

令和 3 年 5 月 18 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01839

研究課題名(和文)「問題を捉える視点」の習得を促進する問題演習システムの設計・開発と効果の検証

研究課題名(英文) Development and evaluation of a learning environment that assists students to learn the viewpoint for capturing the features of problems

研究代表者

堀口 知也 (Horiguchi, Tomoya)

神戸大学・海事科学研究科・教授

研究者番号：00294257

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：初等物理の領域における深い理解(モデルに基づく理解)を促進するため、「問題を捉える視点の選択能力の習得」を支援する機能を持つ学習支援システムを構築し、実験によってその有用性を検証した。まず、研究代表者らが開発してきた問題演習システムに対して、様々な特徴を持ちそれぞれ適切な視点に基づく定式化を必要とする問題系列を生成・制御できるよう機能拡張を行うと共に、実験用教材を効率的に作成するための支援ツールを開発して検証実験の基盤を整備した。次に、システムの実験的利用を実施し、取得したデータに基づく学習効果の検証を通して、「問題を捉える視点の選択能力の習得」に関わる認知モデルの構築を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

対象領域の深い理解に至るためには、個々の問題の解法を理解・習得するだけでなく、様々な特徴を持つ一連の問題につき、それぞれ適切な視点に基づいて定式化(モデル化)を行う能力を習得する必要がある。本研究は、このような「問題を捉える視点の選択能力の習得」を支援する機能を持つ学習支援システムを構築し、その有用性を実験によって検証した。システムは、学習者の状態や目標に応じて問題系列を動的に作成・変更する機能を持つが、個々の問題の特徴やそれらの関係は厳密な知識表現の枠組みに従って記述されており、本研究で得られた知見は、このような学習の支援法を設計する際の基盤を提供する。

研究成果の概要(英文)：For promoting students' deep (model-based) understanding of elementary mechanics, a system was developed and empirically evaluated that assists students to acquire 'the ability to formulate a problem from an appropriate viewpoint.' First, as to the problem exercise system we previously developed, we added the function to generate a problem sequence in which each problem needs a formulation from an appropriate viewpoint that reflects its feature. An authoring tool to develop the learning material for the system was also developed. Then, we conducted the experiments for evaluating the usefulness of the system, through which we also tried to construct a cognitive model of acquiring 'the ability to choose an appropriate viewpoint in formulating a problem in mechanics.'

研究分野：知識工学

キーワード：知的学習支援システム 科学教育 問題演習 問題系列化 説明生成 知識工学 構造写像エンジン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 科学教育における問題演習では、様々な対象系について目的に応じた適切なモデルを作成する能力(領域の概念的理解と呼ぶ)を養うことが重要な目標となる。この能力の習得には(a)問題構造の理解、(b)問題を捉える視点の理解、の二つの段階があるとされている。問題構造とは問題を解く際に用いる原理や解法を指し、様々な対象系を扱う問題に対して正しく原理や解法を適用できるようになることが(a)の目標となる。一方、同じ/類似の対象系を扱う問題であっても視点が変化すれば異なる問題構造を持つようになる(すなわち異なる原理を用いて系をモデル化する)。目的に応じた正しい視点で問題を捉え、問題構造を同定できるようになることが(b)の目標となる。(a)が原理や解法自体を学ぶ上で重要であるのに対し、より高いレベルの理解には(b)が不可欠であることが文献①等で指摘されている。研究代表者らはこれまで、問題演習を通じた概念的理解の達成には、(1)ある観点(学習目標)から見て関連する問題群を系統的に(例えば単純な問題から徐々に複雑な問題へ)順序づけて学習させる問題系列化が有効であり②、かつ(2)最適な問題系列は学習目標や学習者毎にしばしば異なる③、との認識の下に、学習文脈に応じて自動的に問題系列を生成するシステムを構築してきた。同システムは、従来人間の教師によって行われてきた固定的な観点による問題系列化では不可能であった適応的な問題系列化を初めて実現するものであり、実践的な活用事例も報告されている④。ただし、先行研究の主な対象は上記(a)であり、(b)の支援については不十分であることも実験により明らかとなっている⑤。そこで本研究では、より高度な目標である「問題を捉える視点の理解」を捉えるようシステムの機能を拡張してその有用性を検証すると共に、本システムを教育現場で実用化する際の諸課題の解決を目指した。

(2) 本システムの基盤技術は、申請者らが提案したマイクロワールドグラフ(Graph of Microworlds: GMW)——物理問題をそれが扱う対象系のモデルに基づいて特徴付ける枠組み——である⑥。GMWは一つの問題(マイクロワールドと呼ばれる)をノード、二つの問題間の差分をリンクとするグラフ構造である。ノードには、問題が扱う対象系のモデルとその導出過程が記述され、これらを理解することが一つのマイクロワールドにおける目標となる。リンクは二つの問題間を移行することが教育的である場合、すなわちノード間の差分が十分小さい場合に付けられており、GMW上で一つの問題に隣接する問題を適切に選択していくことによって学習文脈に応じた系列が生成可能となる。さらに、先行研究(平成26~28年度基盤研究B、課題番号26280127)では、(3)問題系列化が有効に働くためには問題間の関係(差分)を適切に説明することが不可欠であるとの知見③に基づき、二つの問題間の差分に関する説明を系列化の観点に応じて自動生成する機構を実装して、説明の提示によって問題系列における学習目標の達成度が大幅に改善されることを確認した⑤⑦。例えば、斜面上の物体の振る舞いをエネルギー保存則に基づくモデルを用いて解く問題と、水平面上でバネにつながれた物体のそれを同じくエネルギー保存則に基づくモデルを用いて解く問題とを並べた系列は、「問題の表面的相違にとらわれず一定の(同じ)原理を用いた解法に習熟する」という学習目標(a)を持つ(構造系列と呼ぶ)。問題間の差分に関する説明がない場合、多くの学習者がこの系列から適切に学習することができなかったのに対し、説明を与えられた学習者は問題の表面的相違にも拘わらず正しく原理を適用できるようになり、その知識が他の問題へ転移する兆候も見られた⑤。

2. 研究の目的

(1) しかしながら先行研究では、学習目標(b)を扱う場合、現システムの機能には限界があることも明らかになった。先行研究では(a)を主たる学習目標として上述のような構造系列および説明を自動生成しその有効性を確認したが、より高度な(b)を学習目標とした場合、単純な問題(適用すべき原理が一つ)のみからなる系列では十分な効果が得られず、より複雑な問題(複数の原理を組合せて解く)を含んだ系列が必要となることが明らかになった⑤。例えば、滑らかな斜面上の物体の振る舞いをエネルギー保存則によって解く問題と、粗い斜面上のそれを運動方程式によって解く問題を並べた系列は「問題の表面的類似に拘わらずそれぞれの構造を正しく捉えて原理を適用する」という(b)の学習目標を持つが(表層系列と呼ぶ)、これらの単純な問題のみでは知識が十分に一般化されず、より複雑な問題(例えばこの状況に両方の法則を適用して解く)との差分を説明してこれを支援する必要があることが実験から示唆された。これは、複数の原理を用いる問題は(一つの原理の問題においてしばしば起こるように)原理や解法を問題の表面的特徴と直結するだけでは解けず、適切に視点を設定した上で原理や解法を適用することを促すからであると考えられる。しかしながら、現在の説明生成機構は局所的処理を中心としていることからこのような処理に対応できないため、これを複数の原理を用いる問題間の関係を捉えるように拡張する必要がある。また、説明生成は二つの問題で用いるモデル間の差分に関する知識をGMWから抽出することで行うが、その知識記述は先行研究で開発された物理系のモデル導出に関する概念体系(制約の意味論⑦と呼ばれる)に基づいて問題毎に行われる。しかしながら、同体系は知識工学の専門家のためのガイドラインを提供するものであり、一般のシステム開発者や物理教師がこれを用いて必要な知識を記述することは困難である。今後、本システムの実用化を目指して学習効果の基礎的な検証や教材作成、教育現場での試験運用を行っていくためには、非専門家による知識記述を支援するためのオーサリングツールを開発する必要がある。さらに、上述のように先行研究では問題系列が所定の学習目標の達成に不十分である例が少なからず見られた。これは、概念的理解の促進には当初仮定した要因(表面的特徴・問題構造の特徴)

以外にも幾つかの重要な要因(問題の複雑さや学習者の気づき等)が関わっているためであることが明らかになった。そこで、これらの要因を考慮したより精密な仮説に基づく種々の問題系列の学習効果を実験的に検証し、問題の適応的系列化の基礎となる認知モデルを検討する必要がある。

(2) 以上のことを踏まえて、本研究の目的を次のように設定した。すなわち、主に物理を対象として、本システムの実用化へ向けての基盤的機能の整備および学習効果の基礎的な検証を行う。具体的には(1)現在の説明生成機構に大域的推論モジュールを追加して複雑な問題間の関係を扱えるよう拡張する。また(2)モデル導出に関する概念体系を具体的な問題記述へ適用するための支援ツールを構築し、試験的利用を経て実用に耐えるものへ洗練する。さらに(3)現在のシステムに前二者を統合した上で、実験的利用を実施し、種々の問題系列が所定の学習効果を持つか否かを検証・分析する。

3. 研究の方法

(1) 説明生成機構の機能拡張：二つの問題記述を大域的に比較可能な機構を導入して、現在の説明生成器を複雑な問題間の関係を扱えるよう拡張する。これは、問題系列化による概念的理解の支援において、これまでの「問題構造の理解」に加えてより高度な「問題を捉える視点の理解」を達成するために不可欠な機能であり、本研究の中心となる。従来の説明生成方式では、二つの問題の解法(モデル導出過程)のグラフ表現(それぞれ適用すべき一つの原理を持ち、その適用条件および適用結果と連結されている)を比較して、原理同士の排他性(同じ対象に対して同時に成立し得ないこと)およびその原因となる仮定(適用条件)同士の排他性を検出し、状況(所与の仮定や境界条件)の違いが異なる現象を引き起こすため異なる原理が適用されることを説明していた(これらの排他性は「制約の意味論」に基づいて注釈付けされている)。しかし、この方式は一つの問題において適用される原理は一つであることを前提とした局所的探索に基づいており、二つ以上の原理を含む問題同士の比較は困難であった。そこで本研究では、二つのグラフ表現を大域的に比較して両者の最も適切な対応付けを推定する機構である構造写像エンジン⑧を導入して説明生成器の機能を拡張し、複雑な問題を含む系列においても効果的な説明を生成可能とする。

(2) 問題記述支援ツールの開発：問題の知識記述を支援するためのオーサリングツールを開発・評価する。説明生成には問題のモデル導出過程の記述が不可欠であるが、これを非専門家が作成することは現状では難しい。モデル導出過程の記述には現象や原理、およびその前提条件(仮定や境界条件)の間の排他性に関する詳細な注釈が付けられており、これは「制約の意味論」⑦に基づいて行われる。制約の意味論は、モデル化における仮定や境界条件、その上で生じ得る物理現象に関する知識を体系化したものであり、それらを構造的・機能的観点から詳細化した領域独立な概念階層を持つ。しかしながら先行研究における試験運用では非専門家による教材作成の困難が指摘され、その原因は抽象的な概念構造を実際の問題記述へ具体化することの難しさにあった。そこで本研究では、制約の意味論が提供する共通語彙を用いて、物理系における典型的な「部分構造・近似手段・仮定と適用原理・生起する物理現象」のパターンを記述・蓄積したデータベースを構築し、各パターン(モデル片と呼ぶ)を「部品」として用いる組立て方式によって問題記述を行えるツールを開発し、非専門家による問題作成を可能とする。また、問題群をGMWとして組織化するためのオーサリングツールをも併せて開発・評価する。GMWでは、教育的に有用な「類似性」を持つ問題間に予めリンクを付けておき、適切なリンクの選択を繰り返すことで一定の学習目標を達成し得る問題系列を生成する。現在はこのリンク付けを手で行っているが、多数の問題から二つの問題を適切に選定し、それらの状況およびモデル導出過程の差分を同定して教育的有用性を判断することは容易ではない。そこで本研究では、次のような方法で支援を試みる。(1)所与の問題群からオーサが選んだ一つの問題を起点とする。(2)その問題と他のすべての問題との類似度を構造写像エンジンによって計算し、閾値内の各問題について起点との差分の説明を生成する(機能拡張された説明生成器を用いる)。(3)オーサは各説明を参照して教育的に有用と判断される問題と起点との間にリンクを付ける。(4)リンク付けされた各問題を新たな起点として(1)～(3)を繰り返す。類似度の計算では、モデル導出過程の注目する部分(問題状況(表面的特徴)や適用原理(問題構造の特徴)等)を様々に選ぶことで、複数の観点からの比較を実現する。このようにして、作成された問題群をGMWとして組織化するための対話方式の支援ツールを実現し、非専門家によるGMWの作成を可能とする。

(3) システムの実験的利用：システムの実験的利用を通して、本システムの学習効果を評価すると共に、適応的問題系列化の基礎となる認知モデルの構築を試みる。先行研究では、問題系列が仮説通りの学習効果を持たない例が少なからず見られた。例えば、表面的特徴が類似しているが適用すべき原理は異なる問題を並べた表層系列は、当初の仮説では「適切に視点を設定して問題構造を正しく捉える」能力の習得に貢献するとされていたが、単純な問題のみからなる系列ではこのような高度な理解に到らなかった。実験データを分析した結果、概念的理解に関わる要因として当初仮定した表面的特徴・問題構造の特徴の他、問題の複雑さや学習者の気づき等が重要な役割を果たしていることが明らかになった⑤。そこで、これら四つの要因を考慮したより精密な仮説を構築して種々の問題系列の学習効果を測定する実験を計画・実施し、仮説の検証・洗練を行う。初等物理を対象として、被験者は大学生とする。事前/事後テストにより学習効果を測定すると共に、システムログや調査紙によって詳細なデータを取得する。

4. 研究成果

(1) 説明生成機構の機能拡張：平成 2017 年度は、「問題を捉える視点の理解」を達成するために必要な、より複雑な問題間の関係を捉えるよう説明生成器の拡張を行った。従来の説明生成器が局所的な探索に基づいて問題間の差分を抽出していたのに対し、構造写像エンジン(類推における「構造写像理論」の実装)を用いて大域的な探索を行うことで、

複雑な問題を含む系列においても効果的な説明が生成可能となった。例えば図 1 は、物体同士の衝突を扱う二つの問題(一方は完全弾性衝突,他方は完全非弾性衝突)のモデル導出過程の一部を表している。これらはそれぞれ五つの原理を含んでおり,比較の際には正しい原理同士を対応させる必要があるが(同図の実線両矢印),従来の方法では衝突前後の運動や異なる物体の運動を対応づけてしまうことがあった(同図の点線両矢印)。これに対して,構造写像エンジンは因果関係やクラス制約(物体がどのクラスに属するか)等のより高次な関係を参照して適切な対応づけを行うことができる(すべての可能な対応付けのうち高次関係を多く含むものほど高い評定値(類似度)を付けて出力する)。検証用データを用いて予備実験を実施したところ,生成された十数例の説明はすべて妥当であることが確認された。

(2) 問題記述支援ツールの開発：平成 2018, 2019 年度は、「問題の知識記述を支援するためのオーサリングツール」を開発・評価した。上記の研究手法(2)に記した手順に従い,まず,支援ツール構築のための準備作業,すなわち説明生成に必要な問題記述を支援する際の基盤となる,物理系における典型的な「部分構造・近似手段・仮定と適用原理・生起する物理現象」のパターンを記述・蓄積したデータベースを構築した。次に,各パターン(モデル片と呼ぶ)を「部品」として用いる組立て方式によって問題記述を行えるツールを開発した。オーサは GUI によって部品を選択・連結し,具体化に必要な情報をダイアログから入力することによってモデル記述を進め,ヒント等も随時参照することができる。さらに,記述した個々の問題間の関係を,説明生成器と対話しながらリンク付けし,GMW として組織化することを支援するツールを開発した。図 2 に開発したツールの問題記述画面を示す(GUI によって部品を選択・連結し,具体化に必要な情報入力を促すダイアログが適宜開く。作成に関するヒント等も随時参照できる)。大学生を被験者とする使用実験を実施したところ,検証用に用意した問題十数例のほぼすべてにおいて,特別の困難なく問題記述・組織化を行うことができ,本ツールの有用性が確認された。例えば表 1 は,代表的な問題 6 問を対象として被験者に問題を記述させた際の再現率(実験者が用意した模範的モデルが含む構造をどの程度記述できたか)を表しているが,すべての問題においてきわめて高い数値を示している。

(3) システムの実験的利用：2020 年度は,システムの実験的利用を通して本システムの学習効果の評価を行った。2017 年度から 2019 年度にかけて開発したシステムを統合して学習者の理解を測定するためのシステムを構築し,問題の表面的特徴・構造的特徴,問題の複雑さおよび学習者の気づきを要因とする複数の問題系列において,どのような学習効果が見られるかを測定する実験を計画・実施した。実験の結果,複雑な問題においては,表層系列(表面的特徴が類似しているが構造的特徴は異なる問題を隣接させた系列)による学習の方が構造系列(構造的特徴が類似しているが表面的特徴は異なる問題を隣接させた系列)による学習よりも効果が高いこと,問題への気づきとその学習効果を促進することなどの知見が得られた。一方,複雑な問題(例えばモデル化の方法が複数存在し解法が一意に定まらない問題)においては,学習者の気づきが重要となること,および問題系列化に加えてより直接的な説明が必要であることも示唆された。これらのことから,当初の目的である認知モデル構築のための基盤が整ったといえる。

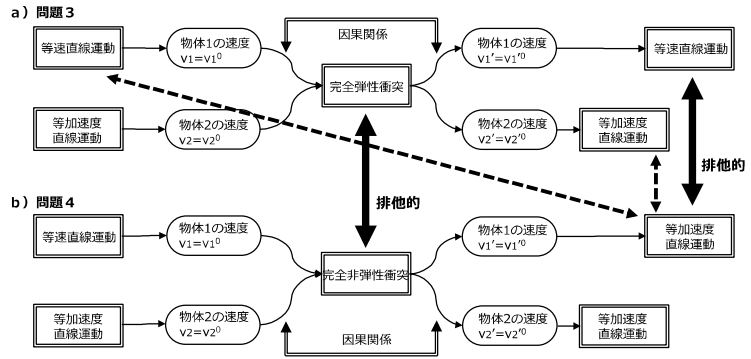


図 1 問題の比較

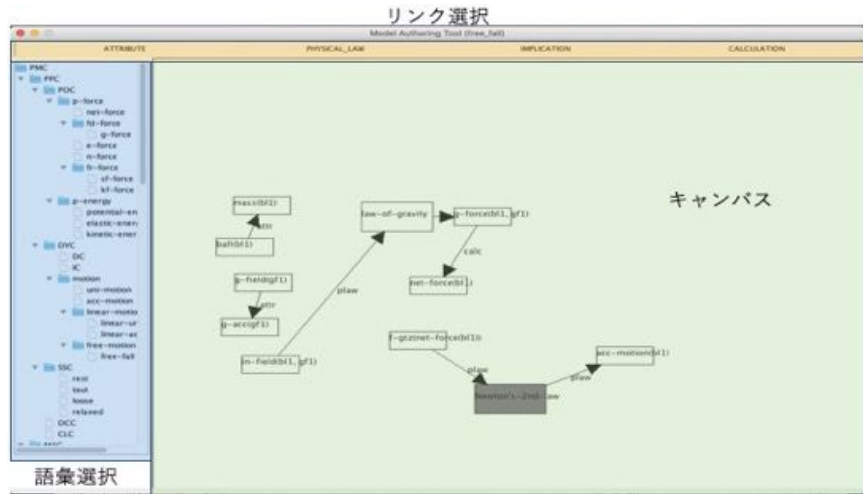


図 2 問題記述画面

表1 模範的モデル構造の再現率

解法モデル採点結果	問1	問2	問3	問4	問5	問6
再現率						
被験者1	97.44%	97.37%	97.83%	97.96%	100.00%	98.48%
被験者2	97.44%	97.37%	84.78%	91.84%	97.92%	78.79%
被験者3	97.44%	97.37%	82.61%	97.96%	97.92%	78.79%
被験者4	97.44%	97.37%	82.61%	97.96%	97.92%	78.79%
被験者5	97.44%	97.37%	82.61%	91.84%	97.92%	78.79%

(4) 領域の概念的 understanding のためには、明示的な知識に加え、問題の表面的特徴から抽象的構造を導出するための暗黙的な知識が不可欠であるが①、従来の問題演習では主に学習者による自発的習得に任されてきた。本研究は、GMW という独創的な問題記述の枠組みを用いて、従来は実現できなかった精密な自動化支援によりこのような暗黙的知識の習得を支援するものであり、科学教育におけるブレークスルーとなる可能性がある。対象領域に関する理解を、一定の問題系列を用いて徐々に深めさせるという発想自体は特に新規なものではないが、従来のシステムでは、予め設定された「難易度/前後関係の半順序」などの数値的指標を用いた教材系列化や、順序が固定された問題系列しか扱われてこなかった。本システムは、精密な特徴付けの枠組みに基づき、問題の表面的特徴(状況)と抽象的構造(モデル)の両方を考慮して適応的に問題系列を生成する機能を初めて実現するものであり、高い独創性・先進性を持つものであると言える。また、本研究における拡張機能は、従来の解法や原理の習得のレベルを超えた「問題を捉える視点の選択能力」習得の支援を初めて実現するものであり、高い教育効果を期待することができる。このような研究は国内外を通して存在せず、野心的・先駆的な試みであると位置付けることができる。すなわち本研究は、工学的のみならず教育学的、心理学的など多方面にわたってインパクトのある成果を挙げ得たということができる。

< 引用文献 >

VanLehn, K. & van de Sande, B.: Acquiring conceptual expertise from modeling: The case of elementary physics, In K. Ericsson (Ed.) The Development of Professional Performance, Cambridge University Press (2009).

Burton, R.R., Brown, J.S. & Fischer, G.: Skiing as a model of instruction, In Rogoff, B. & Lave, J. (Eds.), Everyday Cognition: its development in social context, Harvard Univ. Press (1984).

Scheiter, K. & Peter Gerjets, P.: Sequence Effects in Solving Knowledge-Rich Problems: The Ambiguous Role of Surface Similarities, Proc. of CogSci2003, pp.1035-1040 (2003).

武智俊平, 林直也, 篠原智哉, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗: 単純化方略を用いた問題解決失敗の自己克服支援システムとその実践的評価, 電子情報通信学会論文誌, J98-D, No.1, pp.130-141 (2015).

Horiguchi, T., Toumoto, T., Hirashima, T.: The Effect of Problem Sequence on Students' Conceptual Understanding in Physics, Proceedings of HCI2015, pp.313-322 (2015).

東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: シミュレーションに基づく学習環境における漸進的な知識獲得支援のためのマイクロワールドグラフ, 電子情報通信学会論文誌, J91-D, No.2, pp.303-313 (2008).

Horiguchi, T., Toumoto, T., Hirashima, T.: A Framework of Generating Explanation for Conceptual Understanding based on 'Semantics of Constraints,' Research and Practice in Technology Enhanced Learning, Vol.10, Issue.1 (2015).

Falkenhainer, B., Forbus, K.D. & Gentner, D.: The structure-mapping engine: Algorithm and examples, Artificial Intelligence, 41, pp 1-63 (1989).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗	4. 巻 35
2. 論文標題 プログラミング学習における再利用性を指向した知識組織化のための知的支援: 機能・振舞い・構造の観点に基づく問題解決過程のモデル	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 C~J82_1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.35-5_C-J82	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 -
1. 著者名 Kento Koike, Tomohiro Mogi, Takahito Tomoto, Tomoya Horiguchi, Tsukasa Hirashima	4. 巻 -
2. 論文標題 Compogram: Development and Evaluation of ITS for Organizing Programming-Knowledge by Visualizing Behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of 22nd International Conference on Human-Computer Interaction	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) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 堀口知也, 東本崇仁, 平嶋宗	4. 巻 Vol.35, No.2
2. 論文標題 知識モデリングに基づく学習支援	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 人工知能学会誌	6. 最初と最後の頁 192-200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11517/jjsai.35.2_192	査読の有無 無
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 -
1. 著者名 Horiguchi, T., Masuda, T., Tomoto, T. and Hirashima, T.	4. 巻 14(6)
2. 論文標題 Comparison between behavioral and structural explanation in learning by model-building	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Research and Practice in Technology Enhanced Learning	6. 最初と最後の頁 頁数なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s41039-019-0101-8	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 -

1. 著者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗	4. 巻 Vol.36, No.3
2. 論文標題 プログラミングの構造的理解を指向した部品段階的拡張手法の提案と支援システムの開発・評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 190-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14926/jsise.36.190	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 -

1. 著者名 Ueno, U., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 A Support System for Learning Physics in Which Students Identify Errors Using Measurements Displayed by a Measurement Tool	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE2019	6. 最初と最後の頁 426-434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koike, K., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Supporting Knowledge Organization for Reuse in Programming: Proposal of a System Based on Function-Behavior-Structure Models	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE2019	6. 最初と最後の頁 382-392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗	4. 巻 J101-D(6)
2. 論文標題 軌跡を題材とした数学の表現変換と能動的誤りの発見支援機能を有する学習支援システムの開発と評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌	6. 最初と最後の頁 864-873
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2017LEP0023	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 -

1. 著者名 Horiguchi, T., Masuda, T., Tomoto, T. and Hirashima, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Behavioral Explanation versus Structural Explanation in Learning by Model-Building	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. of AIED2018	6. 最初と最後の頁 139-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Koike, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of an Adaptive Programming-Learning Support System Utilizing Structuralized Tasks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Work. Proc. Int. Conf. Comput. Educ. ICCE 2018	6. 最初と最後の頁 278-287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Kurokawa, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a Mathematical Solution Environment to Understand Symbolic Expressions in Mathematics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. Conf. Hum. Interface Manag. Inf.	6. 最初と最後の頁 288-299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Koike, T. Tomoto, T. Horiguchi, T. Hirashima	4. 巻 -
2. 論文標題 Proposal of a Framework for Stepwise Task Sequence in Programming	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int. Conf. Hum. Interface Manag. Inf.	6. 最初と最後の頁 266-277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirashima, T., Shinohara, T., Yamada, A., Hayashi, Y. and Horiguchi, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of Error-Based Simulation as a Counterexample for Correcting MIF Misconception	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of AIED2017	6. 最初と最後の頁 90-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-61425-0_8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurokawa, K., Tomoto, T., Horiguchi, T., Hirashima, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 A Learning Support System for Mathematics with Visualization of Errors in Symbolic Expression by mapping to Graphical Expression	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Workshop Proc. of ICCE2017	6. 最初と最後の頁 461-470
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Horiguchi, T., Masuda, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of the function that detects the difference of learner's model from the correct model in a model-building learning environment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. of HCI2017	6. 最初と最後の頁 40-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-58524-6_4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計25件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 相川野々香, 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 Error-based Simulationにおける自動的な補助問題生成法の提案
3. 学会等名 第91回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 章原陸, 堀口知也
2. 発表標題 構造写像理論に基づいたモデル比較による学習者の理解度推定
3. 学会等名 第90回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 学習者のパラメータ探索を通じた故障診断による力学学習支援システムの開発
3. 学会等名 第88回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミングにおける学習者の部品構築プロセスを考慮した学習支援システムの提案
3. 学会等名 第86回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 学習者による観測器の活用を通じた解答の検証を指向する力学学習支援システムの試作
3. 学会等名 第86回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 数学におけるテンプレート方式の解答へ図形フィードバックを可能とする学習支援システムの活動評価
3. 学会等名 第83回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 観測器の操作を通して学習者試行錯誤促す力学学習支援システム
3. 学会等名 第83回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堀口知也, 益田哲宏, 東本崇仁, 平嶋宗
2. 発表標題 モデリング学習環境における支援タイプの違いが学習者の振舞いおよび学習効果に与える影響の検証
3. 学会等名 第83回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミング課題を構造化することによる理解状態に適応した課題提示方法の検討
3. 学会等名 第83回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 軌跡を題材とした作図インタフェースから記号文への変換フィードバック機能を有する学習支援システムの開発
3. 学会等名 第84回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミングにおける部品の獲得・拡張活動プロセス
3. 学会等名 第85回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 安田健汰, 林雄介, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 Error-Based Simulation のデータ分析に基づく素朴概念修正効果の検証とモニタリング機能の拡張
3. 学会等名 第82回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下坂涉哉, 堀口知也
2. 発表標題 物理の概念的理解を指向した問題索引付けの枠組みに基づく説明生成器の構築と評価
3. 学会等名 第80回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 解答テンプレートをを用いた軌跡題材とし記号文の図形的フィードバックによる能動誤り発見支援機能を有する学習システムの開発
3. 学会等名 第82回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古池謙人, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 プログラミング学習を対象とした課題系列の拡張
3. 学会等名 第82回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 速度・重量の観測器による誤り可視化を目的とした 力学習支援システムの開発と評価
3. 学会等名 第82回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 平本千裕, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗
2. 発表標題 Error-Based Simulationに対する力・加速度・運動間 の関係性理解 支援機能 の開発
3. 学会等名 第82回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会
4. 発表年 2018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	平嶋 宗 (Hirashima Tsukasa) (10238355)	広島大学・工学研究科・教授 (15401)	
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)	

	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 協力者	フォーバス ケネス (Forbus Kenneth)	ノースウェスタン大学	
研究 協力者	гентナー デドリー (Gentner Dedre)	ノースウェスタン大学	
研究 協力者	今井 功 (Imai Isao)	千葉市立さつきが丘中学校	

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
---------	---------