

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 序論	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 システム要件	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	20
6 学習者理解度可視化システム	21

7 評価実験	23
8 結論	25
謝辞	27
参考文献	29
研究発表	33

第 1 章

序論

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

システム要件

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。

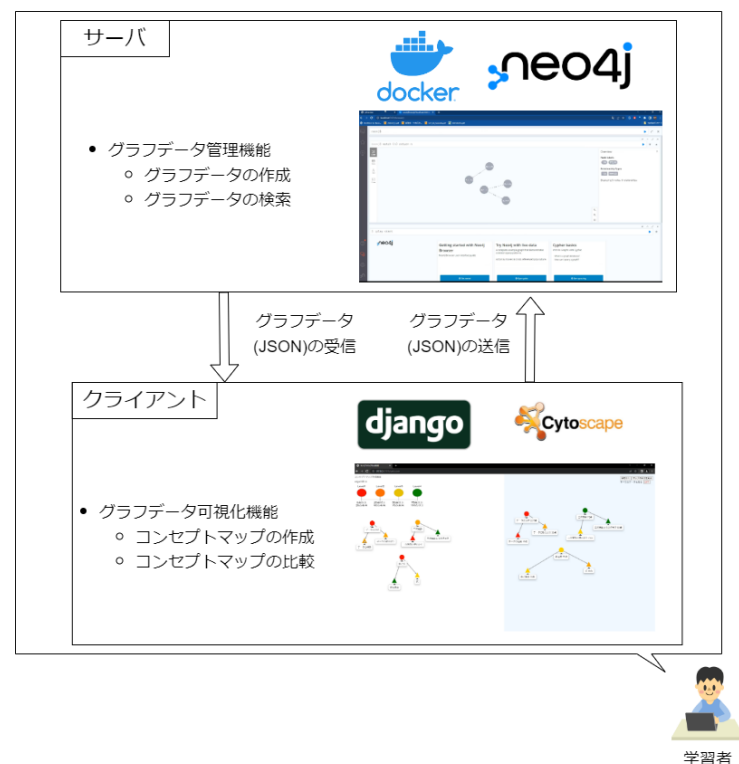


図 5.1 システム構成

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。

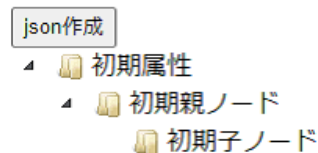


図 5.2 グラフデータ入力補助機能初期状態

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。

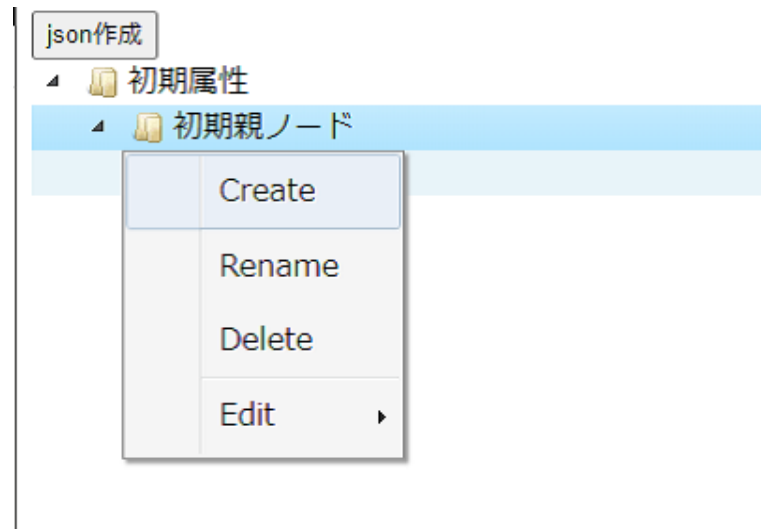


図 5.3 グラフデータ入力補助機能編集状態

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。

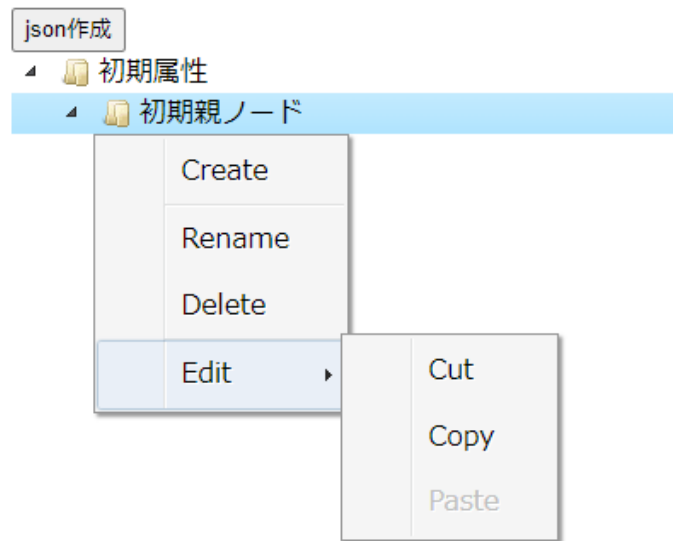


図 5.4 グラフデータ入力補助機能 Edit について

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。画面左丈夫に存在

5.5 本システムの運用における指導者の負担

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.

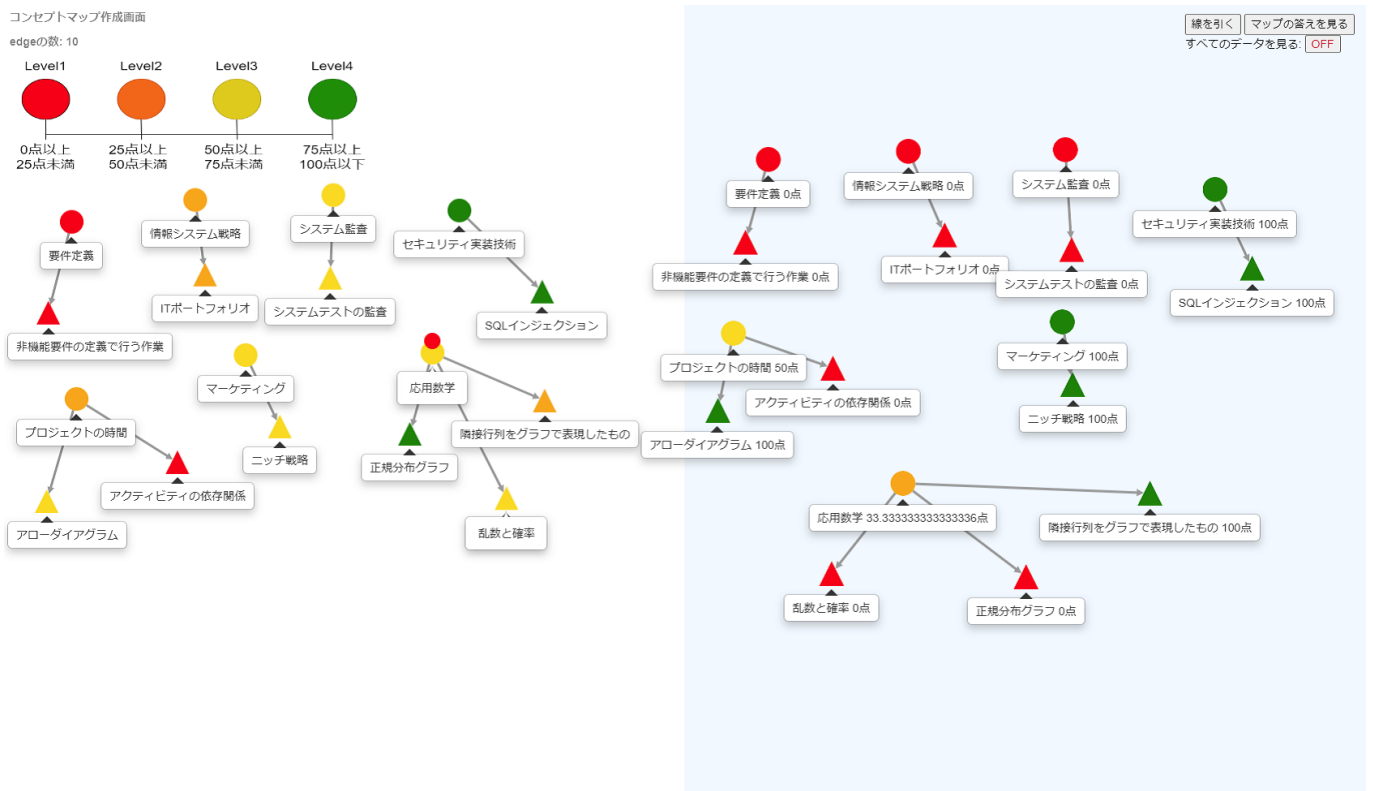


図 5.6 グラフデータ可視化機能におけるコンセプトマップ確認の GUI

5.5 本システムの運用における指導者の負担

第 6 章

学習者理解度可視化システム

第 7 章

評価実験

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