

# CMMIに基づく PBL における学びの質向上のための 定量的評価手法の提案

齊藤 大樹 伊藤 恵

プロジェクト型学習 (PBL) は、社会・仕事で求められる資質や能力の育成を目的に高等教育機関を始め多くの場で採用されている。一方で、PBL の実践において、プロジェクト実行中の記録が少ないため、教員による正確なフィードバックや、学生によるプロセス評価が難しいケースがある。また、学生が自己評価をした際も、それは教員による評価と比べると甘めで、無関連な評価をしてしまうケースがある。これらにより、学生が PBL の中で経験した学びに気づきにくい問題がある。日戸らによる研究では、学生がプロジェクトの状況を監査・適応することが困難であるという課題を解決するため、学生が PBL の学びを定量的に評価し、プロセス改善につなげることを可能にする、能力成熟度モデル統合 (CMMI) に基づいた評価指標を提案した。日戸らの研究では、学生自身がプロジェクトの状態を検査でき、成熟度を高めていくことが出来たが、学生による自己評価が客観性が低く、妥当ではない評価をしてしまう可能性があるといった課題が残った。以上から、本研究では CMMI に基づいた評価指標を用いたうえで、学生による自己評価の他に、同様の評価指標を用いて教員が評価を行い、自己評価とのずれを認識することでより自己評価の客観性や妥当性を高め、学びの質を向上させることを図る評価手法を提案する。

Project Based Learning is adopted in many educational institutions such as higher for developing the quality and ability required in society and working. On the other hand, in the practice of PBL, there are cases where it is difficult for teachers to give feedback to students accuracy, and students to evaluate the processes because there are few records such as documents during run the project. In addition, when students make a self-evaluation, there are cases where self-evaluation is looser and uncorrelated than their teacher's evaluation. Due to these cases, there are problems that it is difficult for students to notice the learning that they have experienced in PBL. The study by Hinoto et al. proposed an evaluation index based on Capability Maturity Model Integration (CMMI) that allows students to quantitatively evaluate learning that they have experienced and improve the process in order to solve the problem that it is difficult for students to audit and adapt the status of the project. In the above study, students were able to inspect the status of the project and improve maturity of project by themselves, but there remained the problem that the self-evaluation by the students lacked objectivity and there was a possibility that the evaluation would be inappropriate. From the above, in this study, after using the evaluation index based on CMMI, in addition to the self-evaluation by the students, the teachers evaluate using the same evaluation index that the student used for self-evaluation. We propose an evaluation method that aims to improve the objectivity and validity of self-evaluation and improve the quality of learning by recognizing the difference between self-evaluation and evaluation by teachers.

## 1 はじめに

文部科学省は、情報技術を高度に活用して、社会の具体的な課題を解決することのできる人材の育成は日本の極めて重要な課題であるとしている。そのため、情報技術を高度に活用して社会の具体的な課題を解決できる人材の育成機能の強化のため、実践教育ネットワーク形成事業 (enPiT) による実践的な教育が推進されてきた [7]。2020 年の enPiT 報告書にも、多くの

---

A Proposal of Quantitative Learning Evaluation Method Based on CMMI for Improving the Quality of Learning on PBL.

Taiki Saitou, 公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科, School of System Information Science, Future University Hakodate.

Kei Ito, 公立はこだて未来大学, Future University Hakodate.

大学でプロジェクト型学習 (PBL) が実施されていると書かれている [8]. しかし, 実際に大学での PBL では, 学習よりも成果を求めすぎるあまり, 学びを振り返られず活動主義に陥ってしまったり [4], 学習者のプロジェクトや課題解決などの経験が少ないことから, プロジェクトを上手く進められないことがあった [5].

そこで本研究では, プロジェクトで行われるプロセス毎に定量的に評価することにより, プロセス毎に学びを振り返ることができ, 評価後に軌道修正することによりプロジェクトの成功率を高めることができると考えた. 著者らが所属する大学では, 学部 3 年通年必修 PBL 科目である「システム情報科学実習」というシステム開発系の PBL を行う講義があるため [6], 本研究ではこの講義での PBL を研究対象とする.

このような取り組みは他の研究でもされてきた. 例えば, 日戸らの研究 [3] では, チーム開発やマネジメント経験が少ない学生でもプロジェクトの検査を可能にするため, プロジェクトの各プロセスを評価し改善する能力度成熟モデル統合 (CMMI) に着目し, 学生が自身のプロセスを自己評価することにより, プロジェクトの状況を検査, 適応や形成的評価に応用可能な手法を目指した. また, 日戸らの研究 [2] では, 自己評価のデータをより客観的かつ詳細に分析するために, コミュニケーションツールのログ情報の可視化を行った. 例えば, 研究の実験対象となったプロジェクトで利用されていた, Slack や Git 等のツールのログ情報を可視化した. これらの研究では, CMMI に基づく評価手法により, 学生自身がプロジェクトの状態を検査でき, 成熟度を高めていくことが出来た. また, コミュニケーションツールを可視化することによって, 評価データや報告書からはわからない学生によるアセスメント効果についての分析が可能であることがわかった. しかし, コミュニケーションツールの可視化には導入にコストがかかり, 得られたデータによる分析も, CMMI に基づいた評価手法の信頼性を保証するには十分ではないと考えた. 例えば, 日戸らの研究では, Slack のメッセージ数の増加と, 各プロセス領域の自己評価値の向上に相関があったことから, コミュニケーションツールの分析は学生の自己評価値を客観的に分析できるとしたが, メッセージ数の

増減には活動が活発になること以外にも, メッセージ間で意思疎通が出来ず, 不必要なメッセージが増長してしまうなどの場合もあるため, 一概に自己評価の信頼性を保証することはできないと考えた. そこで本研究では, CMMI に基づいた評価手法を用いて, 自己評価と同様の評価指標を用いて教員が評価を行い, 自己評価とのズレを認識することでより客観性や妥当性を高める方法を提案したいと考えた.

斎藤らの研究 [9] では, 歯学系の PBL において, 教員による評価と学生による自己評価を比べると, 学生の自己評価の方がかなり甘めで, 無関連な評価をしてしまうことを指摘している. これを解決するために, 歯学系の PBL の中で自己評価に加え教員による評価も行い, 「教員による評価とのズレ」を認識させ, 評価に関わる概念の理解や自己評価能力を高める研究を行った. 結果, 自己評価が教員によると比べて辛くなるなど変化はあったものの, 教員による評価と一致するようになったわけではなかった. しかし, ズレに対してより分析的な考察が出来ているとの記述があり, 振り返りの活動を通じて自己評価能力の向上が見受けられた. 教員の評価は絶対的でないことを加味すると, 評価のズレを無くすことよりも自己評価能力の向上が重要であると考ええる. この研究では課題として, 特定の歯学系の PBL の授業に置けるパフォーマンス評価の実践を事例としたものであり, この研究による結果の再現や一般化可能性には限度があることと, この研究での教員による評価は数値のみであったが, 評価理由などのコメントを挙げた方が振り返りがより深まり自己評価能力の形成に有効である可能性があることを挙げている.

筆者らが所属する大学では, システム開発による課題解決を目的とする PBL を実施する講義があるため, 教員による評価と学生による評価のズレに関する研究が歯学系の PBL 以外でも有効であるかを検証する.

以上の背景から, 本研究では開発系の PBL に焦点を置き, CMMI に基づいた評価指標より, 学生による自己評価と教員による評価を行う. 上述のように, 自己評価をするにおいて, 教員による評価とのズレを認識することでズレに対する分析的な考察を促し, 自

己評価能力を向上させることを目的とする。プロジェクトに対する自己評価能力の向上により、プロジェクトでの軌道修正がより正確になることを目指す。本論文では以下に、第2章ではCMMIについての説明を行い、第3章では提案する手法や評価項目について述べる。第4章では想定している実験を述べ、第5章ではまとめと今後の展望を述べる。

## 2 CMMI について

CMMI も含まれる、CMM(能力成熟度モデル)とは、現実世界の単純化された表現であり、CMM 群は組織におけるプロセス改善に焦点を合わせるためにカーネギーメロン大学のソフトウェアエンジニアリング研究所 (SEI) が定義したものである。CMMI は、複数の CMM を使用することの問題を解決するため、一連のモデルを統合するために開発された。CMMI のモデル群は産業界、政府、および SEI からのメンバを含む成果物チームによって開発された、組織がプロセスを改善することに役立つベストプラクティスを集めたものである。その中でも「開発するための CMMI(CMMI-DEV)」は、製品とサービスに適用される開発の活動を取り上げるベストプラクティスからなる。CMMI-DEV モデルは、開発組織において、CMMI のベストプラクティスの適用に対する手引きを提供する。モデルの中のベストプラクティスは、顧客および最終利用者のニーズを満たすための高品質の製品とサービスを開発する活動に焦点を合わせている [10]。本研究では、開発プロジェクトについて対象としているため、CMMI-DEV について取り上げる。以下、CMMI-DEV について述べていく。

### 2.1 プロセス領域

プロセス領域とは、ある領域における関連するプラクティスのひとまとまりであり、CMMI-DEV-v1.3 では、22 個のプロセス領域が含まれている [10]。これらのプロセス領域は、「プロセス管理」、「プロジェクト管理」、「エンジニアリング」、「支援」の4つの区分に分けられている。各プロセス領域と対応する区分は、表1に示す。

表 1 CMMI プロセス領域

区分	プロセス領域
プロセス管理	組織プロセス重視
	組織プロセス定義
	組織トレーニング
	組織プロセス実績
	組織改革と展開
プロジェクト管理	プロジェクト計画策定
	プロジェクトの監視と制御
	供給差合意管理
	要件管理
	リスク管理
	統合プロジェクト管理
	定量的プロジェクト管理
エンジニアリング	要件開発
	技術解
	検証
	妥当性確認
	成果物統合
支援	構成管理
	測定と分析
	プロセスと成果物の品質保証
	決定分析と解決
	原因分析と解決

### 2.2 固有ゴールと固有プラクティス

各プロセス領域には固有ゴールと固有プラクティスが存在する。それぞれの関係性を図1に示す。固有ゴールは、そのプロセス領域を満たすために存在しな

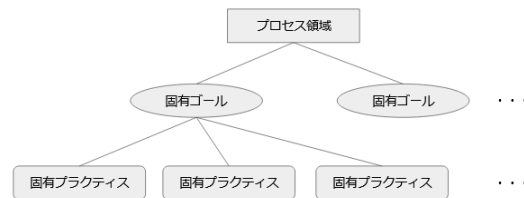


図 1 固有ゴールと固有プラクティス

ければならない独特の特性を記述して、評価において使用され、プロセス領域が満たされているかの判断を助ける。固有プラクティスは、関連づけられた固有ゴールを達成するにあたって、重要であるとみなされる活動の記述であり、固有ゴールの達成につながるものが期待される活動が記述されている [10]。各固有プラクティスの達成が固有ゴールの評価に、各固有ゴールの評価がプロセス領域の評価につながる。

### 2.3 表現形式

プロセス改善におけるアプローチとして次の2つの「表現形式」がある。1つ目は連続表現 (能力度レベル) であり、2つ目は段階表現 (成熟度レベル) である。

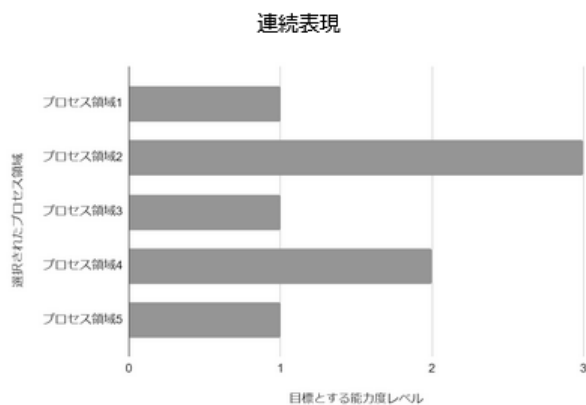


図2 連続表現でのプロセス領域

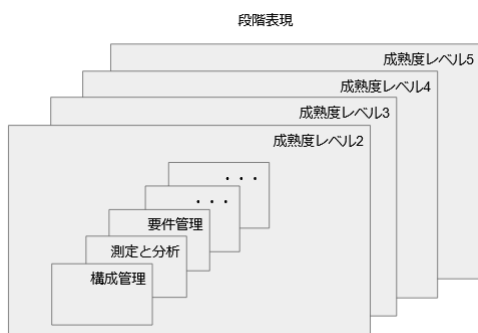


図3 段階表現でのプロセス領域

表2 能力度レベルおよび成熟度レベル

レベル	能力度レベル (連続表現)	成熟度レベル (段階表現)
レベル0	不完全な	
レベル1	実施された	初期
レベル2	管理された	管理された
レベル3	定義された	定義された
レベル4		定量的に管理された
レベル5		最適化している

連続表現は、改善すべき特定のプロセス領域を選択すること、そのプロセス領域に対して要望される能力度レベルを選択することを重んじている。能力度レベルは0～3の4段階で評価される。段階表現は、成熟度レベルの中で改善するための複数のプロセス領域を選択することを重んじている。成熟度レベルは1～5の5段階で評価される。図2、3はそれぞれの表現形式でプロセス領域がどのように使用されているかを示す。表2はそれぞれのレベルの評価基準を示す。両方の表現形式は構造こそ違いますが、本質的に同一の内容を提供している [10]。ここで留意すべきこととして、常に再考の評価点を目指すのではなく、プロジェクトを円滑に進めるためにどの程度のレベルが必要なのかを選択する必要がある。そのため、評価時にLv.1であるプロセス領域があった場合でも、Lv.2を目指すか、そのままいいかを選択する必要がある。本研究では、各プロセスでの振り返りや改善を促すことを目指していることと、PBLに適したプロセス領域を選択し評価を行うため、連続表現を用いる。

## 3 本研究の提案手法

### 3.1 選択した対象領域

本研究では、PBLでの学びを振り返ることを目的としているため、すでにプロジェクトで実行された活動についてを評価対象としている。そのため、現在の進行状況に応じてのプロセス領域を選択をする必要があると考えた。また、CMMIにはプロジェクトを抱える組織目線での活動など、幅広い活動をカバーし

No.2 プロジェクトの監視と制御				実施された物	有効活用したもの	予め定義され、手順に沿って実施、制御した物
SG1: 計画に照らしてプロジェクトを監視する	Level判定	Level目標値	Level.0	Level.1	Level.2	Level.3
No.2 SP1.1	プロジェクト計画策定パラメータを監視する		実施していない	スケジュールに照らして進捗管理を行っている	スケジュールに照らして、メンバーのスキルの獲得や、作業成果物など詳細な点まで進捗管理を行っている	進捗管理を実績値に基づいて監視し、着しい逸脱には文書化して管理者に報告している
No.2 SP1.2	コミットメントを監視する		実施していない	プロジェクト外部及び内部からの指示やコメントを共有している	コメント等を実行するか判断し、判断を関係者と共有している	コメントと判断についてを文書化している
No.2 SP1.3	プロジェクトリスクを監視する		実施していない	リスクの文書を定期的にレビューしている	プロジェクトの進捗状況に応じて明らかになる新しいリスクを特定・分析し、リスク文書を改訂する	直接の利害関係者に、リスクの状況を定期的に伝達している
No.2 SP1.4	データ管理を監視する		実施していない	補充したデータのファイル形式や保管場所などをレビューする	ファイル形式の違いやアクセス権の問題など、重要な課題が生じた場合に報告している	データ管理の責任者が明確であり、定期的に監視する人、プロセスがある

図 4 作成したルーブリック (一部抜粋)

表 3 選択した対象領域

区分	プロセス領域
プロジェクト管理	プロジェクトの計画策定
	プロジェクトの監視と制御
	リスク管理
支援	プロセスと成果物の品質保証

表 4 各領域の固有ゴールと固有プラクティス数

プロセス領域	固有ゴール数	固有プラクティス数
プロジェクトの計画策定	3	10
プロジェクトの監視と制御	2	9
リスク管理	3	7
プロセスと成果物の品質保証	2	4

ているため、PBL に置き換えた際に適さないプロセス領域も存在する。学生が自己評価をする際の負担を軽減するためにも、PBL での重要な活動に焦点を置き、4つのプロセス領域を選択した。また、選択したプロセス領域の中にも PBL に適さないと考える固有プラクティスが存在したため、評価対象から外している。表 3 は、選択したプロセス領域とその区分を示

目標及び達成度一覧表

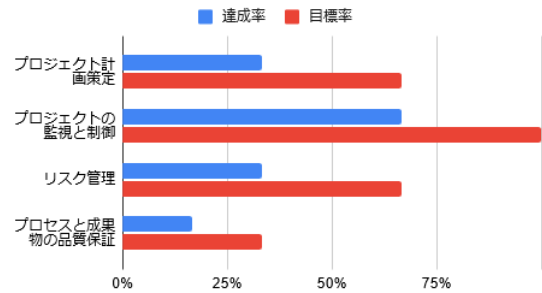


図 5 目標及び達成度一覧表

す。選定理由は以下のとおりである。

**プロジェクト計画策定** スケジュールや作業成果物などを見積もりなど、PBL での重要なプロジェクト計画の領域であるため

**プロジェクトの監視と制御** 適切なタイミングで活動を振り返り、プロジェクトの進め方についての軌道修正を可能にするため

**リスク管理** プロジェクト初期から活動を行う領域であり、重大なリスクについて適切な対処を行うため

**プロセスと成果物の品質保証** PBL のプロセスや作業成果物を客観的に評価することを促し、質の高い成果物を作成するため

日戸らの研究では、プロジェクト計画策定、プロジェクトの監視と制御、プロセスの成果物の品質保証の他に、日戸らが独自に作成したアジャイル開発手法のうちの一つである、スクラムに焦点を置いたプロセ

ス領域や、「検証」、「測定と分析」のプロセス領域を選択していたが、本研究では、開発の手法に拘らず多くの開発系 PBL において評価できる手法を提案したため、スクラムに関する独自領域を除いた。また、「検証」や「測定と分析」に含まれる固有プラクティスは、次節で紹介する本研究で作成したルーブリックによる評価指標のうち、Lv.3 の「予め定義され、手順に沿って実施、制御したこと」に含まれている部分が多くあったため、学習者が評価をする際の負担を減らすため、これらのプロセス領域を評価対象から外した。

### 3.2 固有プラクティスに対応したルーブリック

2.2 節で解説したように、各プロセス領域には、固有ゴールと固有プラクティスが存在する。選択したプロセス領域に対応する固有ゴールと固有プラクティスの個数を表 4 に示す。

日戸らの研究と同じように、より達成度合いを明確にし、学生や教員が定量的かつ明確に評価を行えるように、各固有プラクティスに対応したルーブリックを作成した。ルーブリックとは、各評価項目の達成度を、表を用いて測定するものである。ルーブリックは可能な限り PBL に沿ったうえで、分かりやすい表現を用い、CMMI に基づいて作成した。

ルーブリックは、Lv.0~Lv.3 の 4 段階で作成した。日戸らの研究では、Lv.1 は測定データが明確、Lv.2 はデータの利用目的が明確、Lv.3 は測定データと利用目的が明確としてルーブリックを作成していたが、本研究では CMMI-Dev の能力度レベルの評価点に準拠して、各 Lv の達成基準を Lv.0 は実施していない、Lv.1 は実施されたこと、Lv.2 は有効活用したこと、Lv.3 は予め定義され、手順に沿って実施、制御したことを基準に評価項目を作成した。作成したルーブリックの一部を図 4 に示す。

作成したルーブリックでは学習者が自己評価をした後に今後の改善方法を学習できるように、上位のレベルは下位レベルの達成基準を満たしたうえで、さらにプロセスの改善を目指すうえで必要な行動を記述している。例えば、図 4 の固有プラクティスの 1 つ目 (SP1.1) の行を見ると、Lv.1 は「スケジュールに

照らして進捗管理を行っている」とあるが、Lv.2 では、Lv.1 に加えて、進捗管理の方法としてメンバーのスキルの獲得や作業成果物など、詳細な点まで進捗管理を行うとし、詳細な点まで進捗管理を行うことにより改善項目が明らかになり、より有意義な進捗管理となる指針を示している。さらに、Lv.3 では、進捗管理の手順として実績値に基づいて監視し、著しい逸脱には文書化して管理者に報告するとしている。これにより進捗の指標が統一され、客観的な視点から進捗の監視をすることができ、進捗の遅れを管理者に報告することで、直ちに適切な対応を求めることができる。このように、より上位のレベルの達成に向けて行動することが、プロセスの改善につながるようになっていく。

また、2.3 節で述べたように、目標とする達成レベルを設定するために、自己評価値とは別に目標値の入力欄を作成した。加えて CMMI でも推奨しているように、各プロセス領域の自己評価値 (達成度) と、目標値とを比較する図 (目標及び達成度一覧表) を出し、現状について視覚化することにより、プロセスの改善につながることを期待している。

目標及び達成度一覧表の例を図 5 に示す。

## 4 評価実験

本研究では、提案する評価手法による学びの質の向上を実証するために、提案手法の評価実験を行う。本章では、今後実験を行う上で想定している対象の PBL や、実験方法、分析方法について示す。

### 4.1 対象 PBL

著者らが所属する大学の学部 3 年通年必修 PBL 科目である「システム情報科学実習」では、毎年約 20 プロジェクトが実施されている [6]。すべてのプロジェクトでシステム開発をしているわけではないが、本研究ではそのうちの 1 つの開発プロジェクトを対象とする。このプロジェクトは 15 名の学部 3 年生が所属し、5 人ずつ 3 組のチームでそれぞれ異なる課題に取り組み、システム開発による解決に取り組んでいる。また、このプロジェクトでは開発手法としてアジャイル開発手法を採用してシステム開発を行う。

## 4.2 実験方法

対象とするプロジェクトでは、開発プロダクトの方向性がおおよそ決まっています、詳細を今後決めていく段階であるため、3.1節で示したように、エンジニアリングに関するプロセス領域を除いた領域を評価対象とする。評価の手順は以下のとおりである。

1. 作成したルーブリックが記載された評価シートに学生メンバーがそれぞれ評価指標に基づきLv.0~Lv.3から選択し、達成値と目標値を記載する。
2. メンバー全員が全ての領域を評価後、教員が各成果物や報告書資料に基づいて達成値のみを記載する。
3. 各メンバーは教員からの評価値をもとに再度評価を見直す。この時、教員からの評価に疑問等があった場合は教員から評価理由を確認する。
4. 各メンバーは評価についての振り返りを記述する。

また、上記手順を繰り返し行うことで自己評価能力を高めることを狙うため、評価時期を複数設定する。今回はアジャイル開発手法を採用したプロジェクトを対象としているので、各リリース時期に繰り返し評価する。ウォーターフォール開発手法を採用する場合は、要件定義や設計などの各工程終了時に評価することが望ましいと考える。

## 4.3 分析方法

評価結果から分析し、プロジェクト活動の改善につなげられたかどうかを調べるために、各評価時期の評価値の推移を調べる。

また、学生の自己評価能力が高められたかを調べるために、教員との評価のズレとの差の平均値や標準偏差を計算し、推移を調べる。加えて、評価に関する振り返りの記述に対してどのような変化があるかをテキストマイニングを通して調べる。

## 5 まとめと今後の課題

本研究は開発系PBLにおいて、CMMIに基づく評価手法を用いて学生と教員が評価を行い、評価のズレを認識することによって自己評価能力を高め、プロジェクトのプロセスを改善することを目指している。今後は、第4章で述べたように対象とするプロジェクトで実験を行い実験結果を分析していく。加えて、実験の際のコメントや対象プロジェクトの進捗に応じて評価項目を更新し、より良い評価手法の提案を目指していく。

また、本研究では、CMMI-Dev-ver1.3に基づいて評価手法を提案したが、最新のバージョンであるCMMI-ver2.0[1]については確認していなかったため、こちらの導入も検討していく。

また、本研究では、CMMI-Dev-ver1.3に基づいて評価手法を提案したが、最新のバージョンであるCMMI-ver2.0[1]については確認していなかったため、こちらの導入も検討していく。

## 参考文献

- [1] ISACA: CMMI V2.0の紹介, <https://cmminstitute.com/cmml-5/> (2021年8月6日アクセス)。
- [2] 日戸直紘, 伊藤恵, 大場みち子: アジャイルソフトウェア開発PBLにおける形成的アセスメントの効果測定, 日本ソフトウェア科学会第36回大会(2019年度)講演論文集, 日本ソフトウェア科学会, 2019, pp. 35-44.
- [3] 日戸直紘, 伊藤恵, 大場みち子: アジャイルソフトウェア開発PBLのためのCMMIに基づいた定量的学習評価手法とその効果, 第5回実践的IT教育シンポジウム(rePiT2019)論文集, 日本ソフトウェア科学会, 2019, pp. 31-40.
- [4] 小山理子, 松村佳世: プロジェクト学習におけるリフレクションと学習成果の関連の検討 - 短期大学のプロジェクト学習におけるリフレクションシートの分析から -, 京都光華女子大学京都光華女子大学短期大学部研究紀要, 2017, pp. 253.
- [5] 松田直浩, 森幹彦, 喜多一: プロジェクト型学習(PBL)におけるWBSの活用とその導入手法の提案, *Journal of the International Association of Project & Program Management*, Vol. 2, No. 1(2007), pp. 129-142.
- [6] 公立はこだて未来大学: プロジェクト学習, <https://www.fun.ac.jp/project-learning> (2021年8月6日アクセス)。
- [7] 文部科学省: 平成29年度大学教育再生戦略推進費成長分野を支える情報技術人材の育成拠点の形成(enPiT), 公募要領, 文部科学省, 2017, pp. 2.
- [8] 文部科学省: enPiT 成果報告書2020, 年次報告, 2021.
- [9] 斎藤有吾, 小野和宏, 松下佳代: ルーブリックを活用した学生と教員の評価のズレに関する学生の振り返りの分析 - PBLのパフォーマンス評価における学生の自己評価の変容に焦点を当てて -, 大学教育学会誌, Vol. 第39巻.
- [10] CMU/SEI: 開発のためのCMMI® 1.3版, <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=28776> (2021年8月6日アクセス)。