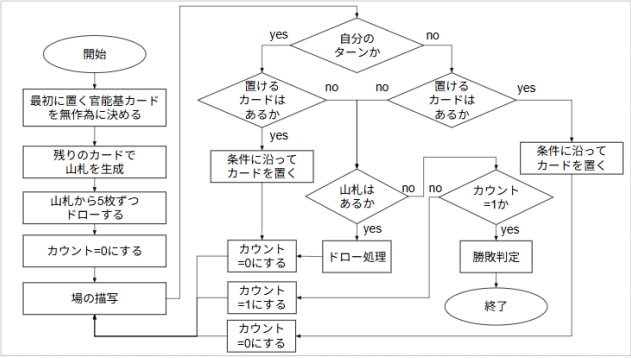

Figure 1.　Game Flowchart

５．実験方法

化学学習用 Web ゲーム「コネクト・シンセシス」を対象に被験者実験を行った．被験者は理系学部に所属する大学生 7 名とした．被験者にはゲームをプレイしてもらった上でアンケートに回答していただいた．アンケートはゲームの手軽さ・ルール理解・化学物質名の学習・化学反応過程の学習の 4 項目について「はい=5，いいえ=1」とする 5 件法で構成した．各項目には自由記述欄を設け，独立した自由記述欄も追加した．

６．結果と考察

記述統計の結果を Table 1 に示す．手軽さは 4.28±0.88，ルール理解は 4.71±0.45 と高評価であった．一方，化学物質名の学習は 2.28±1.03 と低く，化学反応過程の学習は 3.14±1.36 と中程度にとどまった．

Table 1.　Survey Results

質問番号	質問事項	平均値	標準偏差
1	このゲームを手軽に遊べたか？	4.28	0.88
2	このゲームのルールは理解できたか？	4.71	0.45
3	このゲームを通して化学物質の名前を覚えたと思えるか？	2.28	1.03
4	このゲームを通して化学反応の順序を覚えたと思えるか？	3.14	1.36

自由記述を分析した結果．評価が低かった化学物質名の学習と化学反応過程の学習の阻害要因が明確になった．被験者からは，カードの重なりによる視認性の低さと文字の小ささおよび反転表記の読みづらさが指摘された．色が配置判断の主要な手掛かりとなる設計であったため，文字情報や反応式に意識が向きにくい構造になっていた．視認性の低さ・文字の小ささ・反転表記の読みづらさ・色依存の設計を含む構造が物質名の想起を妨げ，学習効果の低評価に直結していると考えられる．一方，ブラウザ起動の手軽さと基本操作の容易さは肯定的に評価され，この結果は記述統計における手軽さおよびルール理解の平均値の高さと一致した．しかし，勝敗表示や場の状態提示が不明確な点と反応系列の文脈提示の不足が，化学反応の流れに対する理解の伸び悩みを招いたと考えられる．PC およびタブレット端末向けに実装したが，被験者からはモバイル端末での不具合が報告された．このことから，現状の実装が PC 環境に強く依存しており，他端末への対応は不十分であることが明らかになった．総じて，本実装は導入には有効だが，名称想起と系列理解を支える UI 設計および難易度設定が未成熟であり，タイポグラフィ・レイアウト・文脈提示・端末適合の観点から早急な再設計が必要であると考えられる．

７．まとめと今後の課題

本研究では，化学学習用 Web ゲーム「コネクト・シンセシス」を開発し，理系大学生 7 名を対象とした被験者実験を実施した．アンケート結果から，ブラウザ起動の手軽さとルール理解度の高さが利点として確認された．一方，学習効果に関しては，文字の可読性不足と色依存の配置設計および反応系列提示の不足が阻害要因として明らかになった．PC およびタブレット端末向けに実装したが，被験者からはモバイル端末での不具合を報告された．このことから，現状の実装が PC 環境に強く依存しており，他端末への対応が不十分であることが明らかになった．

今後の改良方針として，UI/UX 面ではフォントサイズ・レイアウトの最適化と反応経路の可視化および明確な勝敗提示の実装が有効と考えられる．学習効果の強化では，色による手掛かりを段階的に減少させ，テキスト参照を必須化することで，名称想起と概念理解を促進できると考えられる．実装面ではレスポンシブ設計によるモバイル対応を確保することが有効と考えられる．

謝辞

本研究にご協力いただいた林鶴洋様に感謝申し上げます．

８．参考文献

[1] S. C.　M.　K. Schuman, “A Simple Card Game To Teach Synthesis in Organic Chemistry Courses, ” Journal of Chemical Education , Vol. ~93(2016), pp. ~695--698.

[2] 阿部里奈，伊藤賢一，栗村健吾，　松浦帆夏，　渡部佳太．[学会発表] 有機化学や無機化学が学べる化学系教材ゲームの開発．日本理科教育学会第 69 回 全国大会，　2019 年

[3] 阿部里奈，伊藤賢一．[学会発表] ゲーム性を有する化学系学習教材の開発．　日本理科教育学会第 69 回 全国大会，　2019 年