

PPDAC サイクルオントロジーに基づく「総合的な探究の時間」 の指導計画作成補助システムの試作

Prototyping of the Instructional Planning Support System for “Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study” Based on the PPDAC Cycle Ontology

* 堀之内逸人¹ 林宏樹² 笹嶋宗彦¹
Hayato Horinouchi¹ Hiroki Hayashi² Munehiko Sasajima¹

¹ 兵庫県立大学

¹ University of Hyogo

² 雲雀丘学園中学校・高等学校

² HibarigaokaGakuen Junior&High School

Abstract: One challenge in teaching Period for Inquiry-Based Cross-Disciplinary Study (hereafter referred to as “inquiry-based learning”) is the difficulty experienced by teachers with limited experience in this area when creating lesson plans. In this study, we developed a prototype system to assist inexperienced teachers in creating instructional plans for inquiry-based learning, referencing the PPDAC cycle ontology as a guidance model for inquiry-based learning. This system is an instructional planning support system that outputs the proposed instructional plan and Examples of learning content generated by AI, based on the input of total class hours and scope of instruction, research themes.

1 はじめに

日本の高等学校では、2022 年度から平成 30 年告示高等学校学習指導要領 [1]（以下、「新学習指導要領」）が年次進行で実施が始まった。新学習指導要領において、「総合的な探究の時間」は「総合的な学習の時間」から名称を変更し、全ての生徒が履修する授業となった。総合的な探究の時間は、探究学習を行う授業である。

総合的な探究の時間の課題としては、専門的な教員免許が存在せず、他教科の教員免許を持った教員が授業を担当しており、文部科学省検定済教科書もないことが挙げられる。この点について稲永 [2] は、探究学習の指導には十分な学術経験が必要であり、修士レベルの学術経験がないと苦慮すると指摘している。文部科学省の調査よれば、現役の公立高等学校教員の学歴構成は、大学院修了者の割合が 16.5 %である [3]。このことから、多くの高等学校教員にとって探究学習の指導には難しさがあると想像できる。

以上の背景から、多くの教員は総合的な探究の時間に対して負担と不安を抱えていると考えられる。高等学校理科教員を対象にした調査によると、探究活動を

導入する上での課題として、探究活動を計画するために多くの時間が必要であることを 9 割以上の教員が挙げたと報告されている [4]。さらに、他の調査では、探究学習の指導に対して、探究の過程への指導方法の難しさや指導計画の作成の難しさに不安を抱える教員が多いと報告されている [5][6]。これらのことから、探究学習を担当する教員、特に探究学習の指導経験が浅い教員にとって、指導内容や指導計画を立てることは困難であると考えられる。これら教員の支援をするための枠組みが必要である。

本研究では、指導経験の浅い教員が総合的な探究の時間の指導計画を作成することを補助するシステムの実現を目標として、探究学習の指導モデルオントロジーを参照して指導計画案を作成するシステムの試作を行った。本システムは、授業時間数と授業範囲、探究テーマを入力すると、指導計画案と生成 AI が作成した学習内容の事例を出力する、指導計画作成補助システムである。本システムが参照する探究学習の指導モデルとして、PPDAC サイクルオントロジー [7] を採用し、先行研究で林らが作成した PPDAC サイクルオントロジーに指導計画案の作成に必要な知識を追加した。オントロジーを用いることで、暗黙的な探究学習の指導の流れや生徒の学習状態、学習内容といった情報を提示できる。指導計画案は、PPDAC サイクルオントロジーに

*連絡先：兵庫県立大学社会情報科学部社会情報科学科
〒 651-2197 兵庫県神戸市西区学園西町 8 丁目 2-1
E-mail: ad25p065@guh.u-hyogo.ac.jp

定義されている指導の流れに基づき、学習内容や指導内容、推定された時間配分を要素として構成された表形式で出力される。本システムを用いることで、指導経験の浅い教員が指導計画を作成することに関する負担の軽減に期待できると考えている。

提案するシステムの利点としては、出力する指導計画案は指導モデルオントロジーに沿うものであり、既存の指導モデルの知識について議論を行い変更が生じた場合は、オントロジーの編集を行うだけでよく、インタフェース部プログラムのアルゴリズムを変える必要が無いことが挙げられる。

2 PPDAC サイクルオントロジー

本研究では、探究学習の指導モデルとして PPDAC サイクルオントロジー [7] を用いることにした。

オントロジーとは、対象の現実世界に関する概念とそれらの関係性について記述したものである。オントロジーは、共通語彙の提供や暗黙情報の明示化、知識の体系化といった機能を持っており、知識の共有や再利用性を向上することができる [8][9]。

PPDAC サイクルオントロジーとは、問題解決プロセスである PPDAC サイクルを活用した探究学習の指導方法をモデル化したものである [7]。日本の高等学校における探究学習の問題解決プロセスに関する知識を体系化し、体系化した知識を PPDAC サイクルに基づいて構造化している。PPDAC サイクルとは、Problem (問題)、Plan (計画)、Data (データ)、Analysis (分析)、Conclusion (結論) の 5 つのフェーズから構成される、データを利用した問題解決の手法である。

PPDAC サイクルオントロジーには、生徒の探究学習の学習状態を表現するための知識を体系化した部分（以下、「学習状態体系化部分」と学習状態体系化部分で定義した学習状態と状態間の関係についての知識を PPDAC サイクルへ構造化した部分（以下、「PPDAC 構造化部分」）がある。学習状態体系化部分には、学習状態と、状態間の移行の仕方と、移行の条件が定義されている。PPDAC 構造化部分では、学習状態体系化部分を構成する概念定義を PPDAC サイクルに構造化することで、問題解決プロセスと生徒の学習状態の移行の仕方の関係が明確化されている。PPDAC サイクルオントロジーは、研究の仕方についての専門家であるベテランの高校教員と大学教員から、探究学習の手順を明示化出来ていると、一定の評価を受けている [7]。このことから、本研究では PPDAC サイクルオントロジーを指導モデルとして採用した。

3 オントロジーの追加構築

林らが構築した PPDAC サイクルオントロジーに、指導計画案の作成に必要な知識を追加構築した。

本システムが出力する指導計画案は、「フェーズ名」、「学習内容」、「学習内容説明」、「学習手法」、「時数」の 5 つの要素で構成される。指導計画案の各構成要素は PPDAC サイクルオントロジーから情報を取得する。「フェーズ名」は PPDAC サイクルの各フェーズ、「学習内容」は、生徒が行う学習の内容である。生徒の学習状態の変化を学習とすると、状態の移行の条件を学習すべき項目と捉え、プロパティに設定している内容が指導計画案における「学習内容」にあたると考えた。

「学習内容説明」、「学習手法」、「時数」は、既存の PPDAC サイクルオントロジーには定義されていないため、新たに知識を追加した。追加構築したオントロジーは、オントロジー構築・利用環境の「法造」上で実装した [10]。追加構築した PPDAC サイクルオントロジーの学習状態体系化部分の一部を図 1、PPDAC 構造化部分の一部を図 2 に示す。

「学習内容説明」とは、ユーザが理解できるように学習内容を解釈した説明文である。学習内容は、要約された文言になっておりこのままでは理解が難しいため、学習内容にあたるプロパティを設定した経緯をたどり説明文を作成した。例として、学習内容「予想した解の有無」は、学習内容説明を「今回の探究学習において明らかにさせたいこと（問いに対して予想した解）は何かを考え、仮説とする。」とした。同様に、学習内容にあたるすべてのプロパティにおいて説明文を作成し、法造の定義ペインの内容説明欄に記述した。

「学習手法」とは、学習内容に取り組むための手法の例を示したものである。学習内容をさらに具体化させる目的で追加した。文部科学省が発表している「今、求められる力を高める総合的な探究の時間の展開」[11]、探究学習の事例が紹介されている書籍「『探究』学習図鑑」[12]、情報 I の教科書 [13] [14] [15] [16] に掲載されている事例を該当する学習内容に当てはめた。また、一部に「発散的思考」「収束的思考」といった思考手法の分類を導入した。例として、学習内容「理想状態調査」には、学習手法「資料を比較する」、「グラフを読み解く」、「発散的思考」、「収束的思考」とした。学習内容のスロットとしてオントロジーに記述した。

「時数」とは、指導計画案において各学習内容を実施するために必要と見積もられる時間を数値で表したものである。PPDAC サイクルオントロジーには、フェーズごとに時間配分を定義した。時数推定のため、神奈川県立多摩高等学校の学校設定教科「Meraki」の年間指導計画 [17] から PPDAC サイクルの各フェーズの時数を調査した。各フェーズの時間配分を推定した結果、(Problem:Plan:Data:Analysis:Conclusion) = (15.45:

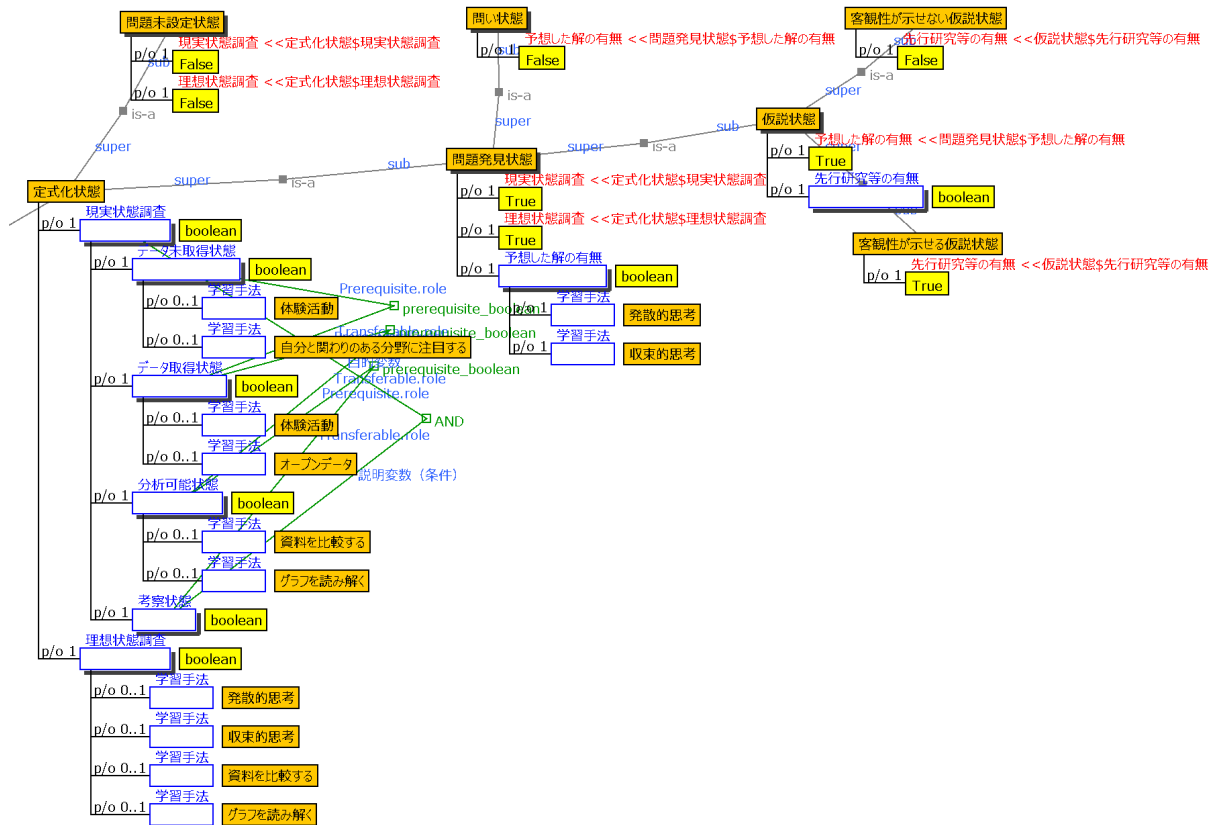


図 1: 学習状態体系化部分の一部

2.95 : 3.4 : 4.95 : 5.75) (単位は単位時間) となった。時間配分は、オントロジーの PPDAC 構造化部分における各「フェーズ」概念のスロットとして追加構築した。

4 システムの設計と試作

本章では、システムの概要と試作したシステムの動作例を示す。

4.1 システム概要

図 3 に本研究で提案するシステムの概要図を示す。

本システムは、授業時間数と授業範囲、探究テーマを入力すると、指導計画案と生成 AI が作成した学習内容の事例を出力する、探究学習の指導計画作成補助システムである。想定するユーザは、探究学習の指導経験が浅い教員である。システムが出力する情報は、指導モデルが定義された PPDAC サイクルオントロジーに基づくものである。オントロジー解析機能において、オントロジーを XML ファイルの形式で読み込み、解析を行い、指導の流れや指導内容といった情報を取得する。指導計画案作成機能では、オントロジーから取得した情報を基に時間配分を計算し、指導計画案を作成する。探究テーマが入力された場合は、生成 AI が探

究テーマに即した学習内容の事例を作成する。出力機能によって、ユーザに作成された指導計画案と学習内容の事例を提示する。

4.2 システムの動作例

本システムは、WEB アプリケーションとして開発試作を行った。開発言語は、Python, HTML / CSS, JavaScript である。WEB アプリケーション作成のため、Python のフレームワークの Flask を用いた。

4.2.1 オントロジー解析機能

システムを起動すると、オントロジー解析機能が実行される。オントロジー解析機能では、参照する指導モデルオントロジーである PPDAC サイクルオントロジーを XML ファイルで読み込み、解析する。まず、PPDAC 構造化部分から各フェーズに対して初期状態、中間状態、終了状態の順番に学習状態を取得する。これらの学習状態が、PPDAC サイクルにおいて移行すべき学習状態にあたる。次に、取得した学習状態を学習状態体系化部分と照合し、該当する学習状態のプロパティが boolean または False の場合に、学習内容と学習内容説明、学習手法を取得する。学習状態を取得した順番で、学習状態と学習内容に付随する情報を表形式にする。後

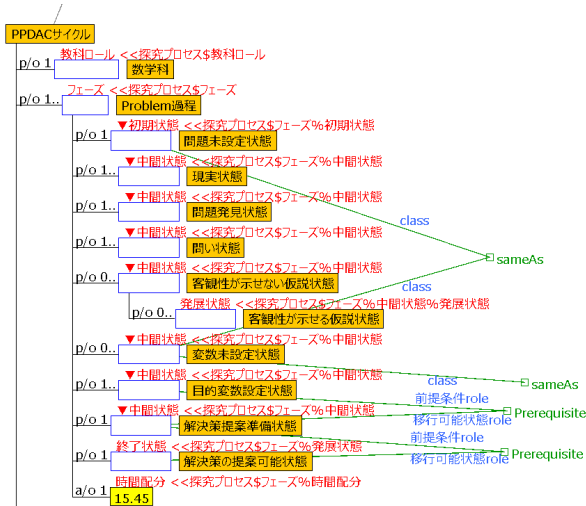


図 2: PPDAC 構造化部分の一部

図 4: システム入力画面の例

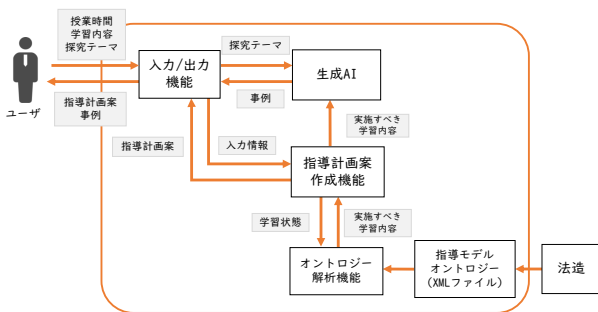


図 3: システム概要図

の機能でオントロジーに基づく必要がある場合は、この機能で解析された情報を利用する。

4.2.2 システム入力画面

図 4 に入力画面を示す。入力画面はシステム起動時に表示される。授業時間数と授業範囲、探究テーマを入力する画面である。授業時間数欄には、探究学習に充てる単位時間数を数値で入力する。授業範囲の入力欄は、指導計画を立てようとする探究学習の段階に対応する、PPDAC サイクルのフェーズをチェックボックスにて入力する形式である。探究テーマ欄は、探究学習の学習内容に即した学習活動を教員が具体的に検討するための事例を確認することを目的とする場合に入力する。入力が完了したら、「次へ」ボタンを押すと入力情報を基に指導計画案が作成される。

4.2.3 指導計画案作成機能

システムへの入力後、指導計画案作成機能が実行される。まず、オントロジー解析機能で作成された表から授業範囲に該当するフェーズ部分を抽出する。次に、

入力された授業時間数に対し、オントロジーに定義されている時間配分に基づいて学習内容ごとの時数を推定する。時数推定後、「フェーズ名」、「学習内容」、「学習内容説明」、「学習手法」、「時数」の 5 つの要素で構成される指導計画案を作成する。

4.2.4 指導計画案出力画面

図 5 に指導計画案出力画面を示す。画面上部には、各フェーズの時間配分の目安と各フェーズ内の学習内容の数を表示する。各フェーズ内の学習内容の数を示すことで、例として「課題発見」フェーズにおいてどの程度の取り組みが必要とされるかを確認することができる。画面中央には、作成された指導計画案を表示する。指導計画案は、表部分をスクロールすることで下まで閲覧することができる。この指導計画案によって、ユーザは探究学習の全体の指導の流れを確認することができる。

指導計画案の任意の行を選択すると、その行の学習内容についての情報を提示する詳細情報出力画面に遷移する。

4.2.5 詳細情報出力画面

図 6 に詳細情報出力画面を示す。詳細情報出力画面では、システムが提案した指導内容がユーザにとって分かりにくい場合と、探究学習が通常より早く進んで発展的な学習も可能になった場合のために作成した。指導計画案出力画面で、上のいずれかの理由により、ユーザが指導計画案の任意の行を選択した場合に遷移する。詳細情報出力画面では、選択された行の学習内容についての情報を表示する。学習内容についての情報は、指導計画案の要素を基にした情報である。また、選択された学習状態の発展状態がオントロジーのプロパティに設定されている場合、発展状態へ移行するための学

指導計画案

各フェーズの時間配分目安（単位時間）

各フェーズ内の学習内容の数

• Problem過程：16.6

• Plan過程：3.2

• Data過程：3.7

• Analysis過程：5.3

• Conclusion過程：6.2

• Problem過程：9個

• Plan過程：4個

• Data過程：1個

• Analysis過程：2個

• Conclusion過程：2個

[事例を見る（AI作成）](#)

phase	学習内容（ロール名）	学習内容説明	学習手法	時数
0	Problem過程 データ未取得状態	対象のテーマの現実状態に関するデータが未取得な状態。	フィールドワーク・現地調査 / 自分と関わりのある分野に注目する	1.85
1	Problem過程 データ取得状態	対象のテーマの現実状態に関するデータを取得した状態。	フィールドワーク・現地調査 / オープンデータを活用	1.85
2	Problem過程 分析可能状態	対象のテーマの現実状態に関するデータの分析が可能な状態。可視化、数値化、モデル化のいずれかがなされている。	資料を比較する / グラフを読み解く	1.85
3	Problem過程 考察状態	対象のテーマの現実状態に関する分析結果から考えたことを記載した状態。	-	1.85
4	Problem過程 理想状態調査	設定したテーマの理想の状態を調査し、現実状態とのギャップ（問い）を考える。	資料を比較する / グラフを読み解く / 発散的思考 / 収束的思考 / 対象へのあこがれ	1.85
5	Problem過程 予想した解の有無	今回の探究学習において明らかにさせたいこと（問いに対して予想した解）は何かを考え、仮説とする。	発散的思考 / 収束的思考	1.85
6	Problem過程 次に発展状態[客観性させる仮説状態]があります。	次の状態に進むか、発展状態への学習内容に取り組んでください。	-	-
7	Problem過程 目的変数設定	仮説に対して、達成したいことを示す情報（目的変数）を発	発散的思考 / 収束的思考 / 特性要因図	1.85

図 5: 指導計画案出力画面の例

【詳細情報】	
学習内容： 目的変数設定	
学習内容説明： 仮説に対して、達成したいことを示す情報（目的変数）を発見する。	
フェーズ： Problem過程	
学習手法：	
• 発散的思考 <ul style="list-style-type: none">ブレインストーミングブレインライティングウェビングマインドマップ	
• 収束的思考 <ul style="list-style-type: none">KJ法図解を簡略化するロジックツリー魚骨図マトリックス図	
• 特性要因図	
学習内容の時間配分目安（時数）：1.9（単位時間）	
Problem過程全体の時間配分目安は、16.6（単位時間）。	
入力した授業時間数：35（単位時間）	
指導計画案に戻る	

図 6: 詳細情報出力画面の例

習内容についての情報を表示する。さらに、学習手法のリンクをクリックするとその手法の説明を表示するページに遷移する。

4.2.6 生成 AI による事例作成

本システムには、学習内容を具体化する事例を生成 AI により自動生成する機能を備えた。本機能は入力画面で探究テーマが入力された場合に実行される。オントロジーに定義された学習内容に関する文言は一般的な表現であるため、指導経験が浅い教員にとっては理解がしにくい可能性がある。そのため、一般的な学習

内容の理解促進を目的として、生成 AI を活用して学習内容の具体的な事例を提示する。生成 AI にはプロンプトとして、オントロジーに定義されている学習内容説明と学習手法に加え、ユーザが入力した探究テーマを与える。生成 AI は、探究テーマに即した学習内容の具体的な事例と学習内容に取り組むための手法を用いた活動の事例を生成する。生成された事例は、図 7 に示すように事例出力画面に出力する。なお、ここで生成される事例はあくまでも学習内容の理解の補助のための参考情報であり、必ずしも出力された事例通りに授業を進めるべきものではない。

本システムの試作において、現時点では Groq 社が提供する API を通じて、OpenAI 社が公開している大規模言語モデル「GPT-OSS-120B」を用いた。

4.3 指導助言への利用

本システムは、教員が生徒の学習状態の適切な把握と適切な指導助言を行うことを補助する目的とした機能への利用も可能であると考えている。具体的には、学習状況を入力すると現在の学習状態と次に取り組むべき学習内容を出力する機能である。入力において、現在の学習状態に当てはまるフェーズを選択した後、該当のフェーズにおいて取り組むべき学習内容が列挙される。さらにユーザは列挙された学習内容の中から達成していると判断した学習内容をすべて選択することで学習状況を入力する。システムは入力された学習状況から現在の生徒の学習状態を探索し、次に取り組むべき学習内容とともに出力する。現状の課題として、学習内容を表す文言が一般的な表現であることから、指



図 7: 生成 AI 作成事例出力画面の例

導経験が浅い教員にとって、個別の具体的な状況から一般的な学習状況を捉えることや一般的な学習内容から個別の指導助言を行うことへの難しさがあることが挙げられる。

5 おわりに

本論文では、PPDAC サイクルオントロジーに指導内容に関する知識を追加構築し、追加構築されたオントロジーに基づく探究学習の指導計画作成補助システムの試作を行った。このシステムを用いることで、ユーザは探究学習の指導の流れと学習内容の情報を得ることができ、指導経験の浅い教員が探究学習の指導や指導計画を作成することへの負担を減らすことが期待できると考えている。

PPDAC サイクルオントロジーに指導計画案の構成要素である学習内容説明、学習手法、時数の知識を新たに追加構築した。オントロジーを用いることにより、暗黙的な探究学習の指導の流れや体系化された学習状態、学習内容といった情報を提示できた。さらに、生成 AI を利用することで、オントロジーに基づく一般的な知識を各テーマに適応させた具体的な事例を提示できた。

本システムについては、現時点では評価を実施していないため、今後、評価実験を行う予定である。システムの利用が教員による指導計画の作成に及ぼす効果を定量的に評価するとともに、アンケート調査を通じて定性的な観点からも評価することを検討している。また、実際の高等学校教員に協力していただきながら今後取り組んでいく予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成 30 年告示），2018.
- [2] 稲永由紀：「総合的な探究の時間」の指導を支える教員の学術経験：学士課程教育をめぐる状況と教員養成上の課題，Rcus Working Paper, No. 12, pp. 1-9, 2020.
- [3] 文部科学省：令和 4 年度学習教員統計調査，2022.
- [4] 小坂那緒子，松原憲治：高等学校普通科における探究の過程の実施状況に関する予備的調査，日本科学教育学会研究会研究報告，Vol. 37, No. 6, pp. 123–126, 2023.
- [5] 池田政宣，村瀬公胤，武田明典：「総合的な探究の時間」の導入に向けた高等学校教員のニーズ調査，神田外語大学紀要，第 32 号，pp. 451-471, 2020.
- [6] 探究学習研究会：「探究学習」とはいうけれど，晃洋書房，2024.
- [7] 林宏樹，笹嶋宗彦：日本の高等学校におけるオントロジーを用いた探究学習の知識モデリング PPDAC サイクルオントロジーの構築，人工知能学会論文誌，40 巻，3 号，C-O82_1-17, 2025.
- [8] 溝口理一郎，古崎晃司，來村徳信，笹嶋宗彦：オントロジー構築入門，オーム社，2006.
- [9] 溝口理一郎：オントロジー研究の基礎と応用，人工知能学会誌，Vol. 14, No. 6, pp. 978-988, 1999.
- [10] 古崎晃司，來村徳信，佐野年伸，本松慎一郎，石川誠一，溝口理一郎：オントロジー構築・利用環境「法造」の開発と利用，人工知能学会論文誌，17 巻，4 号，pp. 407-419, 2002.
- [11] 文部科学省：今，求められる力を高める総合的な探究の時間の展開，2023.
- [12] 田村学，廣瀬志保：高校生のための「探究」学習図鑑，学事出版，2022.
- [13] 坂村健，高等学校情報 I，数研出版，2022.
- [14] 赤堀侃司，東原義訓，坂元章，新編情報 I，東京書籍，2022.
- [15] 荻谷昌己，高校情報 I Python，実教出版，2022.
- [16] 黒上晴夫，坂田龍也，村井純，情報 I，日本文教出版，2022.
- [17] 神奈川県立多摩高等学校：令和元年度指定スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書（第 5 年次），2024.