

修 士 論 文

令和五年度

近畿大学大学院

総合理工学研究科

エレクトロニクス系工学専攻

21-3-334-0415 番 栗 岡 陽 平

修 士 論 文

令和五年度

論文内容の要旨

グラフデータベースを用いた
学習者理解度可視化システムの開発

近畿大学大学院

総合理工学研究科

エレクトロニクス系工学専攻

21-3-334-0415番 栗岡陽平

2019 年 12 月に文部科学省が作成した「教育の情報化に関する手引き」[1]によると教育の情報化が促進されている。e ラーニング[2]は「情報通信技術の時間的・空間的制約をなくす」、「双方向性を有する」、「カスタマイズを容易にする」という特性を有するシステムのうちの一つであることから、教育の情報化に有効である。e ラーニング上で学習するにあたり、自身の学習目標を設定することは、学びを深める手段のうちの一つである[3]。一方、学習目標を設定するには、自身が学習したい対象の知識を把握している必要がある。しかし、学習者自身では学習項目を理解していると主観的には考えていても、他人が客観的に判断すると理解できていない場合があり、学習者自身で学習目標を設定することは必ずしも容易ではない。

東本氏らの研究では、科学領域においては習得すべきさまざまな概念および概念間の関係が存在し、その一つに概念の階層構造を学習者に理解させることは科学の学習において重要な課題であると認識していた。そこで、階層構造の理解の促進を目的とした学習者自身によるコンセプトマップ(以下、CMap)[4]の構築のためのシステムを開発した[5]。野村氏らの研究では、学習方法の一つとして、学習した内容を整理して他の学習者に教える事で自信の理解を深める方法があり、他者に対して学習内容を理解させることができるか否かで自身の理解が十分であるか否かを学習者自身が再確認することができるという教え合い学習をシステムの推奨を用いて実際に学習者間で行わせることを目的とした研究を進めている。[6] 平塚氏らの研究では、高等教育機関における学生たちに対して、教育課程を理解してもらうことが重要であると考え、教務システムとeポートフォリオを連携した「学習成果可視化システム」を構築した。このシステムはオープンソースのシステムを用いて構築し、公開・フィードバックする点で意義があるとしている。[7]

本研究では、学習目標の設定支援を目的に、学習者の理解度を可視化する、グラフデータベースを用いた学習者理解度可視化システムを開発した。本システムはe ラーニングで学習している学習者を対象としたシステムで、CMapを利用して学習者が学習目標を設定する場合に本システムを利用することを想定している。学習者は指導者が作成した問題を解き、本システムを用いてCMapを作成する。本システムでは学習者の回答情報からCMapを作成し、学習者は自身が作成したCMapと、システムが生成したCMapを比較することにより、自身の学習理解度を客観的に確認でき、学習目標設定の基準にできる。

CMapを作成するにおいて、事前に学習目標と学習項目の情報が必要になる。そこで本システムでは、CMapをキットビルド概念マップシステム[8]を用いて作成しており、事前に学習者を指導する指導者が本システムを用いてCMapに関する学習目標、学習項目を入力できる。これにより、学習者は事前に設定された学習目標、学習項目を基に本システムを用いて自身でCMapを作成できる。

本システムには、グラフデータ管理機能、グラフデータ入力補助機能、グラフデータ可視化機能が存在し、グラフデータ管理機能では、グラフデータベースの内の一つであるNeo4jを用いてグラフデータを管理し、学習者・指導者にグラフデータを通してCMapの学習目標、学習項目を提供する。グラフデータ入力補助機能は指導者がCMapの学習目標、学習項目を入力するときに、そのデータを木構造で入力できるフォームを用意し、そのデータをグラフデータへと変換しNeo4jに登録する機能である。グラフデータ可視化機能は、学習者に対して指導者が入力したCMapのグラフデータを可視化し提供する機能である。また、学習者がCMapを作成するためのフォームも提供している。

本研究では、グラフデータ可視化機能を用いて学習者に座学における学習目標設定方法と本シ

システムを用いた学習目標設定方法を比較するための確認テストによる評価実験を実施した。実験の結果、本システム使用者と本システム非利用者の学習目標設定方法では本システム利用者の学習目標設定方法の方が確認テストの結果が向上していることを確認した。

修 士 論 文

グラフデータベースを用いた 学習者理解度可視化システムの開発

Development of a Visualization System for Learner Comprehension
Using a Graph Database

目次

目次	i
1 はじめに	1
1.1 本章の概要	1
1.2 研究背景	1
1.3 研究の目的	2
1.4 研究の内容	2
1.5 評価実験の概要	3
1.6 本論文の構成	3
2 コンセプトマップ	5
2.1 本章の概要	5
2.2 コンセプトマップについて	5
3 キットビルド概念マップ	7
4 関連研究	9
5 システム概要	11
5.1 本章の概要	11
5.2 本システムの構成	11
5.3 開発環境	13
5.4 本システムにおける各機能の概要	14
5.4.1 グラフデータ管理機能	14
5.4.2 グラフデータ入力補助機能	16
5.4.3 グラフデータ可視化機能	19
5.5 本システムの運用における指導者の負担	21
6 学習者理解度可視化システム	23
6.1 本章の概要	23

6.2 システム実行の流れ	23
6.2.1 前提条件	23
6.2.2 システム実行の流れ	25
7 評価実験	33
7.1 本章の概要	33
7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験	33
7.2.1 実験対象者	33
7.2.2 実験準備	33
7.2.3 実験手順	42
7.2.4 実験結果	42
7.3 本システムの利用評価実験	45
8 結論	47
謝辞	49
参考文献	51
研究発表	55

第 1 章

はじめに

1.1 本章の概要

本章では，研究背景と研究目的，評価実験の概要，そして本論文の構成について記載する．研究背景では，教育の情報化に関する課題，本研究に関する研究について記載している．研究の目的では，本研究の目的を記載している．研究の内容では，開発したシステムとシステム各部の機能の説明を記載している．評価実験の概要では，システムを評価する為実施した評価実験の内容と結果を記載している．また，本論文の構成では各章を番号付きでリストで記載している．

1.2 研究背景

2019 年 12 月に文部科学省が作成した「教育の情報化に関する手引き」[1]によると教育の情報化が促進されている．e ラーニング[2]は「情報通信技術の時間的・空間的制約をなくす」，「双方向性を有する」，「カスタマイズを容易にする」という特性を有するシステムのうちの一つであることから，教育の情報化に有効である．e ラーニング上で学習するにあたり，自身の学習目標を設定することは，学びを深める手段のうちの一つである[3]．

一方，学習目標を設定するには，自身が学習したい対象の知識を把握している必要がある．しかし，学習者自身では学習項目を理解していると主観的には考えていても，他人が客観的に判断すると理解できていない場合があり，学習者自身で学習目標を設定することは必ずしも容易ではない．

東本氏らの研究では，科学領域においては習得すべきさまざまな概念および概念間の関係が存在し，その一つに概念の階層構造を学習者に理解させることは科学の学習において重要な課題であると認識していた．そこで，階層構造の理解の促進を目的とした学習者自身によるコンセプトマップ(以下，CMap)[4]の構築のためのシステムを開発した[5]．

野村氏らの研究では，学習方法の一つとして，学習した内容を整理して他の学習者に教える事で

自信の理解を深める方法があり，他者に対して学習内容を理解させることができるか否かで自身の理解が十分であるか否かを学習者自身が再確認することができるという教え合い学習をシステムの推奨を用いて実際に学習者間で行わさせることを目的とした研究を進めている [6].

平塚氏らの研究では，高等教育機関における学生たちに対して，教育課程を理解してもらうことが重要であると考え，教務システムとeポートフォリオを連携した「学習成果可視化システム」を構築した．このシステムはオープンソースのシステムを用いて構築し，公開・フィードバックする点で意義があるとしている [7].

西川氏らの研究では，大学における学生がディプロマポリシーに向けて現段階でどのような学修を積み立てているのか確認することを目的とした，グラフデータベース Neo4j による学習ポートフォリオ作成支援システムを開発している [9]. この研究で，ディプロマポリシーに向けて学修をどのように積み立てているかを可視化でき，それによりディプロマポリシーに向けた学修達成度を把握でき，学生がその後どのように履修計画を立案するかの指標となることが示された．

1.3 研究の目的

本研究では，CMap を用いて学習目標を設定する学習者を対象としその学習目標設定の支援を目的としている．

1.4 研究の内容

本研究では，グラフデータベースを用いて学習者の理解度を可視化し，学習目標の設定を支援できるグラフデータベースを用いた学習者理解度可視化システム (以下，本システム) を用いた学習者理解度可視化システムを開発した．

学習目標を設定するには自身の学習度合いを正確に把握必要がある．しかし，自身の学習度合いを主観的に把握できても客観的に見ると誤っている可能性がある．そこで本システムのグラフデータ可視化機能により学習者のテストの回答情報と，指導者による学習目標，学習項目の情報からグラフデータベースを用いて CMap を自動的に作成することにより，学習者自身が作成した CMap と本システムが自動的に作成した CMap を比較することにより，客観的に学習者の理解度を把握できる．

グラフデータで CMap を作成するにあたり，本システムにはグラフデータ管理機能とグラフデータ入力補助機能が存在する．グラフデータ管理機能はグラフデータを管理する機能で，WebAPI を用いてグラフデータを管理できるため，様々なアプリケーションで API を用いることにより，グラフデータを管理できる．グラフデータ入力補助機能では，本システムを用いて学習者指導する指導者に対して，学習目標・学習項目の入力を容易に実施するための機能である．グラフデータ入力補

助機能はフォームが木構造で入力することが可能で、学習目標・学習項目の入力が容易にできる。また、グラフデータ入力補助機能はグラフデータ管理機能の API を用いることにより、学習目標、学習項目をグラフデータへと変換し、グラフデータベースへとグラフデータを保存、および呼び出しを実行している。

1.5 評価実験の概要

グラフデータ可視化機能を使って、座学における学習目標設定方法と本システムを用いた学習目標設定方法を比較し、有用性を検証した。検証には、Google フォームを用い、本システム利用者群と本システム非利用者群にグループ分けを行い、事前テストと事後テスト、アンケートを用いた利用評価実験を実施し、座学における学習目標設定方法と本システムを用いた学習目標設定方法のどちらがより良い結果になったかを確認した。

1.6 本論文の構成

本論文の以降の章では、本研究の具体的な内容について述べる。

第2章では、コンセプトマップについて述べる。

第3章では、キットビルド概念マップについて述べる。

第4章では、本研究に関連している研究について述べる。

第5章では、本システムの概要について述べる。

第6章では、学習者理解度可視化システムについて述べる。

第7章では、評価実験について述べる。

第8章では、本研究の結論について述べる。

第 2 章

コンセプトマップ

2.1 本章の概要

コンセプトマップ [4] とは，ある領域における概念をノードとして，関連性のあるノード同士を線，すなわちリンクで繋げたグラフ表現の内の一つである．リンクには，ノードとノード間の関係性を表すリンクキーワードが設定されることもある．コンセプトマップを用いることで，概念間の関係は視覚的に整理される．視覚的に整理されるため，階層構造の理解に有効であるとされている．

2.2 コンセプトマップについて

コンセプトマップは，様々な分野で利用されているが，主に理科教育においてよく用いられている [10][11]．

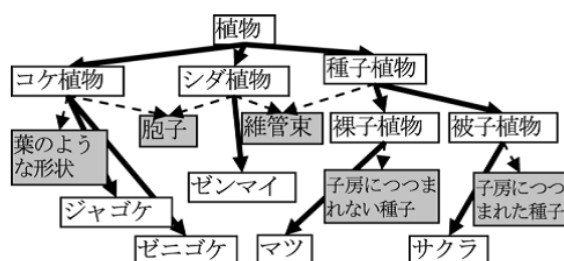


図 1 階層性を持つコンセプトマップの例

図 2.1 コンセプトマップの例 (出典: 誤りの可視化による階層構造の理解を指向したコンセプトマップ構築学習の支援環境 p.43 [5])

図 2.1 は最上位の親を植物として、子にはコケ植物、シダ植物、種子植物が存在する、階層性のあるコンセプトマップである。例えば種子植物に注目すると、その子である裸子植物、被子植物の間や、被子植物とサクラの間にも同様の親子関係が存在している。また、コケ植物に注目すると、コケ植物には葉のような形状という独自の特徴すなわち属性を持っており、子であるジャゴケとゼニゴケにもその特徴は継承されている。このようにして、コンセプトマップは概念間の関係性が可視化され、階層構造の理解に有効である。

一方コンセプトマップを学習の場で用いる場合大きく分け4つの形式が考えられる。一つ目は、コンセプトマップを構築するテーマだけを与えられ、ノードとリンクを学習者が構築する形式。二つ目は、コンセプトマップを構築するテーマと指導者側が学習者側に考慮してほしい概念をあらかじめ与えて、その他のノードやリンクを学習者に構築させる形式。三つ目は、テーマとノードがすべて与えられて学習者はリンクのみを構築する形式。四つ目は、テーマとあらかじめすべてのノードと一部のリンクが与えられ、残りのリンクのみを学習者が構築する形式。本研究では、三つ目の形式で学習者にコンセプトマップを作成させた。

第 3 章

キットビルド概念マップ

第 4 章

関連研究

第 5 章

システム概要

5.1 本章の概要

本章では，本システムの概要について述べる．本システムは，e ラーニングで学習している学習者を対象としたシステムで，コンセプトマップを利用して学習者が学習目標を設定する場合に本システムを利用することを想定している．本システムを利用して学習を進めることで，コンセプトマップにより自身の学習分野に対する構造的な理解を促進できるだけでなく，自身が進めている学習分野の主観的な知識獲得量を客観的に把握することが出来るため，学習目標を設定しやすくなる．

5.2 節では，本システムの構成について述べる．5.3 節では，本システムの開発環境について述べる．5.4 節では，本システムにおける各機能の概要について述べる．5.5 節では，本システムの運用における指導者の負担について述べる．

5.2 本システムの構成

本システムの構成を図 5.1 に示す．本システムは，学習者がインターネットを通じて本システムの Web アプリケーションに接続することによってコンセプトマップを作成し学習を進めることができる．本システムはすべての開発環境を Docker を用いて作成しているため，Docker を使用できる環境であればどこでも本システムを実行することが可能である．

本システムで利用可能な学習教材は，その学習分野において教材提供者が階層構造を持つと判断した学習教材であれば利用可能である．コンセプトマップを作成するにあたって，本システムではグラフデータベースを用いてコンセプトマップにおけるノードやリンク，リンクキーワードをグラフデータベースにおけるノード，エッジ，プロパティに変換することによってグラフデータベースにコンセプトマップのデータを保存し，その後グラフデータベースを可視化するライブラリを用いてコンセプトマップを閲覧，作成できる機能を作成した．本システムを利用した学習手順として，

学習者は指導者が作成した学習コンテンツを学び、そのフィードバックとして各問題がどのような学習分野となるのか教授してもらう。その後、本システムを用いてそれぞれの学習分野をコンセプトマップを用いてどのような階層構造になっているのかを予測しながらコンセプトマップを作成する。最後に本システムが指導者から入力された学習分野に対する階層構造のデータからコンセプトマップを自動的に作成する。これにより学習者は、自身が作成したコンセプトマップと、自動的に作成されたコンセプトマップとを比較することにより、学習分野における自身の階層構造に対する理解を深めることができる。加えて本システムではコンセプトマップのノードにおいて学習者の問題の回答情報から点数によってノードの背景色を表示できる。これにより学習者は対象学習分野について、主観的に考えていた学習理解度と実際のテストの点数による学習理解度をはっきりと視覚的に確認でき、自分は特定分野においてしっかり学修できていたと思っていたが、実際はあまり理解できてきなかったという勘違いを正すことができる。

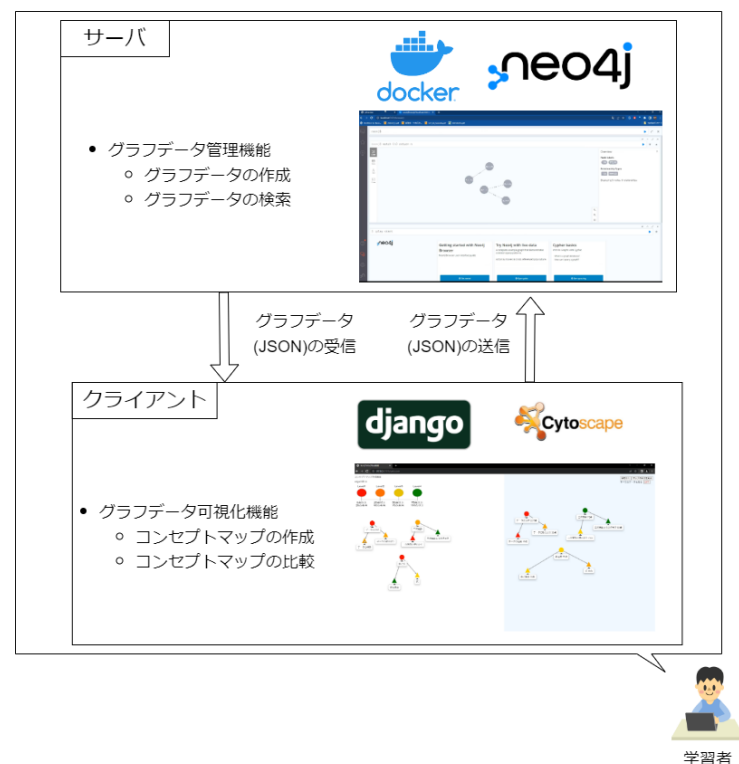


図 5.1 システム構成

5.3 開発環境

本システムは、コンテナ仮想化プラットフォームである Docker を基盤として開発している。指導者は、本システムの運用 Web サーバが内包された Docker イメージを自身の PC 上にインポートして学習用コンテナを生成することで、Web アプリケーションを実行でき、学習者に対してコンセプトマップを用いた学習を実施できる。また、本システムにおけるグラフデータベースである Neo4j と Python の Web フレームワークの一つである Flask を用いることによりグラフデータベースとコンセプトマップのデータ変換部を API を用いて作成していることにより、様々なプラットフォームで本システムのグラフデータベース+コンセプトマップという学習環境を利用する事が可能である。以下に、本システムの利用にあたって指導者が実行しなければならない Docker コマンドを一覧に示す。

- docker-compose up -d --build
 - 指導者の PC 上に本システムの Docker イメージをインポートし実行する
- docker-compose down -v
 - 本システムに何か変更を加えた際にコンテナを停止させるためのコマンド
- docker system prune
 - 本システムに何か変更を加えた際にコンテナに残っているキャッシュを削除するためのコマンド

本システムのコンテナ内にて利用しているソフトウェアを以下の表 5.1 に示す。

表 5.1 コンテナ内に導入しているソフトウェア

OS	Ubuntu 18.04
Web サーバソフトウェア	Flask 2.1.2
サーバサイド言語	Django 3.0.2 Python 3.8
グラフデータベース	Neo4j 4.4.3

5.4 本システムにおける各機能の概要

本システムは大きく分けて3つの機能によって成り立っている。それは、グラフデータ管理機能、グラフデータ入力補助機能、グラフデータ可視化機能の3つの機能である。それぞれの機能について5.4.1節、5.4.2節、5.4.3節で説明する。

5.4.1 グラフデータ管理機能

グラフデータ管理機能は、学習者と指導者のグラフデータを管理する機能で、クライアントのフォームから入力されたコンセプトマップの親子に関するデータをAPIを用いてグラフデータへと変換しグラフデータベースへとデータを登録する。また、クライアントからグラフデータを要求された場合、グラフデータをAPIを用いてJSON形式で返答する。

グラフデータ管理機能が使用するAPIは以下のとおりである。

- /create/json
 - 与えられたJSON形式のデータをグラフデータベースで利用できるJSON形式のデータに変換し、データを登録しその結果をJSON形式で返答する。
- /get/all_graphs
 - グラフデータベースに登録されているすべてのグラフデータをJSON形式で返答する。
- /create/score
 - 指定されたユーザと教科の点数登録を行う。
- /get/score
 - 指定された教科に紐づくすべての点数を返答する。
- /get/score/username
 - 指定されたユーザに関する教科の得点を返答する。
- /get/subject/subject
 - 指定されたユーザが受験した科目と点数を返答する。
- /delete/string:node_name
 - 指定されたノードを削除する。
- /delete/all
 - すべてのノードを削除する。

5.4 本システムにおける各機能の概要

これらの API を利用することにより本システムはグラフデータベースとコンセプトマップを紐づけて利用している.

5.4.2 グラフデータ入力補助機能

グラフデータ入力補助機能は、クライアントで JSON 形式のグラフデータを入力補助する機能である。この機能は指導者が用いる機能で、新規にグラフデータを入力する場合に用いる。グラフデータは、最低でも属性、親ノード、子ノードの一セットを入力する必要がある。そのためテキストベースの従来のデータ入力フォームでは、関係性など誤って入力する可能性がある。そこで本機能では入力フォームを階層構造で入力可能な UI として提供し、入力誤りを減らすようにしている。また、本入力フォームはドラッグ&ドロップや編集メニューを用い、入力データを階層表示し操作できる。これにより、指導者は関係性を整理しながらグラフデータを入力することが可能である。

グラフデータ入力補助機能の GUI を図 5.2 に示す。

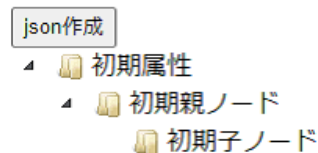


図 5.2 グラフデータ入力補助機能初期状態

図 5.2 は初期状態で、図のような木構造な入力フォームを提示する。初期属性とは第 2 章の図 2.1 で示した植物に該当する。初期親ノードは被子植物、初期子ノードはサクラに該当する。

各々の階層は図 5.3 のようにして各ノードを右クリックすることによりメニューが表示される。

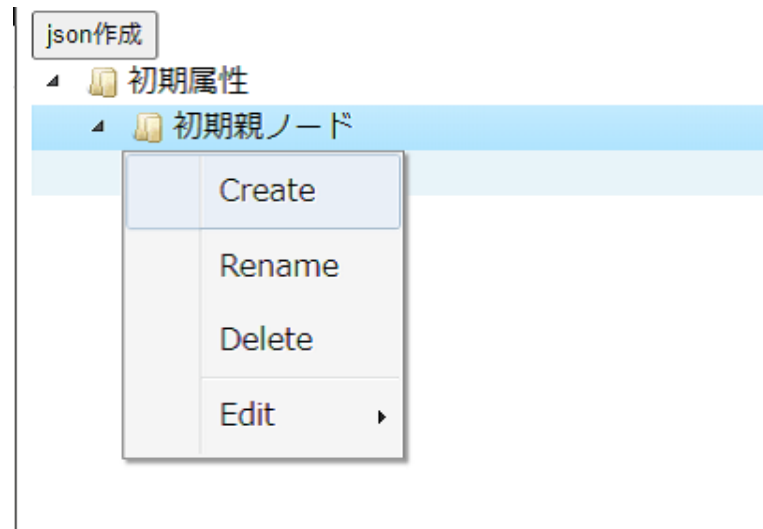


図 5.3 グラフデータ入力補助機能編集状態

メニューは Create, Rename, Delete, Edit の四種類あり、それぞれノードの新規作成、ノードの
名前変更、ノードの削除、ノードの編集を意味する。Edit については、図 5.4 のようにして、Cut,
Copy, Paste が存在し、それぞれノードの切り取り、ノードのコピー、ノードの貼り付けが可能で
ある。

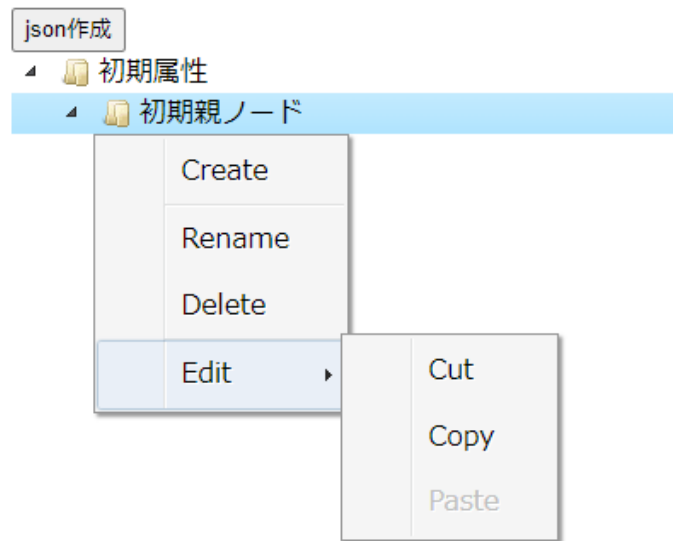


図 5.4 グラフデータ入力補助機能 Edit について

これらの機能を指導者は用いてコンセプトマップのデータをグラフデータとしてグラフデータ
ベースに登録できる。

5.4.3 グラフデータ可視化機能

グラフデータ可視化機能はクライアント側の CytoScape とグラフデータベースを用いて、学習者に自身が獲得した知識をコンセプトマップとして表示する機能である。コンセプトマップは、ノード、エッジ、プロパティで表現されるグラフで、ノードは知識を円で、エッジはノード間の関係性を線で、プロパティはノードとエッジのデータをテキストで表現する。学習者は、学習者は画面に表示されているノードを表す円と円とを結線機能を用いてノード情報を確認しながら結線していく。その後、ノードをタップすることによって学習者の主観的獲得点数を基に背景色を変更できる。背景色は獲得点数の割合が 0%以上 25%未満なら赤、25%以上 50%未満なら橙、50%以上 75%未満なら黄、75%以上 100%以下なら緑と設定できる。そしてシステムが自動的に作成したコンセプトマップと自身のコンセプトマップを比較することにより、コンセプトマップの構造自体の誤りと、自身の主観的学習理解度と客観的学習理解度の違いから学習目標設定の基準となる部分を見つけることができる。

図 5.5 はグラフデータ可視化機能における初期状態の GUI である。



図 5.5 グラフデータ可視化機能における初期状態の GUI

学習者は、画面左半分のノードを見ながらコンセプトマップを構築していく。画面左上部に存在

5.4 本システムにおける各機能の概要

する色の塗られたノードが示すのは獲得点数によるノードの背景色の変化を表している．これを用いて学習者はノードの背景色を決定する．また，画面左上部の edge の数はノードとノード間の結線すべき数を示している．これにより学習者はノードとノード間に何結線すべきかを確認することができる．

続いて，システムが作成したコンセプトマップを確認した際の GUI を図 5.6 に示す．

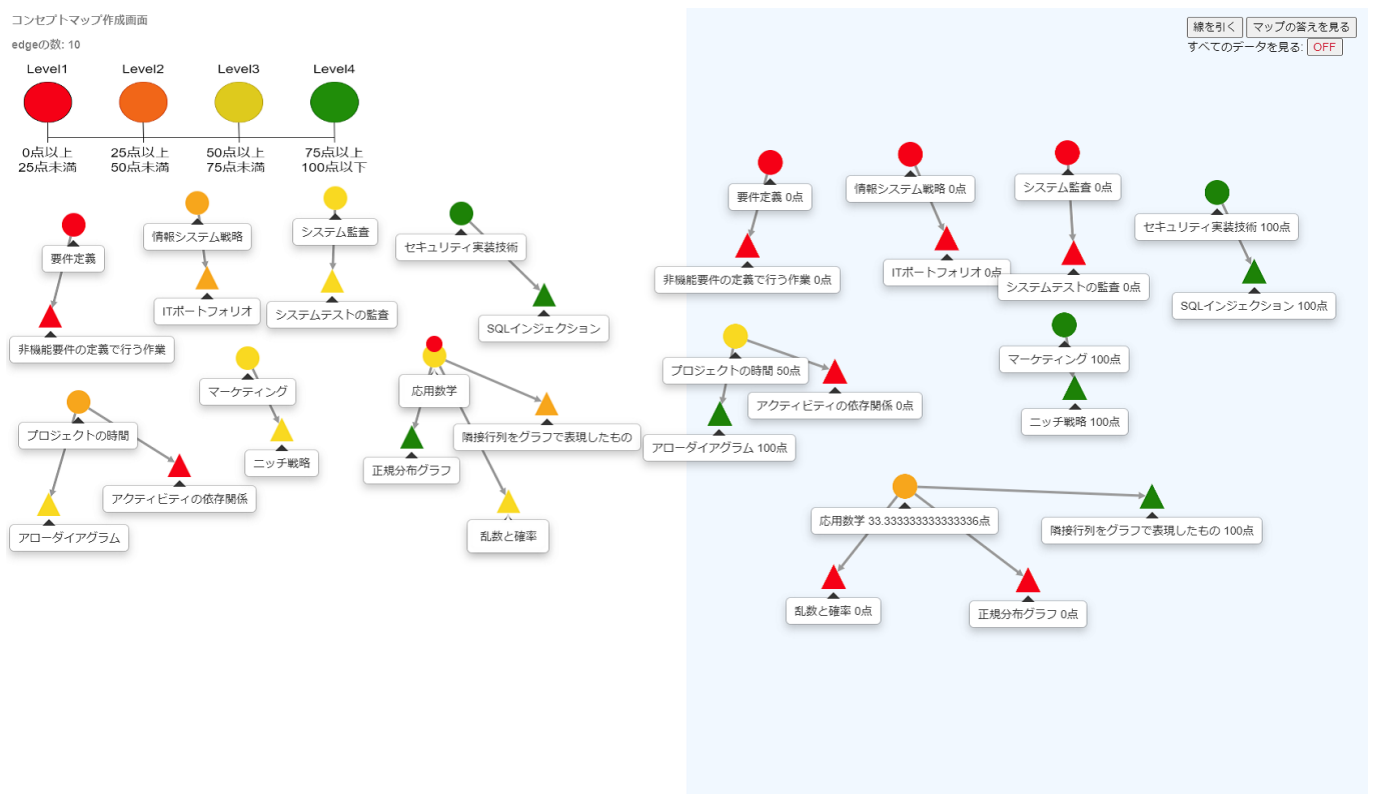


図 5.6 グラフデータ可視化機能におけるコンセプトマップ確認の GUI

システムが自動的に作成したコンセプトマップは画面右側のコンセプトマップである．これは，画面右上の「マップの答えを見る」ボタンをおうかする事により確認できる．それぞれのノードはあらかじめグラフデータベースに登録されたノードと得点に従ってコンセプトマップと各々のノード背景色が決定されている．また，ノードの情報として各ノードにおける学習者の得点情報が記載されている．ただし，親ノードに関する得点は子ノードの平均点の得点となっている．以上の結果から学習者は自身が作成したコンセプトマップの構造を確認し，コンセプトマップの階層構造自体に誤りがないかどうかの確認と，自身の主観的知識獲得量と実際の試験の結果から算出された客観的知識獲得量が一致しているかどうかを確認でき，その結果を基に今後の学習目標設定の基準に本システムを利用できる．

5.5 本システムの運用における指導者の負担

本システムの運用における負担として、グラフデータの入力作業と学習者の試験結果の得点入力作業の2つの負担要素が考えられる。まず、グラフデータの入力作業における負担について述べる。

グラフデータの入力作業において、現在のシステムでは複数の学習分野に関するグラフデータの inputs が不可能である。しかし、一つの学習分野に絞ってグラフデータを作成する場合は本システムはグラフデータ入力補助機能により容易にグラフデータを入力できる。このことから複数の学習分野を教える必要がある指導者にとっては本システムはやや大きい負担がかかることが考えられるが、一分野に関して指導する場合においては少ない負担になるのではと考えられる。

一方、学習者の試験結果の得点入力作業は非常に大きいと考えられる。この理由として現在のシステムでは複数の学習分野、すなわちノードに対して一括で得点を入力する機能がないことが挙げられる。これにより指導者は学生の数 \times 学習分野の数だけ得点データを入力しなければならず非常に負担がかかると考えられる。

上記の理由により、指導者のグラフデータ入力作業の負担はやや大きいですが、学習者の試験結果の得点入力作業に関しては非常に大きな負担であると考えられる。このため本システムでは、機能としてその負担を減らす機能は作成が不十分だったが、入力を補助するスクリプトを作成することにより今回の負担を軽減した。今後本システムを開発するにあたってはこの負担を減らすような機能を作成できればと考えている。

第 6 章

学習者理解度可視化システム

6.1 本章の概要

本章では，学習者理解度可視化システムとしてのシステムにおける具体的な実行手順と，実行手順の中で使用される機能についての詳細を述べる．

6.2 システム実行の流れ

6.2.1 前提条件

本システムを実行する前に満たすべき前提条件を示す．まず，本システムは全て Docker 上で動作するため，Docker を使用できる PC 上でのみ動作する．その PC の必要最低動作環境を表 6.1 に示す．

表 6.1 Docker のシステム要件

Windows	Windows 10 64 ビット : Pro、Enterprise、Education(ビルド 15063 以上) Hyper-V と Windows コンテナ機能の有効化 64 ビット SLAT (Second Level Address Translation) 対応プロセッサ 4GB システムメモリ BIOS レベルでのハードウェア仮想化の有効化
Intel チップの Mac	macOS はバージョン 10.15 またはそれ以降 最小 4GB の メモリ RAM
Apple silicon の Mac	Rosetta 2 のインストール
Linux 系	仮想化のために、64-bit カーネルと CPU のサポート KVM 仮想化のサポート QEMU バージョン 5.2 以上 systemd init システム Gnome または KDE デスクトップ環境 最小 4GB の メモリ RAM ユーザ名前空間で ID マッピングの設定を有効化

以上の条件を満たす PC 上で Docker をインストールすることにより、本システムは使用できる。

6.2.2 システム実行の流れ

本節では、システム実行の流れについて説明する。本システムの利用者は学習者とそれを指導する指導者となるため、両者それぞれのシステム実行の流れを説明する。

指導者

指導者は本システムを立ち上げて学習者が本システムを利用できるようにしなければならない。まず、指導者は本システムを Web サーバーにインストールし、docker コマンドを用いて本システムサーバを立ち上げる。その後 <http://127.0.0.1:7878/> にアクセスすることにより本システムにアクセスすることができる。アクセスした直後の GUI(以下、ホーム画面) を図 6.1 に示す。

ノード2つの名前とその関係性1つを入力してください

node1: node2: relationship:

名前を記入してコンセプトマップを作成しよう

名前:

[ノード全削除](#) [ノード全返却](#) [json作成](#) [score登録](#)

図 6.1 ホーム画面

指導者はホーム画面の json 作成ボタンからグラフデータの入力を開始できる。その後、第 5 章の 5.4.2 節で示した図 5.2 のグラフデータ入力補助機能を用いてグラフデータを入力していく。グラフデータの入力が完了した一例を図 6.2 に示す。

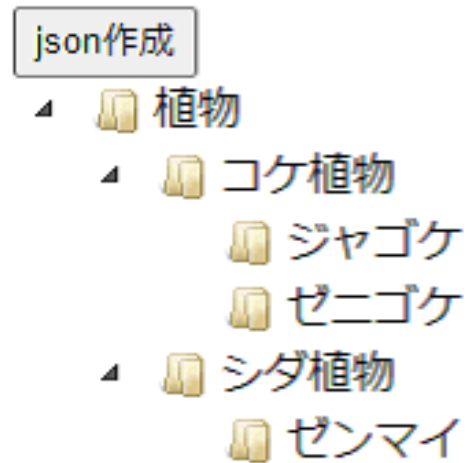


図 6.2 グラフデータ入力一例

グラフデータの入力完了したら json 作成ボタンを押下する事により、グラフデータベースヘデータの登録が完了する。データが登録できたかどうかはホーム画面のノード全返却ボタンを押下して確認するか、<http://127.0.0.1:7474/> にアクセスすれば確認できる。<http://127.0.0.1:7474/> にアクセスした際の GUI を図 6.3 に示す。

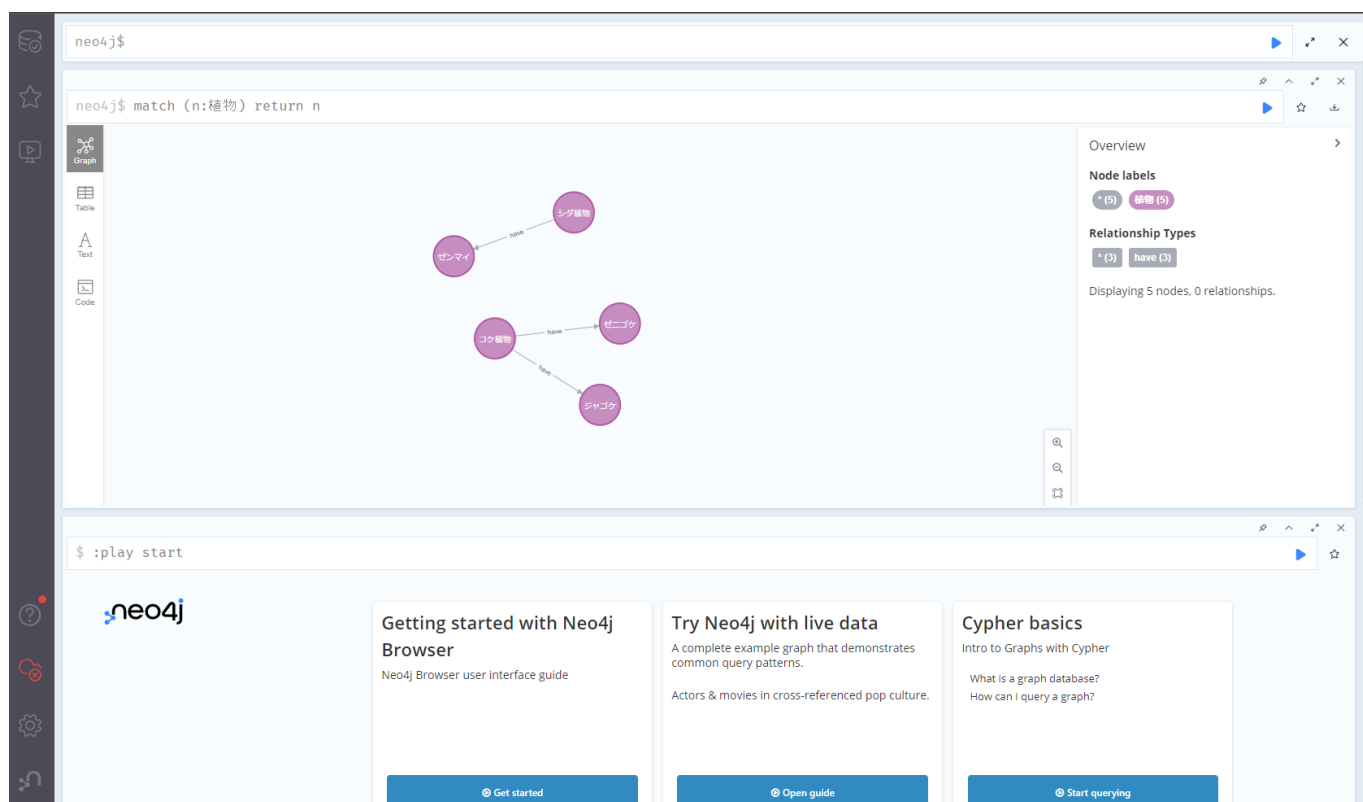


図 6.3 グラフデータ確認画面

図 6.3 のページは Neo4j が提供するページで様々なクエリを発行することによってデータを閲覧できる。今回は MATCH 文を用いて先ほど入力したグラフデータを表示した。

続いて、グラフデータの入力完了したら指導者は学習者に対して試験を実施する。実施後の試験の結果を本システムに登録する必要がある。登録するにはホーム画面の score 登録ボタンから学生の成績を登録できる。score 登録の GUI を図 6.4 に示す。

自分の名前と回答した問題のテーマと問題の得点を入力してください

名前: 問題テーマ: 得点:

[ホーム](#)

図 6.4 score 登録画面

このフォームでは名前の部分に学習者の名前を入力し、問題テーマに先ほど入力したグラフデータの子ノードに当たるものを入力し、得点を入力し、送信ボタンを押下することによって得点の登録が完了する。例えば先ほど図 6.2 で示したゼンマイの問題についてタケルという学習者が 60 点を取った場合は図 6.5 のようにして入力する。

自分の名前と回答した問題のテーマと問題の得点を入力してください

名前: 問題テーマ: 得点:

[ホーム](#)

図 6.5 score 登録の一例

<http://127.0.0.1:7474/> にアクセスしてデータを確認すると図 6.6 のようになっている。

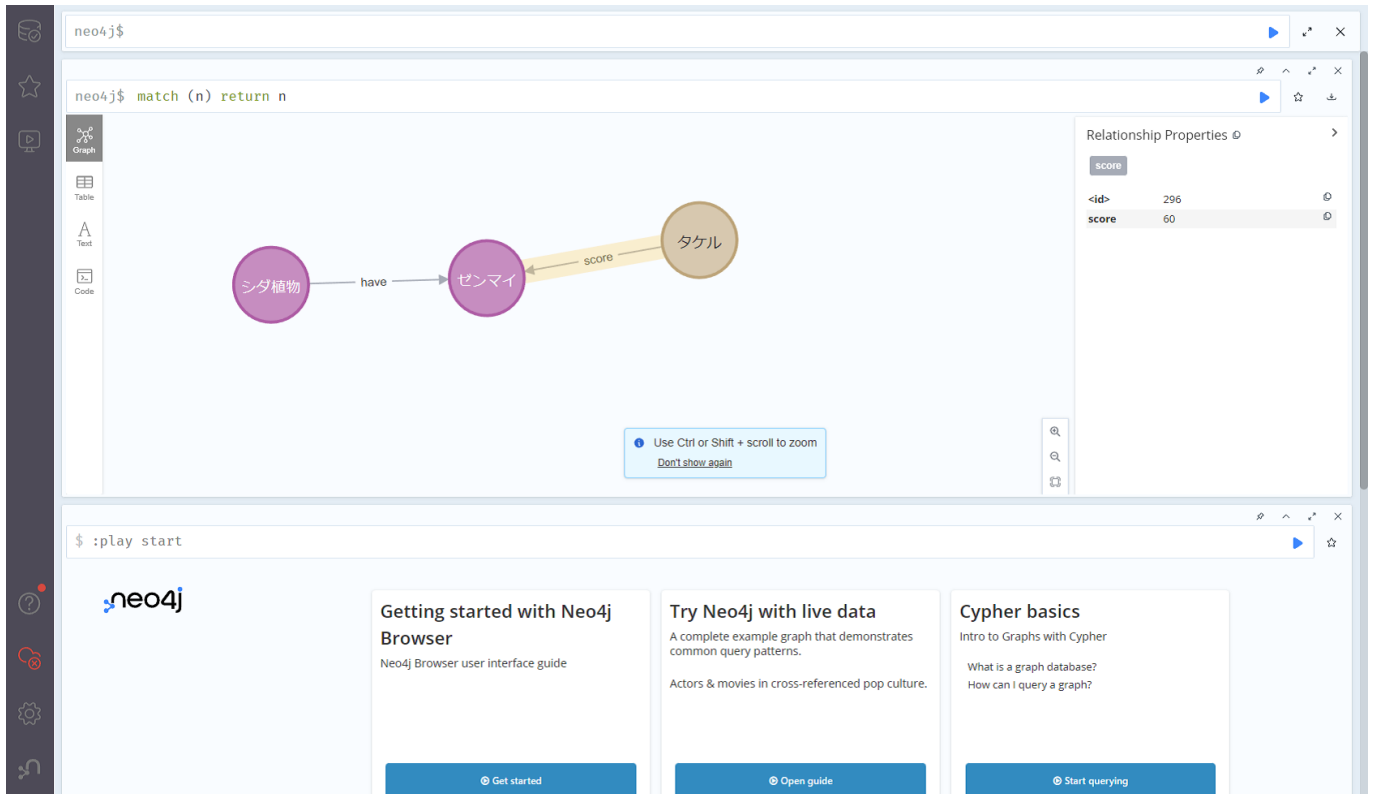


図 6.6 score 登録の確認

図で確認できるようにタケルがゼンマイに対して score を持っており、そのプロパティ内の score が 60 になっていることから先ほど入力した内容が反映されていることを確認できる。

以上の手順をもって、指導者はグラフデータの入力と学習者の成績登録を本システムで実施する。

学習者

学習者はホーム画面の名前入力フォームに自身の名前を入力すればコンセプトマップ作成画面へと移行できる。その一例を図 6.7 に示す。

ノード2つの名前とその関係性1つを入力してください

node1: node2: relationship:

名前を記入してコンセプトマップを作成しよう

名前:

[ノード全削除](#) [ノード全返却](#) [json作成](#) [score登録](#)

図 6.7 名前入力画面

今回は例としてシンジという学習者が本システムを扱うこととしている。名前入力後、シンジは図 6.8 に示されたコンセプト作成画面へと移行できる。



図 6.8 コンセプトマップ作成画面

コンセプトマップ作成画面遷移後、学習者は画面に表示されているノードを表す円と円とを結線機能を用いてノード情報を確認しながら結線していく。結線する数は edge の数で確認し、結線する場合は画面右上の「線を引く」ボタンを押下することによって結線ができる状態に移行する。学習者は自分が思うコンセプトマップを作成していき、最後に試験の主観的獲得点数量に基づいて、ノードをタップすることによってノードの背景色を変更できる。背景色は獲得点数の割合が 0%以上 25%未満なら赤、25%以上 50%未満なら橙、50%以上 75%未満なら黄、75%以上 100%以下なら緑と設定できる。背景色決定後、画面右上の「マップの答えを見る」ボタンによりコンセプトマップの答えを確認できる。その様子を図 6.9 に示す。

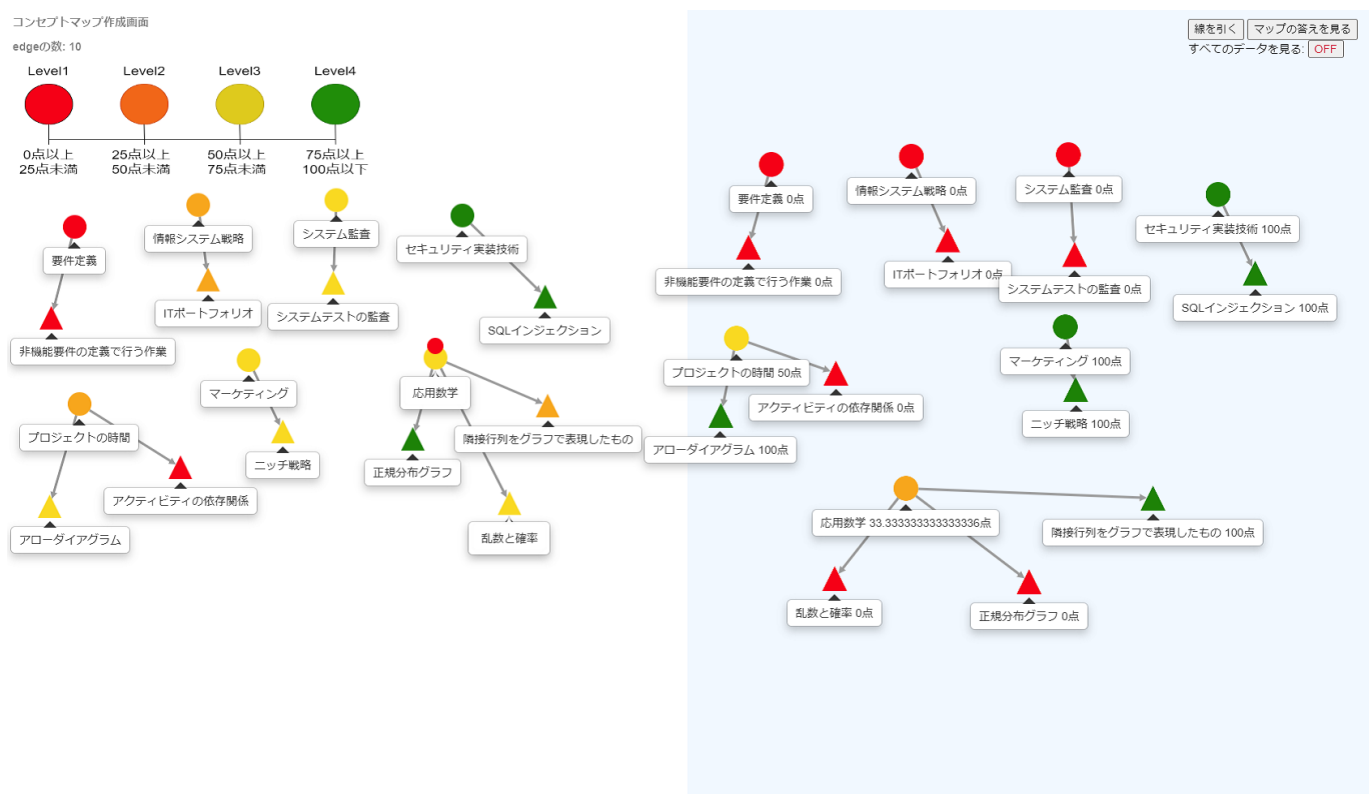


図 6.9 コンセプトマップ確認の GUI

学習者はコンセプトマップ比較時に表示されているデータが邪魔であれば画面右上のすべてのデータを見るボタンを押下することによって、データの表示と非表示を選択できる。また、ノードにマウスを重ねると一つ一つのノード情報を確認することもできる。これらの機能を駆使して学習者は自身が作成したコンセプトマップと、システムが自動的に作成したコンセプトマップを比較することにより、コンセプトマップの誤りがあればそれを修正し、続いてノードの背景色を比較し、自身のその分野に対する学習理解度において認識の齟齬があるかを確認し、誤りがあれば修正していく。

以上の作業で学習者は、自身が学ぶ学習分野において学習構造と学習理解度をコンセプトマップとノードの背景色をもって客観的に自身の学習理解度を認識できるため、学習目標設定の基準にできる。

第 7 章

評価実験

7.1 本章の概要

本章では，開発したシステムの評価実験とその考察について述べる．そして本研究では，学習者が座学における学習目標設定方法による学習と本システムのグラフデータ可視化機能を用いた学習目標設定方法による学習を比較し，有用性を検証するための事前事後テストによる評価実験とアンケートによる利用評価実験を実施した．

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

実験では，基本情報技術者試験の午前試験を基にした，事前テスト事後テストによる座学と比較した本システムによる学習の有用性を検証した．

7.2.1 実験対象者

実験対象者は，情報学科の学生と情報学科を卒業した大学院生 (4 年生:4 名，修士 1 年生:7 名，修士 2 年生:5 名) の 16 名を実験協力者とした．当学科では，3 年生までにプログラミングは勿論ながら様々な情報学についての講義があるため，基本情報処理技術者試験の午前試験に関する知識も備えている．

7.2.2 実験準備

本実験を実施するにあたり，基本情報技術者試験の午前試験に関する事前テスト・事後テストを用意した．学習教材としては事前テストに解説を付属させておりそれを学習教材とした．

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

事前テスト、事後テストはともに10点満点として、事前テスト・事後テストは同レベルの別の問題を使用した。事前テストと事後テストはGoole From上で解答してもらった。事前テストの内容を図7.1～図7.3に示す。事後テストの内容を図7.4～図7.6に示す。学習教材の例を図7.7、図7.8に示す。

事前テスト

フォームの説明

メールアドレス *

有効なメールアドレス

このフォームではメールアドレスが収集されます。 [設定を変更](#)

Random(n)は、0以上n未満の整数を一樣な確率で返す関数である。整数型の変数A、B及びCに対して次の一連の手続を実行したとき、Cの値が0になる確率はどれか。

```
A = Random(10)
B = Random(10)
C = A - B
```

ラジオボタン

テクノロジー系・応用数学・乱数と確率

<input type="radio"/> 1/100	×
<input type="radio"/> 1/20	×
<input checked="" type="radio"/> 1/10	✓
<input type="radio"/> 1/5	×
<input type="radio"/> 選択肢を追加 または 「その他」を追加	

☒ 解答集を作成 (1ポイント)

必須 ☒

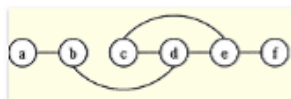
図 7.1 事前テスト問題例 1

ノードとノードの間のエッジの有無を、隣接行列を用いて表す。ある無向グラフの隣接行列 ^{*} が次の場合、グラフで表現したものはどれか。ここで、ノードを隣接行列の行と列に対応させて、ノード間にエッジが存在する場合は1で、エッジが存在しない場合は0で示す。

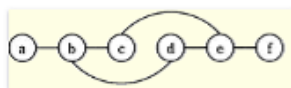
テクノロジ系・応用数学・隣接行列をグラフで表現したもの

	a	b	c	d	e	f
a	0	1	0	0	0	0
b	1	0	1	1	0	0
c	0	1	0	1	1	0
d	0	1	1	0	0	0
e	0	0	1	0	0	1
f	0	0	0	0	1	0

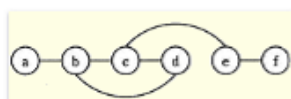
☐ ア



☐ イ



☐ ウ



☐ エ

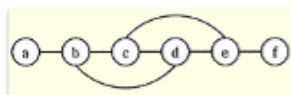


図 7.2 事前テスト問題例 2

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

☐ ノートン・ユーザが明確に決定されていること

☐ テスト計画は利用者側の責任者だけで承認されていること

☐ テストは実際に業務が行われている環境で実施されていること

☐ テストは利用者側の担当者だけで行われていること

情報化投資において、リスクや投資価値の類似性でカテゴリ分けし、最適な資源配分を行う際に用いる手法はどれか。 *

ストラテジ系・情報システム戦略・ITポートフォリオ

☐ 3C分析

☐ ITポートフォリオ

☐ エンタープライズアーキテクチャ

☐ ベンチマーキング

非機能要件の定義で行う作業はどれか。 *

ストラテジ系・要件定義・非機能要件の定義で行う作業

☐ 業務を構成する機能間の情報(データ)の流れを明確にする。

☐ システム開発で用いるプログラム言語に合わせた開発基準、標準の技術要件を作成する。

☐ システム機能として実現する範囲を定義する。

☐ 他システムとの情報授受などのインタフェースを明確にする。

図 7.3 事前テスト問題例 3

事後テスト

事後テストです


メールアドレス *

有効なメールアドレス

このフォームではメールアドレスが収集されます。 [設定を変更](#)

Random(n)は、0以上n未満の整数を一樣な確率で返す関数である。整数型の変数A、B及びCに対して次の一連の手続を実行したとき、Cの値が0になる確率はどれか。

```
A = Random(5)
B = Random(5)
C = A - B
```



☒ ラジオボタン

テクノロジー系・応用数学・乱数と確率

☐ 1/5
 ✓
✕

☐ 1/20

✕

☐ 1/100



✕

☐ 1/10

✕

☐ 選択肢を追加 または [「その他」を追加](#)

☒ 解答集を作成 (1 ポイント)

必須 ☒

⋮

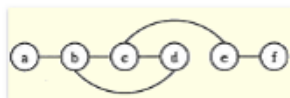
図 7.4 事後テスト問題例 1

ノードとノードの間のエッジの有無を、隣接行列を用いて表す。ある無向グラフの隣接行列 ^{*} が次の場合、グラフで表現したものはどれか。ここで、ノードを隣接行列の行と列に対応させて、ノード間にエッジが存在する場合は1で、エッジが存在しない場合は0で示す。

テクノロジ系・応用数学・隣接行列をグラフで表現したもの

	a	b	c	d	e	f
a	0	1	0	0	0	0
b	1	0	1	1	0	0
c	0	1	0	1	1	0
d	0	1	1	0	0	0
e	0	0	1	0	0	1
f	0	0	0	0	1	0

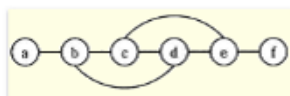
☐ ア



☐ イ



☐ ウ



☐ エ

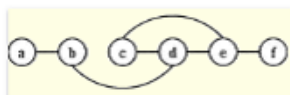


図 7.5 事後テスト問題例 2

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

☐ ノートワークへの記載が明確に行われていること

☐ テスト計画は利用者側の責任者だけで承認されていること

☐ テストは実際に業務が行われている環境で実施されていること

☐ テストは利用者側の担当者だけで行われていること

情報化投資において、リスクや投資価値の類似性でカテゴリ分けし、最適な資源配分を行う *
際に用いる手法はどれか。

ストラテジ系・情報システム戦略・ITポートフォリオ

☐ 3C分析

☐ ITポートフォリオ

☐ エンタープライズアーキテクチャ

☐ ベンチマーキング

非機能要件の定義で行う作業はどれか。 *

ストラテジ系・要件定義・非機能要件の定義で行う作業

☐ 業務を構成する機能間の情報(データ)の流れを明確にする。

☐ システム開発で用いるプログラム言語に合わせた開発基準、標準の技術要件を作成する。

☐ システム機能として実現する範囲を定義する。

☐ 他システムとの情報授受などのインタフェースを明確にする。

図 7.6 事後テスト問題例 3

正解に対するフィードバック

Random(10)の返す値は整数0～9なので、Aがとり得る値は10種類、Bも同様に10種類となります。これより、確率の分母となるAとBの組合せ総数は次のように計算できます。

10通り×10通り=100通り

Cの値が0、すなわち「 $A-B=0$ 」となるのは、AとBが同じ値のときのみです。これは、 $A=B=0$, $A=B=1$, ..., $A=B=9$ というように全部で10通りあります。

したがって、Cの値が0になる確率は、

10通り／100通り=1／10

となります。

不正解に対するフィードバック

Random(10)の返す値は整数0～9なので、Aがとり得る値は10種類、Bも同様に10種類となります。これより、確率の分母となるAとBの組合せ総数は次のように計算できます。

10通り×10通り=100通り

Cの値が0、すなわち「 $A-B=0$ 」となるのは、AとBが同じ値のときのみです。これは、 $A=B=0$, $A=B=1$, ..., $A=B=9$ というように全部で10通りあります。

したがって、Cの値が0になる確率は、

10通り／100通り=1／10

となります。

完了

図 7.7 学習教材例 1

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

正解に対するフィードバック

ITポートフォリオは、ポートフォリオの考え方を情報化投資戦略に応用したものです。
IT投資をその目的やリスクの特性ごとにカテゴライズし、そのカテゴリごとに投資割合を管理することで、限りある経営資源を有効に配分することが可能になります。経済産業省が提唱するモデルでは「戦略目標達成型」「業務効率化型」「インフラ構築型」の3つのカテゴリに分類した後、いくつかの評価項目を用いて優先順位を決定します。

- 3C分析
3C分析は、マーケティング分析に必要不可欠な3要素、顧客(Customer)、自社(Company)、競合他社(Competitor)について自社の置かれている状況を分析する手法です。

- ITポートフォリオ
正しい。

- エンタープライズアーキテクチャ
エンタープライズアーキテクチャは、組織の全体最適化の観点より、業務及びシステム双方の改革を実践するために、業務及びシステムを統一的な手法でモデル化し、改善することを目的とした、設計・管理手法です。

- ベンチマーキング
ベンチマーキングは、自社の製品・サービス及びプロセスを定量的・定性的に測定し、それを業界で最も成功を収めている企業(ベスト企業)のものと比較しそのギャップを把握する分析手法です。

不正解に対するフィードバック

ITポートフォリオは、ポートフォリオの考え方を情報化投資戦略に応用したものです。
IT投資をその目的やリスクの特性ごとにカテゴライズし、そのカテゴリごとに投資割合を管理することで、限りある経営資源を有効に配分することが可能になります。経済産業省が提唱するモデルでは「戦略目標達成型」「業務効率化型」「インフラ構築型」の3つのカテゴリに分類した後、いくつかの評価項目を用いて優先順位を決定します。

- 3C分析
3C分析は、マーケティング分析に必要不可欠な3要素、顧客(Customer)、自社(Company)、競合他社(Competitor)について自社の置かれている状況を分析する手法です。

- ITポートフォリオ
正しい。

- エンタープライズアーキテクチャ
エンタープライズアーキテクチャは、組織の全体最適化の観点より、業務及びシステム双方の改革を実践するために、業務及びシステムを統一的な手法でモデル化し、改善することを目的とした、設計・管理手法です。

- ベンチマーキング

図 7.8 学習教材例 2

表 7.1 実験結果

	事前テスト		事後テスト	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
本システム	6.875	1.726	9.000	0.925
座学	6.875	1.552	7.625	1.597

7.2.3 実験手順

まず、実験対象者 16 名に対して事前テストを実施した。次に、事前テストの平均点が均等になるように 8 名ずつの 2 グループに分割した。それぞれのグループをシステム利用者群、システム非利用者群とし、事前テストの結果と学習教材を基に各々のグループには学習目標を立ててもらい学習してもらった。ただし、学習期間は 3 日間で合計 3 時間の学習時間とした。両グループの学習終了後に実験対象者 16 名に事後テストを実施した。

7.2.4 実験結果

実験の結果を表 7.1 に示す。表 7.1 に示されるように、事後テストの点数の標準偏差は小さいため、実験対象者はシステム利用者群とシステム非利用者群ともに一定の水準の学習レベルに到達したと考えられる。

事前テストと事後テストを受けた実験対象者全体の平均点、中央値、点数の範囲等の分析情報を図 7.9、図 7.10 に示す。

図 7.9 と図 7.10 内に示されている「誤答の多い質問」は正答率が 50% 未満の問題が表示されるが、事前テストでは 2 問あったが事後テストではなくなっていることから、実験対象者は本システムを利用した学習と座学でのみ学習した者たち共に、点数の上昇に限らず、知識を偏りなく習得できていることが確認できる。また、表 7.1 より、座学すなわちシステム非利用者群の平均点が 0.75 点増えているのに対し、本システム利用者群の平均点は 2.125 点上昇している。

以上の結果から、座学で学習したシステム非利用者群と比較して、本システムを利用して学習したシステム利用者群の方がより高い点数が得られたことが確認できた。

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

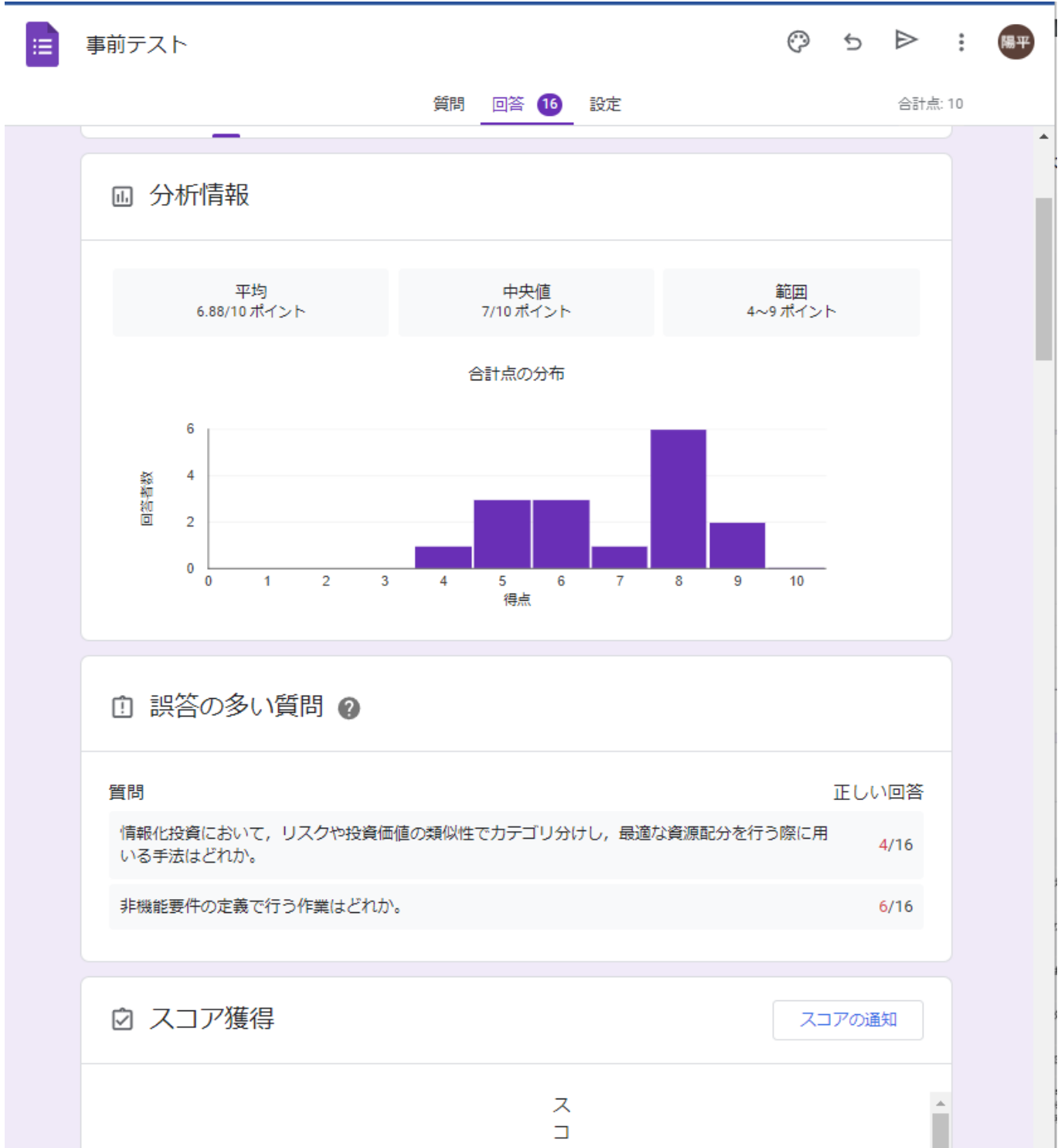


図 7.9 事前テストの全体結果

7.2 座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験

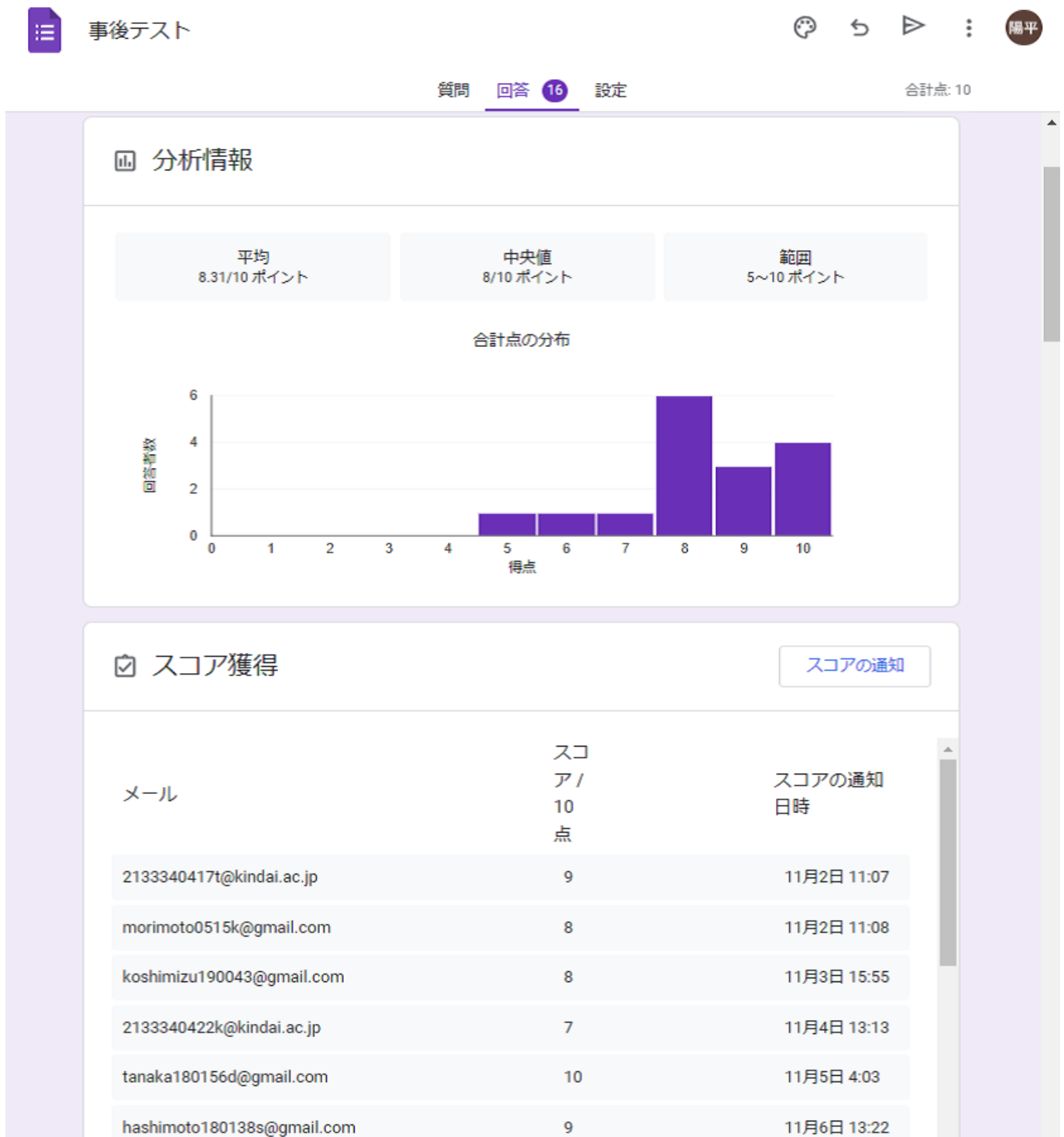


図 7.10 事後テストの全体結果

表 7.2 システム非利用者群の利用評価実験におけるアンケート結果

設問	評価
事前テストの主観的問題難易度はどうでしたか.	2.6
事後テストの主観的問題難易度はどうでしたか.	2.3
事前テストにおける得点の割合は全体を通してどの程度あると思っていましたか.	3.6
事後テストにおける得点の割合は全体を通してどの程度あると思っていましたか.	4.0
事前テストの主観的得点と実際に返却された得点はどの程度離れていましたか.	2.3
事後テストの主観的得点と実際に返却された得点はどの程度離れていましたか.	2.3
フィードバックはどの程度役に立ちましたか？.	3.5

表 7.3 システム利用者群の利用評価実験におけるアンケート結果

設問	評価
事前テストの主観的問題難易度はどうでしたか.	2.8
事後テストの主観的問題難易度はどうでしたか.	2.1
事前テストにおける得点の割合は全体を通してどの程度あると思っていましたか.	3.6
事後テストにおける得点の割合は全体を通してどの程度あると思っていましたか.	4.3
事前テストの主観的得点と実際に返却された得点はどの程度離れていましたか.	2.3
事後テストの主観的得点と実際に返却された得点はどの程度離れていましたか.	1.5
フィードバックはどの程度役に立ちましたか？.	3.6

7.3 本システムの利用評価実験

最後に本システムの利用評価実験を実施した。実験対象者は座学と比較した本システムによる学習の有用性検証実験に参加した実験対象者 16 名全員に対してアンケートによる利用評価実験を行った。利用評価実験で使用したアンケートは 1～5 の 5 段階評価で実施し、最後に自由記述欄を設けた。

システム非利用者群のアンケート結果を表 7.2、システム利用者群のアンケート結果を表 7.3 に示す。

アンケート結果から「事前テストの主観的問題難易度はどうでしたか」、「事後テストの主観的問題難易度はどうでしたか」という設問に対して、両群ともに数値が低く、問題難易度が低いと認識していたようである。「事前テストにおける得点の割合は全体を通してどの程度あると思っていましたか」、「事後テストにおける得点の割合は全体を通してどの程度あると思っていましたか」という設問でも、両群ともに事前テストでは 7 割程度、事後テストでは 8 割程度得点出来ていると認識していたようである。「事前テストの主観的得点と実際に返却された得点はどの程度離れていましたか」という設問に対しても両群ともに同じ割合分ギャップを感じていたようである。一方「事後テストの主観的得点と実際に返却された得点はどの程度離れていましたか」という設問に対してシ

システム非利用者群は2.3，システム利用者群は1.5と0.8もの差が開いている．このことからシステム利用者群はシステム非利用者群と比べて，自分の主観的学習理解度と実際に返却された学習理解度に差がなかったことが表されている．すなわち，システム利用者の方がシステム非利用者と比べて，学習者自身の学習内容に対する主観的理解度と客観的理解度に差がなかったことが分かった．この結果から，システム利用者群は正しく自身の学習進行度を理解できていたため，表7.1で示されたようにシステム非利用者群より事後テストの得点が上昇していたのではと考えられる．

第 8 章

結論

謝辞

本研究を遂行するに当たり，熱心な御指導および御鞭撻をいただきました井口信和教授に深く感謝いたします。また，実験にご協力いただきました被験者の方々に深く感謝いたします。さらに，ネットワーク研究室の皆様をはじめ，研究活動を支えてくださりました皆様に深く感謝いたします。

参考文献

参考文献

- [1] 文部科学省. 教育の情報化に関する手引」について. 入手先<https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/mext_00117.html>. 参照 (2022-01-15).
- [2] 三浦邦夫. e ラーニングの導入方法. 経団連, 5 1995.
- [3] 油谷知岐, 瀬田和久, 林佑樹, 池田満. セマンティックな教材による学習目標設計スキル育成支援. JSiSE2020 第 45 回全国大会, pp. 65–66, 2020.
- [4] J. D. Novak and D. B. Gowin. *Learning How to Learn*. Cambridge University, 1984.
- [5] 東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平崎宗. 誤りの可視化による階層構造の理解を指向したコンセプトマップ構築学習の支援環境. 教育システム情報学会誌, Vol. 30, No. 1, pp. 42–53, 2013.
- [6] 野村湧司, 林利憲, 荻野哲男, 角谷和俊. 教育コンテンツ上での理解度の再確認支援方法. 情報処理学会研究報告, Vol. 2017, No. 5, pp. 1–6, 2017.
- [7] 平塚紘一郎, 田中洋一, 澤崎敏文. 「学習成果の可視化」システムの構築— e ポートフォリオ mahara の活用 —. 仁愛女子短期大学研究紀要, Vol. 45, pp. 25–29, 2012.
- [8] Tsukasa Hirashima, Kazuya Yamasaki, Hiroyuki Fukuda, and Hideo Funaoi. amework of kit-build concept map for automatic diagnosis and its preliminary us. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning, APSCE*, Vol. 10, No. 1, pp. 1–21, 2015.
- [9] 西川孝二, 塩谷将一, 下川尚亮, 岡田信人, 石田崇. グラフデータベース neo4j による学習ポートフォリオ作成支援システム. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2015 講演論文集, Vol. SS22-3, pp. 486–487, 2015.
- [10] 山口悦司, 稲垣成哲, 福井真由美, 舟生日出男. コンセプトマップ：理科教育における研究動向とその現代的意義. 理科教育学研究, Vol. 43, No. 1, pp. 29–51, 2002.
- [11] 斎藤一, 大内東, 前田隆. 構造モデリングと概念地図を用いた概念形成支援法とそのシステムの試作. 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-I, No. 9, pp. 1431–1439, 2001.

研究発表