

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04227

研究課題名(和文) 概念マップ相互再構成法を用いた協調的知識構築環境の設計・開発

研究課題名(英文) Online collaborative environment for knowledge building with reciprocal kit-building of concept map

研究代表者

平嶋 宗 (Hirashima, Tsukasa)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：10238355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、概念マップ相互再構成法を用いたオンライン利用可能な協調的知識構築環境の設計・開発と、実験的評価を行った。概念マップ相互再構成法は、複数の学習者がそれぞれ同時の概念マップを作成し、それを互いに交換して再構成を行い、再構成されたマップと元のマップとの差分を抽出することで、互いの理解の差分が可視化されるとするものであり、議論の活性化に効果的であることが分かっている。本研究では、概念マップ相互再構成法をオンライン上で複数人によって同期的に実施可能にする環境を設計開発し、協調的知識構築における有効性を通常概念マップ作成との比較で検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

知識構築を目的とした話し合いを実質化するうえで、話し合いの参加者が「相手の理解」を理解することが重要な役割を持つ。この相手の理解の理解を促進する方法はこれまでに様々に提案されてきているが、操作的な定義を行った例はこれまでに存在しておらず、したがって具体的な支援も難しかったといえる。本研究は、相手の理解の理解を「相手の概念マップの再構成」として操作的に定義し、その再構成が学習効果を持つことを確認している。本研究は、この「概念マップの再構成としての相手の理解の理解」をオンライン上で協調活動として実施できる環境を実装し、その有効性を実証することで、話し合いの実質化のための有力な方法を提案できた。

研究成果の概要(英文)： Online available environment for collaborative knowledge building with reciprocal kit-building of concept maps was designed and developed, and experimental evaluation of the environment was conducted in this research. In the reciprocal kit-building of concept maps, learners are requested to create a concept map individually at first, then, they exchange the components and re-compose concept maps with each other. By overlapping the original map and re-composed map, the differences are extracted. It was confirmed that the visualized differences were effective to activate the discussion among learners. In this research, an environment where several learners are allowed to access at the same time online and to conduct reciprocal kit-building has been implemented. Through the experimental use of the environment, it was confirmed that the environment promoted discussion and knowledge building of participants more than the usual concept map creation tool.

研究分野：教育工学

キーワード：知識構築 協調活動 他者理解 概念マップ 相互再構成法

### 1. 研究開始当初の背景

概念マップは理解の図的表現方法としての有用性が認められており、教育においても広く用いられている。しかしながら、個々の学習者が独自に作る概念マップは人にとっても計算機にとっても可読性が低く、その評価や共有が大きな問題となっていた。申請者らは、概念マップの自動評価の実現を指向して、教育利用を目的としたキットビルド概念マップを提案し、その有用性を検証してきた。キットビルド概念マップにおいては、教材理解の見本的な概念マップを教師などのエキスパートが作成する。この概念マップを分解して部品化したうえで、学習者に提供する。学習者は、自身の教材理解を踏まえたうえで、与えられた部品から概念マップを再構成する。この再構成活動は、概念マップの部品に関しては再生ではなく再認活動となっているが、部品間の関係づけに関しては、そのまま維持されており、再構成の結果は学習者の理解状態は反映されると期待できる。また、元の概念マップと再構成された概念マップを重ねることで、差分を抽出することができるため、評価の自動化も可能となっている。

先行研究においては、このキットビルド概念マップを用いた活動が、通常概念マップ作成と比較して、より高い学習効果を期待できることが実験的に示されている。また、概念マップの自動評価の結果が、人手による概念マップと高い相関を示すと共に、人手による評価において発生する評価のぶれを持たず、また、その評価値の算出根拠も明確であるため、概念マップの評価法としての優位を持つことが確認できている。

さらに、協調的な活用としては、相互再構成法が提案され、ペア学習における議論の活性化効果が確認されていた。従来のキットビルド概念マップでは、教師などの教材のエキスパートが元となる概念マップを作成していた。これに対して総合再構成法では、それぞれの学習者が自身の理解を反映した概念マップを作成する。そして、その概念マップを部品化してペアの学習者に提供し、ペアの学習者が再構成を行う。再構成された概念マップは、従来のキットビルド概念マップの場合と同様に元の概念マップとの重畳・差分の抽出が可能となる。この差分をペアとなる学習者同士で共有することが可能となる。相互再構成法を用いてこの可視化された差分を共有する場合と、単純にお互いが概念マップをそのままの形で見せ合い共有する場合を比較した場合、相互再構成法を用いて差分を可視化・共有化した場合のほうが、ペアで行われる話し合いの質・量が向上することが実験的に確認されている。

### 2. 研究の目的

先行研究において、キットビルド概念マップの有用性および相互再構成法の協調学習における可能性が確認されていた。これらのことをベースとして、概念マップ相互再構成法を用いた協調的知識構築環境の設計・開発およびその評価が本研究の目的である。先行研究での相互再構成法の利用においては、議論の活性化は確認されていたが、協調学習の成果物である知識に関しては検証できていなかった。したがって、相互再構成法を用いた場合の知識構築の効果を検証する必要がある。また、総合再構成法の一連の活動をオンラインで実施する環境は先行研究では実装されていなかった。このため、ペアの学習者に活動において、学習者1の概念マップに対する再構成活動と学習者2の概念マップに対する再構成活動は、従来のキットビルド概念マップシステム上で別個に行われ、さらに、それらの差分の提示と話し合いはオフラインの状態で行うものであった。したがって、これら一連の活動をオンラインで行う環境の構築が必要となった。この環境は実装されれば、3名以上の学習者による協調学習も可能となる。

### 3. 研究の方法

本研究では、まず、知識構築としての有効性の評価実験を行った。この評価実験では、個別学習後に個別の概念マップを作成させ、そのあとで協調活動を行わせ、この協調活動の結果としての概念マップをグループとして作成させている。そして、個別概念マップとグループ概念マップの差分として、協調的知識構築を評価した。

次に、オンラインでの協調的知識構築環境の設計・開発とその有効性の実験的検証を行った。実装は、WebSocket 技術を用いることで、従来の要求ベースの HTTP コミュニケーションの制約を解消して、リアルタイムの能動的クライアント・サーバとして実現している。実験的評価は、協調的な概念マップ作成を、本研究で開発しているキットビルド方式を用いた群を実験群とし、従来型のスクラッチビルド概念マップを用いた群を統制群として、両群の活動及び成果を比較することにより行った。さらに、オンラインでの教材提供を容易とするための、教材オーサリング機能についても設計・開発した。このオーサリング機能は、教材に対する自然言語技術を適用し、システムによる提案と教材作成者による決定・修正の協調的な活動として教材作成を行うものとなっている。評価は、オーサリング機能なしの作成と、オーサリング機能を用いた作成の実験的比較により行っている。

#### 4. 研究成果

##### 知識構築としての有効性の評価

(1) 個々の学習者のマップとグループとしてのマップの差分, (2) グループとしてのマップに与える個々の学習者のマップの影響, (3) 活動に対する学習者の感想, について分析を行った. 実験的な利用は, 大学の代数学の授業として行っている. (1) に関しては, 概念マップに含まれる正しい命題の割合が, 個人のマップに対してペアのマップでは30%弱増加し, 重大な間違いを含んだ命題の数は, 1/4に減少した. 個人のマップに対してグループのマップが改良されていることは, 協調的知識構築が効果的に行われていることを示唆している. (2) に関しては, グループマップにおいて, 2割がどちらの学習者のマップにも存在しない命題となっており, 単に個人のマップを集めたばかりでなくことが確認できた. このことから, 話し合いによる知識構築が実質を伴ったものであることが示唆される. (3) に関しては, 大部分の学習者が他者のマップの再構成が簡単でないこと, および元のマップとの差分が可視化されることが, 話し合いで有用であったと回答している. また, 個人のマップに対してグループマップが改良されたものとなっており, また, そのために差分に関しての話し合いが有用であったとしている. 結果として, 活動に対する有用性の認識及び満足度が高いことを示す結果が得られた. オンライン統合環境の実現前の結果としては十分なものであるといえる.

この結果を踏まえて, さらにグループ構成, つまりグループの参加者である個々の学習者のマップの関係の分析を行った. この分析では, 個々の学習者のマップの正しさを表すマップスコアと, グループの学習者のマップ間の類似度と, グループマップのマップスコアを用いた. 結果として, マップスコアの類似度はグループマップのスコアに影響しないが, グループを構成する学習者個々のマップスコアはグループマップのスコアに影響するとの結果が得られた. このことは, グループフォーメーションにおける有用な知見といえる.

##### 協調的知識構築オンライン環境の設計・開発と実験的評価

個人でマップ作成と共同でのマップ作成及びマップに関する協調的な話し合いとその共有をオンラインでリアルタイムに行う環境を設計・開発し, 実験的な利用を通して評価した. 実装はウェブソケット技術を用い, Socket.io ウェブアプリケーションとして協調サーバを実装し, 再構成用アプリケーションをクライアントとして実装した. この環境では, オンライン上で複数の学習者が同じキットと概念マップを利用・操作できるようになっており, ある学習者の操作はリアルタイムで他の学習者の画面に反映される. また, 単に参加者の操作を共有できるだけでなく, 個々の部品(ノード及びリンク), およびマップ全体に対しての意見表明ができるようになっており, ある学習者がある部品を指定してその部品に対する意見を記載すると, そのことは他の学習者の画面においても, その部品に対して意見が提出されたことを示す表示が与えられる. その部品の指定することで, その意見を読むこと及びその意見に対する反応を与えることも可能となっている. また, マップ全体に対する意見表明も, 個々の部品表明とは別に行えるようになっている. これらによって, 一般的な協調学習環境で実現されている協調活動がキットビルド概念マップにおいても実現されたことになる. なお, 命題に対する意見表明については, 二つのノードをリンクでつなぐことで一つの命題が構成されることから, リンクに対する意見表明として行うことになる.

予備的利用では, 主にシステムの使い勝手の調査と位置づけ, 95名の学部学生に利用してもらったうえで, Online Cooperative Learning Application スケールを用いたアンケート調査を行った. 結果として, ポジティブ項目に関しては, すべての項目においてポジティブな回答が有意に多かった. ネガティブ項目に関しては, 「システムにおいて他者が頼ってくるのが好ましくなかった」とする項目を除いて, ネガティブな回答が有意に多かった. 当該の項目はネガティブ項目ではあるものの, 協調活動が活発に行われた結果としての負担分散の問題であり, 今後の検討課題ではあるものの, システムとしての問題点であるとは言えない. したがって結果として概ね良好といえる結果が出たといえるため, 学習効果を測定するための授業での試験的利用に進んだ.

授業での試験的利用の参加者は, 40名の大学院博士前期課程の学生であり, 20名ずつの二つの群(統制群と実験群)に分け, 統制群は通常概念マップ作成(スクラッチビルド)を行わせ, 実験群はキットビルドを用いた概念マップの組立を行わせている. まず教材内容に関しての講義を行い, そのあと, マップ作成・組立活動を行わせている. マップ作成・組立活動の前後でテストを実施し, さらに10日後に遅延テストを実施した. テストは多肢選択問題であり, 15問中の8問はキットビルド概念マップにおける元のマップで直接解答できるものであり, 残りの7問は, 元のマップがカバーしていないものとなっている. これによってキットビルド概念マップにおいて取り扱われていない内容に対しての影響も調査している.

事前テスト, 事後テスト, 遅延テストのスコアをそれぞれ分析したところ, マップで取り扱われている問題に関しては, 両群のスコアについては, 事前テストで差がなく, 事後及び遅延において有意な差があることが示された. テスト条件下のスコアについては, 両群とも事前テストに対して事後テストで有意なスコアの向上があり, 事後と遅延では有意な降下および事前と遅延では有意な向上が見られた. このことは, 両群ともマップ作成・組立による学習効果が見られているものの, 協調学習環境におけるキットビルドとしてのマップの組立が, スクラッチビルド

よりも高い学習効果を期待できることを示している。

マップで取り扱われていない問題に関しては、両群のスコアの比較において、事前テスト、事後テスト、遅延テストのいずれにおいてもスコアはほぼ同等であり、有意差もなかった。テスト条件下のスコアについては、両群とも事前テストに対して事後テストで有意なスコアの向上があり、事後と遅延では有意な降下および事前と遅延では有意な向上が見られていることから、部品として直接的に組み立て対象となっていない教材内容に関してもスクラッチビルドと同程度の学習効果が期待できることを示唆している。

次に話し合いの分析を報告する。発話は、Advanced Interaction Analysis for Teams (act4teams)コード化法を用いて、問題焦点、手続き的、社会的・情緒的、行動指向、その他、の五つに分類した。20グループ(2人で1グループ)において828の発話があり、72%は実験群、28%は統制群のものであった。このことから、実験群のほうは発話量が有意に多かった。発話の質については、発話中の問題焦点の占める割合が実験群においては43.6%であったのに対して統制群では16.23%となり、逆に手続き的の占める割合は実験群では23.5%に対して統制群では38.6%となり、それぞれで有意差が見られた。他のカテゴリにおいては差が見られなかった。

問題焦点の発話は、問題の理解や分析を目的としたものであり、内容理解に直接関係する発話といえる。手続き的は、グループとしての活動の調整・制御を目的とした発話である。問題焦点の発話の実験群において統制群より多かったことは、実験群において内容理解に関する発話が統制群より多かったことを示しており、高い学習効果の理由と考えられる。手続き的発話が統制群のほうが多かったことは、発話量自体は実験群が多いことから、発話によって話し合いを制御する必要性が統制群のほうに多かったことを示唆している。これらのことから、発話の分析においても、実験群のほうが統制群よりも発話において質的に良い話し合いを量的に多く行っていたことが示唆され、これらが高い学習効果となって観測されたと判断している。

#### オンライン教材オーサリング機能

キットビルド概念マップにおいては、元となる概念マップの作成が必須となっており、これが教材準備の問題点となっている。概念マップの自動生成に関する研究もこれまでに存在するが、その精度が十分ではないことも知られている。キットビルド概念マップにおいては、精度が低い概念マップに基づいて学習を行うことは不適當となる。このため、自動生成技術をそのまま使うことは困難である。そこで本研究では、概念マップの構成要素となるノードとリンクの抽出、ノードとリンクの組み合わせとしての命題の抽出、命題間の結合、に関してシステムが教材作成者に候補として提案し、教材作成者がその可否を判断し、必要に応じて修正する形態でのオーサリング機能を設計・開発した。

評価は、(i)3名の概念マップにも熟練した教員による15種類の教材に対する概念マップ作成、(ii)42名の教員による支援有と支援なしでの概念マップ作成の2回の作成、を通して行った。熟練教員によるマップ作成により、オーサリング機能が提案するマップ部品や命題の半数がそのまま採用され、残り半分についても修正によって採用されており、まったく新規に追加された命題は5%であったことと、熟練教師らによる主観評価においても有用との判定であった。

(ii)では、被験者の2群に分け、支援有での概念マップ作成を先に行う群と後に行う群に分けて、カウンターバランスをとって実験を行った。結果として、マップのサイズは支援有のほうが大きくなった。人手によるマップの質的評価においても支援有のほうが有意に高い評価値となった。アンケートの結果からも、9割弱の教員が、有用と判断していた。これらのことから、本教材オーサリング機能も本環境に組み込むに適した機能と判断できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Banni Satria Andoko, Yusuke HAYASHI, Tsukasa HIRASHIMA	4. 巻 18
2. 論文標題 An Analysis of Concept Mapping Style in EFL Reading Comprehension from the Viewpoint of Paragraph Structure of Text	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Information and Systems in Education	6. 最初と最後の頁 63-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12937/ejsise.18.63	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 PGF. Furtado, T. Hirashima, N. Khudhur, A. Pinandito, Y. Hayashi	4. 巻 Vol. E104-D
2. 論文標題 Influence of Access to Reading Material during Concept Map Recomposition in Reading Comprehension and Retention	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE	6. 最初と最後の頁 1941-1950
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2021EDP7069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Pinandito Aryo, Prasetya Didik D., Hayashi Yusuke, Hirashima Tsukasa	4. 巻 16
2. 論文標題 Design and development of semi-automatic concept map authoring support tool	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Research and Practice in Technology Enhanced Learning	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41039-021-00155-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Pinandito Aryo, Prasetya Didik Dwi, Hayashi Yusuke, Hirashima Tsukasa	4. 巻 15
2. 論文標題 Semi-Automatic Concept Map Generation Approach of Web-Based Kit-Build Concept Map Authoring Tool	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)	6. 最初と最後の頁 50 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3991/ijim.v15i08.20489	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 PINANDITO Aryo, HAYASHI Yusuke, HIRASHIMA Tsukasa	4. 巻 E104.D
2. 論文標題 Online Collaborative Kit-Build Concept Map: Learning Effect and Conversation Analysis in Collaborative Learning of English as a Foreign Language Reading Comprehension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 981 ~ 991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020EDP7245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 PRASETYA Didik Dwi, HIRASHIMA Tsukasa, HAYASHI Yusuke	4. 巻 E104.D
2. 論文標題 Comparing Two Extended Concept Mapping Approaches to Investigate the Distribution of Students' Achievements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 337 ~ 340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020EDL8073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 SADITA Lia, FURTADO Pedro Gabriel Fonteles, HIRASHIMA Tsukasa, HAYASHI Yusuke	4. 巻 E103.D
2. 論文標題 Analysis of The Similarity of Individual Knowledge and The Comprehension of Partner's Representation during Collaborative Concept Mapping with Reciprocal Kit Build Approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1722 ~ 1731
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2019EDP7305	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sadita Lia, Hirashima Tsukasa, Hayashi Yusuke, Wunnasri Warunya, Pailai Jaruwat, Junus Kasiyah, Santoso Harry Budi	4. 巻 15
2. 論文標題 Collaborative concept mapping with reciprocal kit-build: a practical use in linear algebra course	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research and Practice in Technology Enhanced Learning	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41039-020-00136-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Andoko Banni Satria, Hayashi Yusuke, Hirashima Tsukasa, Asri Atiqah Nurul	4. 巻 15
2. 論文標題 Improving English reading for EFL readers with reviewing kit-build concept map	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research and Practice in Technology Enhanced Learning	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41039-020-00126-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 PINANDITO Aryo, HAYASHI Yusuke, HIRASHIMA Tsukasa	4. 巻 E104.D
2. 論文標題 Online Collaborative Kit-Build Concept Map: Learning Effect and Conversation Analysis in Collaborative Learning of English as a Foreign Language Reading Comprehension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Information and Systems	6. 最初と最後の頁 981 ~ 991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transinf.2020EDP7245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Warunya WUNNASRI, Jaruwat PAILAI, Yusuke HAYASHI, Tsukasa HIRASHIMA
2. 発表標題 Investigating on Discussion for Sharing Understanding by using Reciprocal Kit-Build Concept Map
3. 学会等名 AIED2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke HAYASHI, Toshihiro NOMURA, Tsukasa HIRASHIMA
2. 発表標題 Orchestrating Individual- and group-learning in Classroom with Kit-Build Concept Mapping
3. 学会等名 AIED2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke HAYASHI, Toshihiro NOMURA, Tsukasa HIRASHIMA
2. 発表標題 Propositional Level Analysis of Collaborative Learning with Kit-Build Concept Map
3. 学会等名 ICCE2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aryo PINANDITO, Hanifah Muslimah AZ-ZAHRA, Tsukasa HIRASHIMA, Yusuke HAYASHI
2. 発表標題 User Experience Evaluation on Computer-Supported Concept Map Authoring Tool of Kit-Build Concept Map Framework
3. 学会等名 SIET2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	堀口 知也 (Horiguchi Tomoya)  (00294257)	神戸大学・海事科学研究科・教授  (14501)	
研究分担者	東本 崇仁 (Tomoto Takahito)  (10508435)	東京工芸大学・工学部・准教授  (32708)	
研究分担者	林 雄介 (Hayashi Yusuke)  (70362019)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授  (15401)	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山元 翔  (Yamamoto Sho)  (90735268)	近畿大学・工学部・講師    (34419)	
研究分担者	前田 一誠  (Maeda Kazushige)  (90757634)	環太平洋大学・次世代教育学部・教授    (35314)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関