

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24501042

研究課題名(和文) 開拓的理科学習のための統合的トピックマップ駆動 e Learning の構築

研究課題名(英文) Construction of a Unified Topic Maps-Driven e-Learning for Explorative Science Learning

研究代表者

松浦 執 (Matsuura, Shu)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号：70238955

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：理科教育教師は、知識基盤社会における将来的課題を認識して科学的探求方法の教育にあたらねばならない。ICT環境を活用した協働的かつ関連性志向の学び方を探求する必要がある。本研究ではTopic Maps技術を用い、科学と教育の知識構造を軸として諸領域の知識をネットワーク化し、各主題に学習資源を関連付けた学習システム"EPW"を構築した。そして対話と内省により思考を促すことを目的として、利用者の化身をアバター、システムの化身をエージェントとしてアバターが対話しつつ学習領域を広げていく仮想世界をEPWに表現した。学習者が考えを相互に公開し、相互コメントする過程で、自覚的な思考が促されることが見られた。

研究成果の概要(英文)：Science teachers have to be engaged in education on the basis of their recognition of future problems of the knowledge-based society. They have to explore the manner of learning that is cooperative and relation-oriented under the fast growing ICT environment. In this study, we developed an online learning system, EPW, which combined knowledge of the various domains with the axes of science and education, using Topic Maps technology. For the purpose of motivating learners to think deeper by the dialogues and reflection, we introduced an avatar-agent system, in which an avatar represented the learner, and an agent represented the system, and the avatar explored learning fields through the dialogues with the agent. In the system, it was found that the learners were encouraged awareness in the science education through the process of showing opinions and mutual commenting.

研究分野：理科教育学

キーワード：e-Learning Topic Maps アバター 拡張現実 インタフェース 対話 仮想空間 仮想キャラクター

## 1. 研究開始当初の背景

インターネットは理科学習にとって広大な情報資源であるが、図書館のように知識内容によって構造化されておらず、テキスト検索で手軽に答えを引き出すような利用法になりがちである。逆に、豊富な情報資源が有効に関連付けされれば、基礎的学問的知識から活用的知識への結合や、分野から分野への結合を駆使して、有機的な知識の吸収と、問題意識の誘発が期待される。すなわち、知識を広げ思考する、学習者にとって開拓的な学びを考えると、インターネットには関連性志向の学習システムが求められる。さらには問題意識が芽生え、思考が深まる契機としての「対話」要素が求められる。

また、理科の学習においては、実体の実感と概念や情報とを結びつけることで興味関心を高め、理解を深め、誤解を修正する必要がある。これは、視覚化の断面のみならず、必然的に多視点的表現を志向するものである。このためにも関連性志向システムのデザインの枠組みに立脚した教材開発が最適であると考えられる。

こうした関連性志向デザインの実装の基盤技術として我々は Topic Maps を採用し、多次元的なトピックマップをシステムや教材開発の骨格にすることを可能にできた。

## 2. 研究の目的

本研究では次の事項を多次元関連性志向システムのデザインを基盤とした研究開発を行った。

(1) 対話により思考を喚起するアバター・エージェントシステムの導入：トピックマップにより多領域の情報資源を拡張性高く関連付けて利用でき、かつ学習者個別および全体の学習履歴をも結びつけられるようになった。しかしそれだけでは、学習ポータルは本質的に多次元的なリンクリストにとどまる。情報資源を読み、講義を聴講し、あるいは教室での話し合いをもとにして考えたことの軌跡をあとづけ、対話を軸とした学習ポータルを開発する。

(2) 学習システムに結合する教師の知恵の wiki サイト開発：教育現場での教師の悩みや知恵は、複雑な状況のもとでの個別的気づきである。こうした悩みや知恵の断片を、その内容の類似性により結びつけることによって、あらたな気づきやインスピレーションを誘発するための wiki システムを開発する。

(3) 実在物と融合した仮想現実(Augmented Reality, AR)インタフェースの教材利用の検討：インターネットの情報空間は実在空間に融合し、次第にインターネットの存在は意識されなくなり、実在にデジタル情報が埋め込まれるとも予想されている。その際、デジタル情報は AR として実在に組み込まれるものと思われる。現時点では、e-Learning は PC などで利用する形態であるが、本研究では教材レベルで実在と AR の融合の効果を、作成

教材をもとにして検討する。

## 3. 研究の方法

(1) トピックマップ・ベースのアバター・エージェントシステム構築：トピックマップ開発およびランタイム環境である Ontopia を用いて、知識構造、学習資源、学習履歴、デザイン、表現のトピック構造を構成した。アバター・エージェントの視覚表現および言葉表現の構造は表現のトピックマップに含めた。アバターとエージェントの対話は、この言葉表現と、学習履歴のテキストとにより構成した。アバターは学習の進行とともに成長し、学習資源の利用度(開拓性)、ドリルの理解度(開発性)およびコミュニケーション(相互作用)の3つの観点で、学習者個別のとくに優れた特徴をアバター画像により表現した。システム側の発話や返答、および指導者の個別学習者に対するコメントをエージェントからの発話として表現した。

(2) 教師の知恵の wiki サイト開発：4つの記事タイプ(「とっさの一言」「役立つ規則」「こまったな」「よかったね」と6つの内容分類(「時間」「場所」「能力」「出来事」「きもち」「ひと」)に分類される89の項目を設定した。筆者は記事入力時にこれらのうち関連項目をチェックして保存する。これにより投稿記事を多次元空間に位置付けられる。この空間内での記事同士の距離によって類似性を算出できるようにした。これにより注目した記事内容と関連した記事を全体から見出すことができる。これは、特定の問題に特定の解決を対応させるのではなく、問題をひろくとらえて、閲覧者自身のインスピレーションの誘発を目指すものである。協働学習において、自らの考えを説明するとともに関連する他所の説明に耳を傾けることで、気づきが得られやすくなり、より創造的に知識を拡張していくことに対応させたモデルである。

(3) AR インタフェースを持つ実験教材：実験をコンテンツとした教材は、仮説の検証のための実験とは別に、知識を実体に対応させて統合的に学ぶためのものと位置付けられる。

静力学の力の合成実験教材として、重りをつけた紐を滑車にかけて釣り合わせ、さらに作用点に付けた紐を手で引いて力を加え、釣り合いを変化させるホワイトボード上のデモ実験コンテンツを作成した。紐の角度など幾何的情報を、紐につけたマーカーを撮影することで取得し、力のベクトルを AR にして実際の実験器具にプロジェクションマッピングした。また荷物を複数の紐を用いて持ち上げる力の分解のコンテンツを作成し、学習者が反力を実際に感じ、同時に可視化された AR ベクトルで可視化する教材を試作した。

発電やモーターの仕組みを説明するための、フレミングレールに生ずる運動起電力の実験コンテンツでは、レール上の導体を手で動かすときの手指の動きを kinect で取得して仮想空間内に電流、磁場、ローレンツ力を

リアルタイムに表示する教材を作成した。これにより、実際の実験と同期して、ディスプレイ上に理論に基づく仮想モデルが表示されるので、利用者はシンボルを確認しながら実体的作用を系に能動的に及ぼすことが容易になる。

アバター・エージェント学習システムにおける仮想キャラクタがコンピュータとの相互作用に及ぼす影響を調べた。始めに、現状での主な学習者タイプである大学教育学部生を対象に、ゆるキャラクタや仮想キャラクタに関する意識アンケート調査を行った。その上で、仮想キャラクタが身振りや音声でガイドする電子教材を試作して、視線追跡により各画面要素上の使用者の視線滞留を計測した。これにより、仮想キャラクタが共存することの心理的効果を推測した。

#### 4. 研究成果

(1) トピックマップ・ベースのアバター・エージェントシステム構築：パイロットケースとして、成長し分化する卵型の妖精を学習者のアバターとし、ニュートンを題材にしたキャラクタを学習システム（あるいはインストラクター）のエージェントとした。その後、学習者の嗜好に合わせて、アバターとエージェントのキャラクタタイプを複数から選択または変更できるようにした。

本研究のアバター・エージェントシステムの発想の源泉は、学習者のコメントから始まる教師とのコミュニケーションにある。本システム導入以前の学習者の感想・コメントの内容を調べると、自らを励ます内容と共感的な内容が多かった。これらのコメントに対しては、利用者を励ます一般的な言葉を自動的に返すことも有効と推測された。研究方法 3) の仮想キャラクタに関する大学生を対象としたアンケート調査では、気に入ったキャラクタに励まされたい、という気分が有意に多く見られた。一方、質問や返答が必要と判断されるコメントには具体的、個別的に学習管理者側から返答を記入する必要がある。以上のことから、個別返答を登録した場合にはそれを返し、個別返答がない場合にはランダムに既存の言葉を返すこととした。ログインすると、まずこのアバター・エージェント対話から始まる。同時に、利用者が記入してきたテキストや利用したコンテンツへのリンクなどを時系列的に表示して、学習履歴や考えの履歴を回想しやすくした。すなわち、ログイン後内省を促すことから始まるデザインである。

本システムは大学での対面講義に併用しているので、多くの利用者が教員志望者である。したがって、他者の意見に耳を傾けたり、それにコメントする形で他者と関わったりすることはその専門性としても求められる。そこで、記述ドリルについては解答者の解答をすべて表示して、それを参照しながら自らの解答を構成できるようにし、その上で、各

解答に誰もがコメントできるようにした。記述ドリルの問題も正解が一つに決まるものではなく、解決困難な課題を通じて教育者としての自覚を促すものを中心に作成した。これにより、自分の解答を他者の解答を参考にしつつ構成すること、他者にコメントすること、解答後他者からのコメントを読むことを合わせて協働的に思考することの有効性を指摘する感想が増えてきた。さらに授業では、実際に小グループで討論して問題にアプローチし、その上で自分自身の解答を記述させる。

このシステムは、特に正解が一つに収束しない、あるいは決定的な解答が決まらないような問題にアプローチするため、そのアプローチの仕方を内省するために効果があるものと推測された。このシステムの下で記入される感想では、単純に答えが決まらない問題への関心と、協働的アプローチへの共感が多くなっている。エージェントからアバターへの声かけは、学習環境として重要な要素であることが示唆されている。

(2) 教師の知恵の wiki サイト開発：「せんせい folio」の名称で wiki サイトを公開し、さらに「EduNavi」の名称で開発してきた子どもの人間力評価ツール、および現場教師の内省のために開発した「せんせいポケット」とリンクした。後二者は、自己チェック、他者チェック、時間変化、類似度などを通じて、教師が気づきを得るためのツールとして作成した。「EduNavi」の評価項目はせんせい folio のトピックと共有されており、子どもの状態の問題点と関係するせんせい folio 記事を自動リストアップできるようにした。これらのツールは公開しているが、匿名性を保ちながら使用されている。

(3) AR インタフェースを持つ実験教材

実物上に設置したマーカーを撮影し、このマーカーの幾何学情報から適切な AR 画像要素を物体上の意図した位置に映写する方法を、AR プロジェクションマッピングと呼称することにした。撮影と映写対象が同一であると、ビデオフィードバックが起きて映像の無限反復ができてしまう。そこで、映写画像中の対象物を AR 画像で覆い隠すことによって、ビデオフィードバックの発生を避ける方法をとった。さらには AR マーカーの部分のみをプロジェクター光で照明するための AR 像を設けた。これにより、教室などでの実用照明下で AR プロジェクションマッピングを行うことができた。

一方、静止物体に静止 AR 像を投影する場合でも、マーカー画像認識の揺らぎなどにより、AR 像の映写位置には揺動が生じてしまう。この揺動が問題になる場合には描画の更新を停止することとした。運動物体を追従する場合には、マーカー画像取得から AR 画像生成までに時間遅れが生じてしまう。この時間遅れを測定することから、物体の瞬間瞬間の運動変化が問題になるコンテンツに AR プロ

ジェクションマッピングを適用することは現状では困難と判断された。

手指の動作を kinect センサーで画像取得し、仮想空間内に設置したフレミングレール上に置いた可動の導体を、学習者の手の実際の動きに合わせて表示するコンテンツを作成した。この際に、使用者の手指の仮想画像を仮想空間内に表示することの手の実運動に対する影響を、次の方法で測定して調べた。画面に描かれた仮想3次元空間内のランダムな位置にターゲット物体を表示し、これを手で捉えると、また別のランダムな位置に物体を表示する。これを反復するときの、手の仮想3次元空間内の運動軌跡をデータとする。ターゲット物体の移動空間次元としては1次元上から3次元についてまで調べた。これらの測定から、手指を仮想空間内に表示する場合は、表示しない場合に比較して、手の運動への揺らぎの正のフィードバックが増加し、より滑らかな動きになることが見られた。また、手が表示される方がターゲットを捉える際の、手探りするような無駄な動きが減少した。実際の手指が表示されることにより、VRとインタラクションに、知覚的フィードバックが働き、より自然な没入的操作が可能になることが示唆された。

アバターシステムは、仮想学習空間に、実際の利用者の学習活動をシンボルとして投影するものである。利用者の活動をより忠実に反映したアバター表現を導入することで、学習環境として自己コントロール性が高まる可能性も想定される。

教材における仮想キャラクタの存在の効果は、シミュレーション教材での運動を表現するアニメーション要素と、変数設定やコントロールのための文字列要素とに大別し、これらの要素上の視線滞留の割合を測定した。測定は、学習者が、コンテンツが表示する指示に従って操作して、操作法を学ぶためのチュートリアルモードと、学習者が能動的にパラメータ設定してシミュレーションを実行する入力待ちモードにおいて行った。この結果、学習者が受動的に操作するチュートリアルモードでは、仮想キャラクタが使用方法を指示する場合に、よりキャラクタ以外のアニメーション画像要素への視線滞留が高まり、シミュレーションの動きや直感的要素への注目が増えることが知られた。しかし、学習者が能動的に操作する入力待ちモードではキャラクタの有無による差は見られなかった。

デジタルコンテンツでは、直感的・感性的表現により、内容のイメージが強化される場合がある。仮想キャラクタの存在により、こうした表現への自然な誘導があるとすれば、非常に興味深いことである。さらには、目をひき、違和感のあるイメージ要素を重ねることにより、閲覧者にとってコンテンツを生き生きとした、理解したい気持ちを引き上げる効果が考えられる。大学生を対象として実施したキャラクタの効果に関するアンケートで

は、ある物や事柄にキャラクタを付与することで、物事への関心と愛着が誘発されると感じやすいことが有意に示された。

## 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 8件)

Shu Matsuura, Takumi Shigihara, "Effects of Superimposing Salient Graphics on Learning Material", *Lecture Notes in Computer Science* (査読有), **9177**, (2015) *in press*.

Shu Matsuura, Shoko Fujimoto, Motomu Naito, "Reconstruction of a Link-List Type Learning System into an Explorative Virtual Learning Portal Based on an Avatar-Agent Model", *The 22<sup>nd</sup> International Conference on Computers in Education: Work-in-Progress Poster Proceedings* (査読無), **1**, (2014) pp.31-33.

Tetsufumi Mikami, Shu Matsuura, "Effectiveness of Virtual Hands in 3D Learning Material", *Advanced Interaction Modalities and Techniques, Lecture Notes in Computer Science* (査読有), **8511** (2014) pp.93-101  
DOI 10.1007/978-3-319-07230-2\_9.

Shohei Tsuchida, Narumi Yumoto, Shu Matsuura, "Development of Augmented Reality Teaching Materials with Projection Mapping on Real Experimental Settings", *Communications in Computer and Information Science, HCI International 2014-Posters' Extended Abstracts* (査読無), **453** (2014) pp.177-182  
DOI 10.1007/978-3-319-07854-0\_32.

Shu Matsuura, "Misperception of rotational motion images displayed with and without stereoscopy", *2013 International Conference on 3D Imaging (IC3D)* (査読有), **1** (2013) pp.1-6,  
DOI:10.1109/IC3D.2013.6732087.

Shu Matsuura, "Use of stereoscopic visualization in the learning contents of rotational motion", *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE* (査読有), **1** (2013) pp.7192-7195,  
DOI: 10.1109/EMBC.2013.6611217.

Shu Matsuura, "Effective Usage of Stereoscopic Visualization for the Learning of a Motional Mechanism",

*Lecture Notes in Computer Science* (査読有), **8011** (2013) pp.187-194,  
DOI 10.1007/978-3-642-39194-1\_22.

Shu Matsuura, Motomu Naito, Hiromi Toyota, "Creation of a Topic Maps-Based Wiki with an Article Similarity Measurement", *Proc. of the 20<sup>th</sup> International Conference on Computers in Education ICCE 2012* (査読有), **20** (2012) pp.300-304.

〔学会発表〕(計 25 件)

松浦執, 嶋原拓実, "デジタル学習教材での言語的インタラクション", 日本物理学会第70回年次大会, 2015年3月21日~3月24日, 早稲田大学(東京都・新宿区).

Shu Matsuura, Shoko Fujimoto, Motomu Naito, "Reconstruction of a Link-List Type Learning System into an Explorative Virtual Learning Portal Based on an Avatar-Agent Model", *International Conference on Computers in Education 2014*, 2014/11/30-2014/12/4, 奈良県立公会堂(奈良県・奈良市).

Tetsufumi Mikami, Shu Matsuura, "Effectiveness of Virtual Hands in 3D Learning Material", *16<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction*, 2014/6/22-2014/6/27, クレタ・マリス(ギリシャ).

Shu Matsuura, "Misperception of rotational motion images displayed with and without stereoscopy", *3D Stereo Media 6<sup>th</sup> Edition*, 2013 *International Conference on 3D Imaging*, 2013/12/3-2013/12/5, リエージュ(ベルギー).

Shu Matsuura, Shoko Fujimoto, Motomu Naito, "Improving the Chance to Learn Open Education Resources Using a Topic Maps-Based Learning Portal", *PNC 2013 Annual Conference and Joint Meetings, New Paradigms on Humanities Computing -Linking Knowledge of Human Activities*, 2013/12/10-2013/12/13, 京都大学(京都府・京都市).

Shu Matsuura, "Usage of Stereoscopic Visualization in the Learning Contents of Rotational Motion", *35<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2013/7/3-2013/7/7, 大阪府立国際会議場(大阪府・大阪市).

Shu Matsuura, "Effective Usage of

Stereoscopic Visualization for the Learning of a Motional Mechanism", *HCI International 2013, 15<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction*, 2013/7/22-2013/7/26, ラスベガス(合衆国).

Shu Matsuura, Hiromi Toyota, Yui Komatsu, Motomu Naito, "Creating a Unified Web-Tool for Child Assessment and Knowledge Sharing Based on Topic Maps", *PNC 2012 Annual Conference and Joint Meeting*, 2012/12/7-2012/12/9, バークレイ(合衆国)

Shu Matsuura, Motomu Naito, Hiromi Toyota, "Creation of a Topic Maps-Based Wiki with an Article Similarity Measurement", *The 20<sup>th</sup> International Conference on Computers in Education, ICCE 2012*, 2012/11/26-2012/11/30, シンガポール(シンガポール).

〔その他〕

ホームページ等

"Everyday Physics on Web Topic Maps"  
<http://tm.u-gakugei.ac.jp/epw/>

"EduNavi 子供が安心して学べる学級づくりのためのアセスメント"  
<http://tm.u-gakugei.ac.jp/ca/>

"せんせいfolio 子供が安心して学べる学級づくりのために"  
<http://tm.u-gakugei.ac.jp/ca/k/>

"先生のための内省手帳 せんせいポケット"  
<http://tm.u-gakugei.ac.jp/ca/teacher/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松浦 執 (Matsuura Shu)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号: 70238955