

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750089

研究課題名(和文)誤りの可視化を用いた知識の体系化支援システムの開発

研究課題名(英文)Development of support system for knowledge construction by error visualization

## 研究代表者

東本 崇仁 (Tomoto, Takahito)

東京理科大学・工学部・助教

研究者番号：10508435

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、知識の体系化という汎用性が高く、有用な領域における支援を目的とした、学習した知識を有用なものとするためには、知識間を構造化する必要がある。本研究では構造の一つである階層構造に着目した学習の支援を行った。支援システムとして、学習者にコンセプトマップを用いた階層構造を構築させ、誤っている場合はシステムが診断し、誤りの可視化という形でフィードバックを与えるシステムを実装した。特に、先行研究で扱えなかった目に見えない抽象的な概念の誤りを、オブジェクト指向プログラミングの継承関係に基づいて誤りの可視化を行った。本システムの利用を通して階層構造の構築スキルの向上が確認された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to support knowledge construction which is useful generally. In order to acquire knowledge to adequate other domain, it is necessary to construct knowledge structure to relate various knowledge. In this research, I develop a support system to construct knowledge based on class structure. In this system, if a learner make an error, he/she can get error-visualization based on his/her error. In previous research, the system can give feedback about error of concrete concepts. In this research, the system can give feedback about error of abstract concepts. From the result of an evaluation of the system, it is revealed that the system improves a skill for construction of class structure of learners.

研究分野：学習工学

キーワード：知識の体系化 階層構造 誤りの可視化 コンセプトマップ

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 本研究の位置づけ

知識の体系化の重要性は国内外で広く認識されている。体系化のためには学習者自身に対象領域のモデルを構築させることが有効であるとされており、コンセプトマップ等のツールが用いられることが多い。しかし、コンセプトマップ等で学習者の知識を体系化させた場合、初学者である学習者は誤りを犯すために修正作業が重要な意味を持つ。同時に、学習者は独自の理論体系を持ち、自己の概念の変容は容易ではない。そこで、本研究ではコンセプトマップを用いて学習者自身に知識の体系化を行わせ、誤っている場合はコンピュータが誤りを可視化することで学習者自身による自発的な修正を促し、継続的な修正活動を誘発することを狙う。

### (2) コンセプトマップの構築による体系化

コンセプトマップとは、概念をノードとし、関係のあるノード間にリンクを接続したグラフ構造である。特に階層性のあるコンセプトマップを扱うことで、学習者に概念の上位・下位の位置づけ及び上位から下位の概念への継承関係や、概念を弁別させるための属性について考慮させることが可能となる。したがって、単に教授者によって与えられた体系を暗記するのではなく、学習者自身に構築させることで、上位・下位という概念の必要性や共通項の認識、同じ階層における概念について弁別する属性(特徴)は何であるかを考えさせることが可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究では、知識の体系化のために学習者自身にコンセプトマップを構築させる。さらに、学習者が誤っていた場合は誤りの可視化による修正の動機づけを行い、重要とされている修正活動を継続させることを目的とした学習支援システムの設計・開発および現場への普及を目指す。本学習支援システムでは次の機能を実現する。

- (1) 知識の体系化のためのコンセプトマップ生成インタフェース
- (2) 体系化された知識の診断機能
- (3) 診断結果に基づく誤りの可視化機能

## 3. 研究の方法

### (1) 先行研究との差分

先行研究[1]では、植物領域におけるコンセプトマップの構築を誤りの可視化システムを開発した。先行研究[1]では、図1に示す(1)知識の体系化のためのコンセプトマップ生成インタフェースと、図2に示す(3)誤りの可視化機能を兼ね備えていた。しかし、図2に示すように、誤りの可視化で対象としていたのは実際の植物であり、インスタンスである。この場合、知識を体系化する際に最終的なインスタンスに継承された属性が誤っていた場合は誤り顕在化するが、抽象的な

概念(抽象クラス)に関する誤りが発生した場合は誤りの可視化を行えない。そこで本研究では最終目標として、体系化の学習のための拡張として、オブジェクト指向プログラミングにおける表現方法を用いて、抽象概念の誤りに関する誤りの可視化の実現を行う。本実現により、先行研究では階層構造のうち、弁別の誤りに対応した誤りの可視化のみが行っていたのに対し、本研究により継承の誤りの可視化も実現可能となり、知識体系の重要な構造の一つである階層構造を網羅的に扱えるようになる。

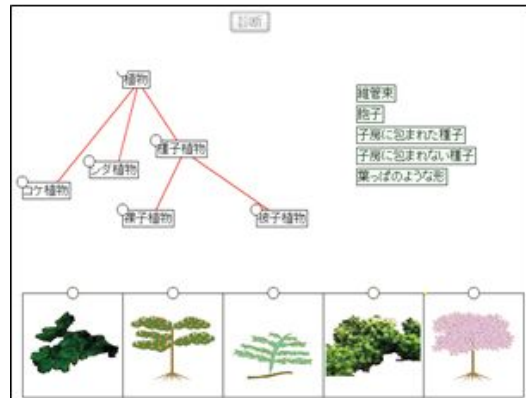


図1. 先行研究[1]のコンセプトマップ

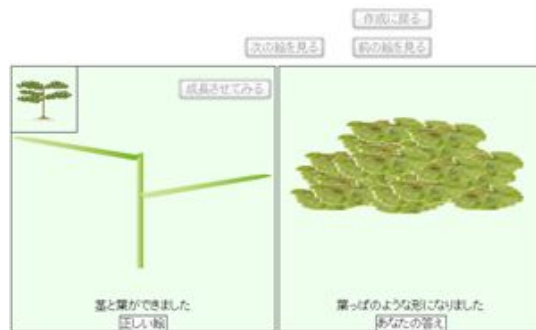


図2. 先行研究[1]の誤りの可視化例

[1]東本崇仁, 今井功, 堀口知也, 平嶋宗, "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(2013.1)

### (2) 提案手法

知識体系の一つである階層構造を適切に構築するためには、(A)弁別関係、(B)継承関係の二つを理解する必要がある。階層構造とは、複数の共通する特徴(属性)を持つ概念を一つの抽象的なカテゴリ(クラス)として整理し、さらに複数の抽象的なクラスからより抽象度の高いクラスを生成することで構築される構造である。したがって、(A)弁別関係を理解しなければ、ある同じレイヤーの概念がどのように属性に差があるかが理解できず、(B)継承関係を理解しなければ、上位・下位概念で共有する属性があることを理解できない。先行研究[1]では、最下位概

念であるインスタンスの属性の差に基づいた可視化を扱っていたため、各インスタンスの属性の弁別を理解していない場合、誤りが可視化される。しかし、最下位概念に適切な属性を直接接続できれば、最下位概念間の差異は現れないため、誤りは可視化されない。したがって、上位の抽象概念における誤りは扱えていなかったこととなる。しかし、先行研究[1]の誤りの可視化では、現実世界の現象を対象とした誤りの可視化を行っていたため、実在しない抽象概念は可視化できないという問題があった。

そこで本研究では、オブジェクト指向プログラミングでは、実在しない抽象的なクラスにも役割があることに着目し、抽象的なクラスが適切に設計されていない場合、ソースコードの非効率性という形で可視化を提案した。具体的には、先の問題点のようにすべての属性を直接最下位概念に接続した場合、オブジェクト指向言語で考えると、抽象的なクラスを定義できていないこととなる。そのため、適切に設計できていれば、抽象的なクラスの属性やメソッドを修正するだけで完了していた修正も、すべての最下位概念のプログラムに関して同じような修正を行う必要が出てくる非効率的なプログラムという形で可視化することができる。

#### 4. 研究成果

##### (1)実装したシステム

実際に開発した(1)知識の体系化、特に階層構造構築のためのインタフェースを図3に示す。誤りの可視化例を図4に示す。

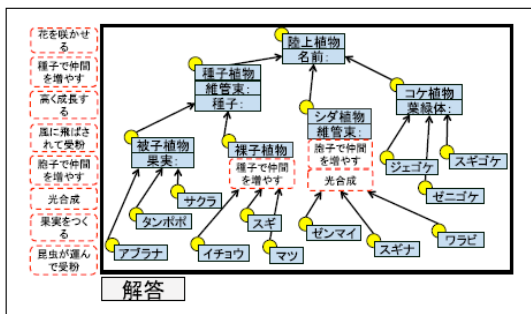


図3. コンセプトマップ生成インタフェース

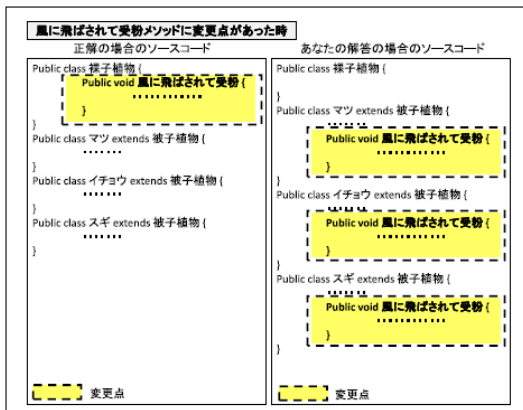


図4. 誤りの可視化画面

図3では、図1のインタフェースに比べて、メソッドの追加が要求されている。ここで、従来の属性はオブジェクト指向プログラミングのクラスにおけるメンバ変数、今回新規に追加したメソッドはそのままメソッドを意味する。学習者は階層構造を構築する際にある概念が持つ属性とその振る舞い(メソッド)を記述するために、知識を体系的に構築することが要求される。

図4は、学習者が最下位概念であるマツやイチヨウなどに直接メソッド「風に飛ばされて受粉」を接続した誤りの例である。正しくは上位の概念である「被子植物」にこのメソッドを接続することが求められた問題である。この際、正しく知識を体系化できていた場合は、被子植物のメソッドを修正することで、下位の概念にそのメソッドが継承されるため、最低限の修正で済むが、学習者の構築した知識体系では、複数の最下位概念ですべて同じ修正をする必要があることが可視化されている。

##### (2)システムを用いた評価実験

###### (2-1)実験概要

本システムを用いたことによる継承関係の理解の促進について評価を行った。

評価実験は、理系大学生7名に対して行った。被験者には、事前テスト、システムを用いた学習、事後テストの順で実験に参加してもらった。システムを用いた学習では図3で紹介したシステムを用いた。図3の正しい構造は図5に示す通りである。一方、事前・事後テストではシステムで用いた領域とは異なる動物領域と乗り物領域を扱った。システムでは扱っていない領域を扱うことで、システムを用いた学習により、階層構造の暗記ではなく、理解が促進され、転移が見られるかを確認する。なお、動物領域はシステムで用いた植物領域と比較的近い転移、乗り物領域は遠い転移となる。それぞれの領域を図5,6に示す。

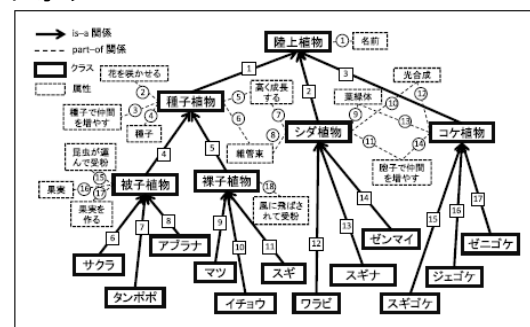


図4. システムで用いた植物領域



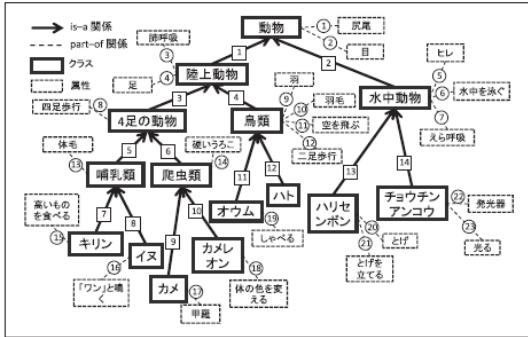


図5. 近い領域としての動物領域

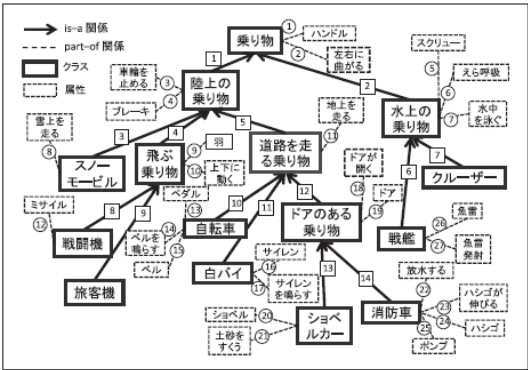


図6. 遠い領域としての乗り物領域

各問題の適切な階層構造におけるクラス間のリンクの本数は、植物領域では 17 か所、動物領域および乗り物領域ではそれぞれ 14 か所である。また、クラスと変数・メソッドを結ぶリンクの本数は、植物領域 18 か所、動物領域 23 か所、乗り物領域 27 か所となる。

なお、事前知識の差による学力への影響を小さくするために、階層構造の最下位概念が持つ属性とメソッドの一覧はすべての被験者に別紙として配布している。そのため、学習者に要求される作業は、これらの最下位概念がもつ属性やメソッドにしたがって、知識を体系化することとなる。

(2-2) 結果

階層構造を評価するために、次の3つの尺度を導入した。(A)「クラス間、クラスと変数・メソッド間のリンク(全体のリンク)」、(B)「クラス間のリンク」、(C)「クラスと変数・メソッドのリンク」のそれぞれの一致率である。一致率とは、正解のコンセプトマップのリンクの本数を分母とし、学習者が正解した本数を分子とするものである。(A)は階層構造の構築に関する総合的な能力、(B)は適切な抽象概念間の関係の構築に関する能力、(C)は適切なクラスへの変数・メソッドの接続に関する能力を測る指標とした。

表1にリンク一致率、表2に検定結果を示した。

表1. リンクの一致率

		動物領域		乗り物領域	
		事前	事後	事前	事後
(A) 全体のリンク	平均	0.73	0.83	0.77	0.87
	標準偏差	0.16	0.07	0.07	0.11
(B) クラス間のリンク	平均	0.65	0.79	0.65	0.80
	標準偏差	0.19	0.00	0.11	0.16
(C) クラスと変数・メソッド間のリンク	平均	0.78	0.86	0.83	0.90
	標準偏差	0.17	0.10	0.06	0.08

表2. 事前事後の結果に関する t 検定結果

		t 値	d.f.	p 値	
(A) 全体のリンク	動物領域	-2.353	6	0.057	*
	乗り物領域	-2.442	6	0.050	*
(B) クラス間のリンク	動物領域	-1.883	6	0.109	
	乗り物領域	-1.954	6	0.099	*
(C) クラスと変数・メソッド間のリンク	動物領域	-2.646	6	0.038	**
	乗り物領域	-2.785	6	0.032	**

結果として、(A) 総合的な能力に関しては、動物領域、乗り物領域の双方において有意な傾向( $p < 0.1$ )が見られた。(B) 適切な抽象概念間の関係においては、動物領域においては有意な差が見られなかった( $p > 0.1$ )が、乗り物領域においては有意な傾向( $p < 0.1$ )が見られた。(C) 適切なクラスへの属性・メソッドの接続に関しては、両領域において有意な差が見られた( $p < 0.05$ )。以上より、本システムは階層構造の構築のスキルの育成を支援していることが示唆され、特に適切な抽象クラスに関して、属性やメソッドを付与するスキルの育成につながる可能性が示唆された。

注) 研究成果は主に雑誌論文[1]より引用。

(3) 講義中の知識の体系化支援システムにおける成果

また、上記とは独立して、講義中における受講者の知識の体系化を促進するシステムの開発を行った(雑誌論文[2])。本システムは、受講者に講義の途中に現在までの理解状態を、知識の体系化という形で課題として出題するとともに、即時に結果を集積し、講義中に学習者にフィードバックを与えるためのシステムである。本システムの利用画面を図7、図8に示す。

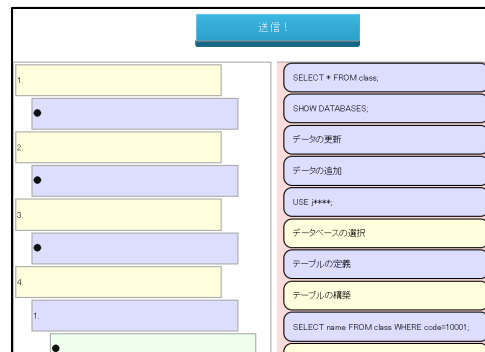


図7. 講義中における知識の体系化支援システム

1. (正解)MySQLの起動 :70人
1. テーブルの構築 :1人
1. データベースの選択 :1人
● (正解)mysql -u j**** -p -tee='filename.txt' :66人
● USE j****; :5人
● 無回答 :1人
2. データベースの選択 :37人
2. (正解)データベースの確認 :25人
2. テーブルの構築 :6人
2. データの確認 :2人
2. データの検索 :2人
● USE j****; :45人
● (正解)SHOW DATABASES; :23人
● mysql -u j**** -p -tee='filename.txt' :1人
● データの追加 :1人
● SELECT * FROM class; :1人
● SELECT name FROM class WHERE code=10001; :1人
3. データベースの確認 :32人
3. (正解)データベースの選択 :25人

図 8 . 即時フィードバック画面 .

本システムは従来のスライド型講義において、ノートテイキングの困難さを問題とし、スライド型講義における知識の体系化を目的として開発された。図7は、単に選択式ではなく、自らカードを用いて講義の情報を再構成することが求められている画面である。図8は教室内の学習者の理解状態を重畳し、可視化し、学習者に与えることで、自らの間違いが多数派であるのか(よくある間違いなのか)、少数派であるのか(自分だけ理解できていないのか)を気づかせることができ、知識の修正を支援できる。

#### (4)研究成果のまとめ

本研究により、知識の体系化という汎用性が高く、かつ有用な領域において、効果的なフィードバックの一つとなり得る誤りの可視化の実現を行えた。本システムの利用により抽象的な概念に関する適切な属性やメソッドの付与が促進されることがわかった。

また、講義中の知識の体系化のための支援システムを開発し、学習者に好意的に受け入れられたことや、知識の定着に有用であることが示唆された。

#### (5)国内外におけるインパクトおよび波及効果

従来は、植物領域などの「現実世界において現象として可視化可能な対象」のみを扱っていたのに対し、本研究ではオブジェクト指向プログラミングの手法を取り入れることで、「現実に存在しない抽象的な概念」を対象とした誤りの可視化も実現できた。これにより、今後は学習者が現実の世界では目に見ることができない様々な領域における誤りの可視化が行える。

また、講義中の知識の体系化支援は、従来黒板型と異なり、学習者自身の作業が希薄と

なりがちなスライド型講義において、講義における学習者の知識の体系化の方法の一つとなり、今後増え行くことが予想されるスライド型講義における有効な学習方法のとなる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7件)

[1] (査読有) 新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, 階層構造の理解を指向した継承の誤り可視化システムの開発, 電子情報通信学会論文誌, レター, Vol. J98-D, No. 1, pp.178-181, 2015.

[http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-d\\_1\\_178](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j98-d_1_178)

[2] (査読有) 東本崇仁, 平嶋宗, 講義に対する理解促進のためのノートリビルディング法の提案と支援システムの開発・評価, 教育システム情報学会学会誌, ショートノート, Vol.31, No.4, pp.264-269, 2014.

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jise/31/4/31\\_264/article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jise/31/4/31_264/article/-char/ja/)

[3] (査読有) 金森春樹, 東本崇仁, 米谷雄介, 赤倉貴子, プログラミングプロセスにおける「プログラムを読む学習」の提案及び「意味理解」プロセスの学習支援システムの開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J97-D, No.12, pp.1843-1846, 2014.

[http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d\\_12\\_1843](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j97-d_12_1843)

[4] (査読有) 赤倉貴子, 東本崇仁, 工学部における知的財産法教育システムの開発, 日本教育工学会論文誌, Vol.38, Suppl., pp.65-68, 2014.

<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020381981>

[5] (査読有) Haruki Kanamori, Takahito Tomoto, Takako Akakura, "Development of a Computer Programming Learning Support System Based on Reading Computer Program", Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction for Learning, Culture, Collaboration and Business, Lecture Notes in Computer Science Volume 8018, pp 63-69, 2013.

[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-39226-9\\_8](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-39226-9_8)

[6] (査読有) Tatsuya Arai, Haruki Kanamori, Takahito Tomoto, Yusuke Kometani, Takako Akakura, 2014, "Development of a Learning Support

System for Source Code Reading Comprehension," Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction for Learning, Culture, Collaboration and Business, LNCS 8522, pp.12-19, 26 June 2014.

[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07863-2\\_2](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07863-2_2)

[7] (査読有) Takahito Tomoto, Tsukasa Hirashima, 2014, "Report on Practice of Note-Rebuilding Support System," Human Interface and the Management of Information. Information and Interaction for Learning, Culture, Collaboration and Business, LNCS 8522, pp.127-136, 26 June 2014.

[http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07863-2\\_14](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-07863-2_14)

〔学会発表〕(計 11 件)

(1) 国際会議

[1]Takahito Tomoto, Tsukasa HIRASHIMA, "Note-Rebuilding Based on Lecture Structure and Application in a Learning Support System," WIPP Proc. of ICCE2013, POSTER, pp.1-3, 2013.11.20, Bali (Indonesia).

(2) 国内発表

[1]新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, "観点に基づく階層構造の構築を目的とした属性の選択のための学習支援システムの開発," 信学技報, Vol.114, No.441, pp.1-4, 2015.1.24, 目白大学(東京都・新宿区).

[2] 新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, "観点に基づく階層構造の構築における適切な分類を促す学習支援方法の検討," 信学技報, Vol.114, No.260, pp.17-22, 2014.10.11, 金沢大学(石川県・金沢市).

[3] 東本崇仁, 赤倉貴子, "プログラムを読むことによる学習の提案とその支援システムの設計", 信学技報, Vol. 114, No.121, pp. 23-26, 2014.6.28, 秋田大学(秋田県秋田市).

[4] 東本崇仁, 平嶋宗, "アルゴリズムの学習におけるノートリビルディングシステムの実践", 信学技報, Vol.113, ET2013 28-50, pp. 93-98, 2013.9.21, 広島大学東広島キャンパス(広島県・東広島市).

[5] 渡辺圭祐, 東本崇仁, 赤倉貴子, "段階的抽象化によるプログラミング学習支援システムの開発," 2015 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システムソサイエティ特別企画 学生ポスターセッション予稿集, p.212, 2015.3.13, 立命館大学・びわこ・くさつキャンパス(滋賀県草津市).

[6] 新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, "観点に基づく階層構造の構築における適切な属性の抽出を促す学習支援方法の検討," 日本教育工学会第 30 回全国大会講演論文集,

pp.689-690, 2014.9.21, 岐阜大学(岐阜県岐阜市).

[7] 新井達也, 東本崇仁, 赤倉貴子, "階層構造の理解を指向した継承の誤り可視化システムの開発," 2014 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システムソサイエティ特別企画 学生ポスターセッション予稿集, p.142, 2014.3.20, 新潟大学.

[8] 金森春樹, 東本崇仁, 赤倉貴子, "プログラムを読むことによる学習を支援するシステムの利用による学習効果," 2014 年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システムソサイエティ特別企画 学生ポスターセッション予稿集, p.144, 2014.3.20, 新潟大学(新潟県新潟市).

[9] 東本崇仁, 平嶋宗, "プレゼンテーション型講義におけるノートリビルディング方式に基づく学習支援システムの運用", 教育システム情報学会第 38 回全国大会公演論文集, pp. -, 2013.9.3, 金沢大学(石川県・金沢市).

[10] 金森春樹, 東本崇仁, 赤倉貴子, "フローチャートの意味理解学習を支援するシステムの開発と評価," 日本教育工学会第 29 回全国大会講演論文集, pp.283-284, 2013.9.21, 秋田大学(秋田県秋田市).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.takahito.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東本 崇仁 (TOMOTO TAKAHITO)

東京理科大学・工学部経営工学部・助教

研究者番号: 10508435