

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500842

研究課題名（和文） 多次元構造トピックマップにより学習を広げる総合的理科 e-Learning の構築

研究課題名（英文） Construction of Synthetic e-Learning to Explore Science Learning Based on Multi-Dimensional Topic Maps

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

研究成果の概要（和文）：自然科学（物理、化学、生物、地学、天文）と人工物学（産業、環境、人工物、持続性）および日常生活の諸主題を相互に関連づけた、中等および高等教育導入学習のための学習ポータルを構築した。Semantic 技術の一つである Topic Maps を用い、種々のドメイン知識のオントロジーを構築して、各主題に web 上の優れた学習資源を結合した。さらに、web デザインと推奨に関するオントロジーを統合し、Topic Maps 駆動 web サーバーを構築して公開した。

研究成果の概要（英文）：A learning portal that was beneficial for the high school and the introductory courses in higher education was constructed. The portal consisted of knowledge domains of natural sciences (physics, chemistry, biology, earth science, astronomy), science on artifacts (industry, environment, artificial, sustainability) and daily life subjects. The topics of these domains were associated. Beneficial web learning resources were linked with the corresponding topics. To construct the system of structured knowledge, Topic Maps, one of the semantic web technologies, was used to build the ontology and to drive the learning portal. The portal was publicized for general use.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：理科教育学

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 ・ 科学教育

キーワード：自然科学教育、Topic Maps、e-Learning、Web 利用、オープン・エデュケーション、Semantic 技術、オントロジー、関連性指向

1. 研究開始当初の背景

高等教育において、e-Learning は入学前教育、導入・補助教育、専門教育のいずれの段階にも用いられるようになった。その多くは講座指向であり、知識の吸収と協同学習、学習履歴のフィードバックのいずれの相において

も授業での学びの充実のために役立てられている。報告者は理工系での初等的な物理学学習のために、主題関連性指向の、講座に閉じない e-Learning を構築、公開運用してきた。それは物理学の各分野を、主題の基礎-応用関連に基づいて、学習を自主的に展開す

るものであったが、範囲は物理学に限られていた。

一方、MIT のオープンコースウェアや、コロラド大学の物理学学習用シミュレーション Phet を始めとして、インターネット上には自由に学ぶことのできる優れたコンテンツが蓄積されてきた。ある主題を学ぶ際に、これらの優れたコンテンツを直ちに活用できるような e-Learning が求められる。

2. 研究の目的

- (1) 現代においては、科学は技術の基礎のみならず、社会の基盤となるあらゆる知識領域の基礎を与えるものになっている。理科の学習を、日常生活から持続性社会構築の情報に至る広い知識に横断的に関連させて行えるような学習ポータルを構築し、公開運用する。
- (2) インターネット上の優れた学習コンテンツ、データベースなどを、学習主題ごとにまとめて、主題の関連をたどりつつ、優れたコンテンツを効果的に自主的にまなべる学習ポータルを構築する。
- (3) オリジナルの学習コンテンツ、特に全体を把握しつつ様々な視点からの観察や、慣性系・非慣性系からの観察が可能な 3 次元立体映像のコンテンツを試作し、その効果を測定する。

3. 研究の方法

- (1) 内容の関連性に基づいて、学習を広範囲に展開することを支援するためには、オントロジーをベースにした学習システムを構築することが望ましい。本研究では、topic (主題) と topic 間の association (関連) を定義して知識をモデル化する ISO 標準の Topic Maps 技術を用いて、物理、化学、生物、地球科学、天文学、産業、環境、持続性、人工物、政策、科学史・技術史、日常生活の各種分野の知識ドメインをモデル化した。具体的な web 資料は、各 topic の occurrence (出現) として topic にリンクする。
- (2) Topic Maps をベースにした web サイトを構築するために、オープンソースの開発およびランタイム環境である Ontopia を用いて、web サイトを構築した。Ontopia は Apache Tomcat サーバーに Topic Maps エンジンを用意したもので、java ベースのシステムである。作成した topic map は tolog クエリ言語で検索する。Tolog クエリを java で扱うための tolog タグライブラリが用意されているので、topic map からクライアントに表示するための html などを効率的に生成できる。Topic map は拡張性と高速性にすぐれるデータベース型とし、PostgreSQL データベースサーバーに格納した。学習履歴データベースは、これまで運用している e-Learning web サーバー

で用いている SQL Server をそのまま活用した。

- (3) 立体映像コンテンツは Adobe Flash を用い、3D ライブラリの Papervision3D をベースにして作成した。1 つの 3D モデルを、左右両眼用のレンダリングを行う 2 つの仮想カメラで映像化し、左右両眼用のシーンを side by side 方式で web ブラウザ上に表示する方法をとった。このカメラを観察者が任意の位置に移動したり、運動しながら立体空間を観察したりすることで多視点型の立体映像コンテンツとなる。

映像の表示には左右眼用の画像を別々のプロジェクタに入力し、垂直偏光させた画像を光学的に合成して偏光保存性のスクリーンに映写する方式をとった。学習者は垂直偏光メガネをかけることで立体視ができる。教育実践としては、相互作用を変えて観察できる分子運動のシミュレーションを小学生に、磁場や電磁力のベクトルを表示したモーターのコンテンツを中学生のクラスで演示して、教材効果をアンケートにより測定した。

4. 研究成果

- (1) 多次元 topic map のオントロジー構築：開発した学習ポータル “Everyday Physics on Web Topic Map” (epw と略称) の URL は <http://tm.u-gakugei.ac.jp/epw/> である。topic map の構造として、主題の構造と表現構造との分離、および全体の柔軟な拡張性を原則とすることにより、次のような構造をとることを選択した。全体を、知識をモデル化した Subject topic map、学習資源を表現形式で分類する Learning Resource topic map、学習履歴を分類する Learning Record topic map、これらの分類を web ナビゲーションに変換するための Web Design topic map、そして利用者に対する主題や資料の推薦を分類した Recommendation topic map の 5 つの topic map で構成した (図 1)。

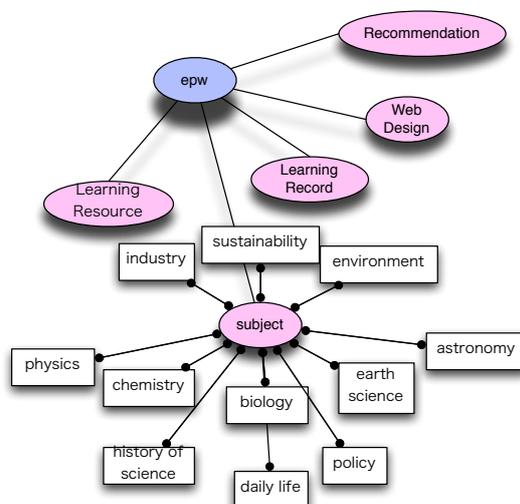


図 1. 主要トピックと subject topic の分類。

Subject topic の各ドメインではさらに領域を細分化し、領域に応じて、階層的な知識構造から分岐分類的構造などのモデル化を行った。

このような領域構造的な構成とともに、関連する subject を直接関連させる association、さらには異なるドメインに属する subject を直接関連させる association を導入した。分野内の階層構造のみならず、関連 topic 間を直接関連づけることにより分野内外を直接移動して学習を展開することが容易になる。特に、環境 topic では異分野との連携が多く、分野間を結合する、知識のネットワーク中のハブ的な役割を持つようになった (図 2)。

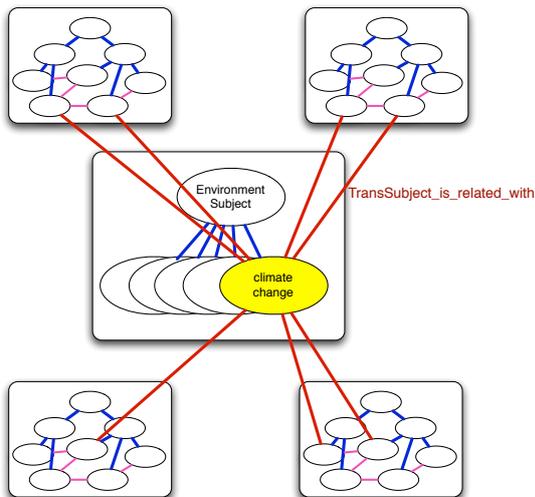


図 2. 分野横断的関連により、異分野間のハブとなるトピック。

Learning Resource topic map では、テキスト、ドリル、シミュレーション、実験をはじめ、種々の学習資源を、その表現方法によって分類した (図 3)。各分類に属する topic instance の出現 (occurrence) が、実際のコンテンツへのリンクである。この topic instance はその内容によって、前述の subject topic map の対応する topic に関連づけられる。即ち、subject topic に直接に学習資源への出現を持たせず、subject と表現 instance の関連を経て、その subject の内容が特定の表現をとって学習資源として出現する、という形式を採用した。学習資源によっては、単一の学習資源が複数の subject topic に関連づけられるということも起きる。また、一つの subject topic は一般的に複数の表現方法の資源に結合される。Learning Resource topic の一つが lecture topic type である。Lecture topic は、複数の subject topic の連続として構成した。テキスト、ドリル、シミュレーション他に結びつけられた subject instance を 1 次元的に連結することで様々な主題の講座を構成す

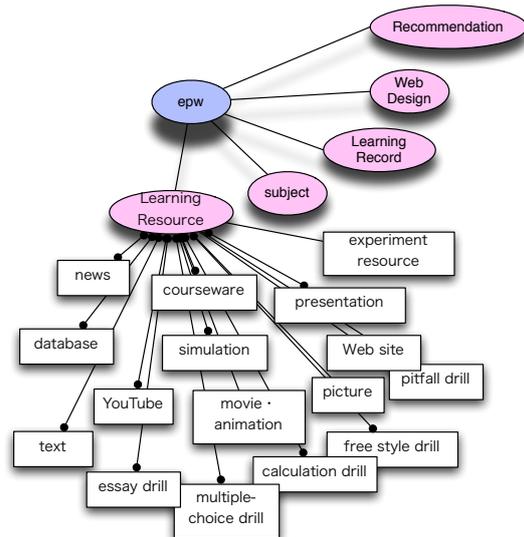


図 3. 表現方法で分類した Learning Resource topic map の構造

ることが可能となった (図 4)。

学習ポータルでは、subject topic map に基づいた知識構造に基づくナビゲーションと、学習資源の表現の分類によるナビゲーションの 2 つを主なナビゲーションとした。前者は、分野の topic map 構造に基づくナビゲーションと、各 subject topic instance を中心に、これに関連する topic instance を結合したローカル・ナビゲーションに分けられる。後者は learning resource type ごとに分けている。これらのナビゲーション構造を

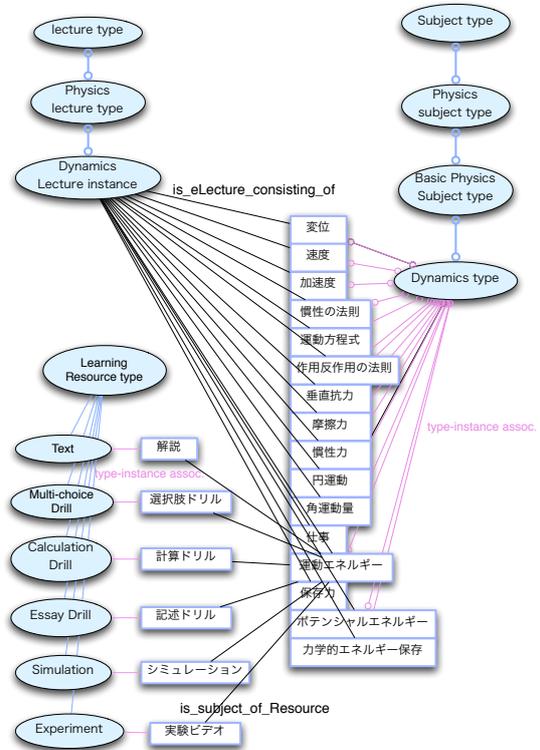


図 4. Lecture topic の構成法

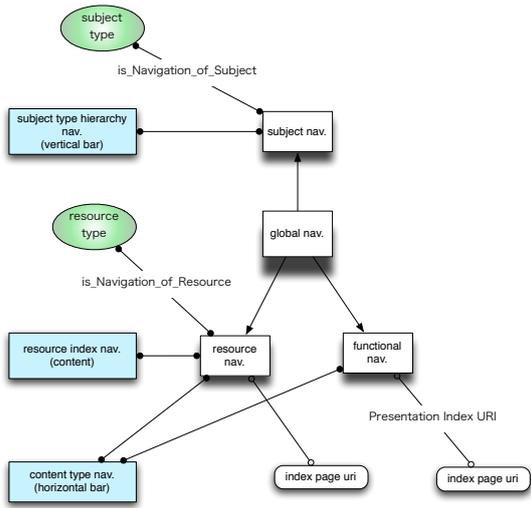


図 5. Web design topic map の構造

オントロジーにしたものが図 5 に示す web design topic map である。各 web ページをこのトピックマップに基づいて自動生成する。従って、ページデザインを変更、更新する場合にも通常はトピックマップを変更すればよい。

Recommendation topic map では学習ポータル利用者に対する推奨機能を定義した (図 6)。推奨機能には、web サイト運営者が特に推薦するコンテンツや、そのタイプをリストするエキスパート推奨と、利用履歴や学習履歴にもとづく履歴指向推奨とを設けた。履歴指向推奨には、利用者全体の利用状況をもとにするものと、個人の利用状況をもとに推奨する方法を設定した。利用者全体の行動に基づく推奨機能では、利用傾向の類似する利用者の利用度の高いものを抽出する類似度指向推奨などを設定した。個人の利用履歴に基づく

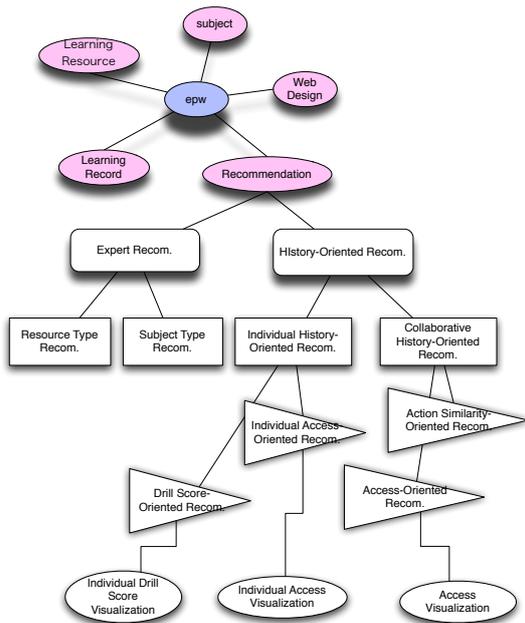


図 6. Recommendation topic map の構造

推奨機能では、ドリルの理解度を、時間を含む累積正答率評価関数を設定して評価し、これに基づいて再学習を促す方式を設定した。これらの topic map は、知識モデルとなる subject topic map を軸としている。そこに定義された知識構造を骨格として、インタフェースを生成し、推奨機能を定義している。知識そのものの構造を骨格とすることにより、表示や、推奨などの機能も、一貫して知識構造をもとにして機能させることができる。一方で、知識構造の変更や拡張に対して、web プログラミングをその都度メンテナンスする必要がない。さらに、Subject topic map には、分野ごとの階層構造と、topic 間の直接の関連とを、関連タイプを分けることによって多次元的構造を持たせている。関連タイプを柔軟に定義できることによって、多次元構造をそのまま活かしたナビゲーションが可能になった。これは、ハイパーリンクによる語とページなどの均一な連結と異なり、関連の意味を明瞭にする。即ち、知識構造 topic map を基軸とすることが、ナビゲーションの知識構造可視化機能を系統的に実現し、メンテナンスを容易にしていると言える。

今後はさらに利用しやすいインタフェースの研究、分野の特徴を活かしたインタフェースの創出、および利用者の利用履歴から学習の展開を可視化することなどを目標としている。

(2) 立体映像学習コンテンツの制作

① 分子運動シミュレーション : Lennard-Jones ポテンシャルの有無、Coulomb ポテンシャルの有無などを組み合わせることで、分子運動や形成される構造などの比較をする立体映像シミュレーションを制作した。特に小学校 4~6 年生や大学生に立体映像を見せて、アンケート調査を行った。深さの認識が自然に得られるため、非立体映像と比較して、粒子の空間配置や粒子群の空間構造が把握しやすく、それゆえ相互作用の違いの、分子運動や秩序構造形成への影響が理解しやすくなることが分かった。

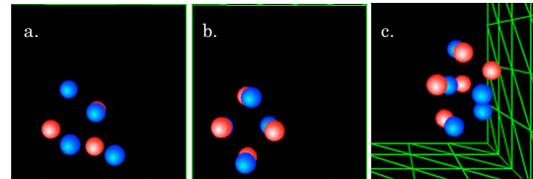


図 7. 分子運動シミュレーション : a ; Lennard-Jones ポテンシャルのみ。b ; Lennard-Jones ポテンシャルと Coulomb ポテンシャル。c : Lennard-Jones ポテンシャルのもとで形成されたクラスターが壁面と衝突して跳ね返るとき様子。粒子の色は、Coulomb ポテンシャルの場合の電荷の正負を表す。

また、仮想カメラを静止系に設置するだけでなく、運動する分子に設置することにより、分子運動にともなう周囲の映像の動きから、分子に作用する力の変化を擬似的に体感できることが分かった。また、wii リモコンを用いて特定の分子に瞬間的に運動量を与えて、分子間引力の働きを体感しながら、外力がクラスター全体の運動に影響を及ぼす様子等が、深さの知覚が与えられる故に、非立体映像に比べて立体映像ではわかりやすくなることが分かった。

②直流モーターのモデル：電磁気現象のローレンツ力などは、電流、磁場および電流に作用する磁気力を表現するために3次元の表現が必要である(図8)。さらに、磁場中で回転するコイル上でフレミングの左手の法則を確認することは認知的な負担が大きい。立体映像で3次元の認識の負担を下げ、ローレンツ力の働きが分かりやすい方向からの視野、回転するコイルとともに運動する視野(図9)からの左手の法則の確認など、視点を変えながら学習できるコンテンツを作成した。

中学校の授業で、ローレンツ力の実験と組み

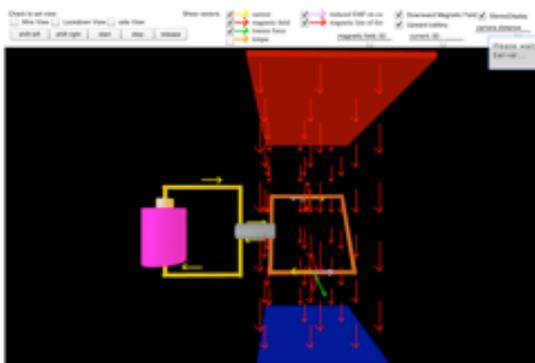


図 8. モーターモデルの全体像。直流バッテリー(左側)と、磁場中で回転するコイル(右側)からなる。

合わせて立体映像を映写して説明し、その前後での意識調査を行った。その結果、全体として立体映像を学習することによりフレミングの左手の法則を適用してモーターのし

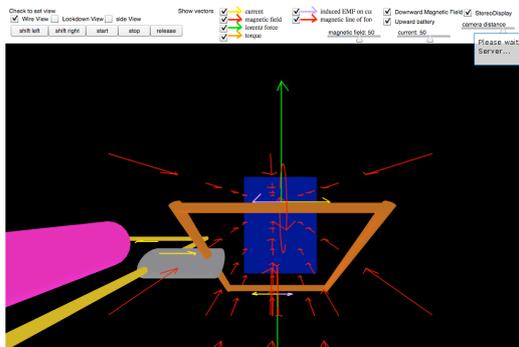


図 9. ワイヤとともに回転運動する仮想カメラからの視野。

くみを説明する自信が向上することが分かった。しかし他方で、立体映像で学習する以前にある程度理解が確立した生徒の73%は立体映像の学習により理解の向上を感じたが、理解が確立していない生徒では30%にとどまった。実験や2次元の図での学習である程度理解ができている方が、立体映像での学習効果が高いことが示唆された。

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4件)

① Takuya Yoshii, Shu Matsuura, Educational Benefits of Stereoscopic Visualization from Multiple Viewpoints, Illustrated with an Electrical Motor Model, International Conference on 3D Imaging 2011 Proceedings, 査読有, CD-ROM 版, 2011, (通しページなし).

② Shu Matsuura, Use of Camera Drive in Stereoscopic Display of Learning Contents of Introductory Physics, Proceedings of SPIE-IS&T Electronic Imaging, 査読無, 7863 巻, 2011, P24-1 - 24-7

③ 松浦執、内藤求, Topic Maps による主題中心指向 Web 学習ポータルの開発, 可視化情報, 査読無, 30 suppl.1, 2010, P245 - 250

④ Shu Matsuura, Development of a Trans-Field Learning System Based on Multidimensional Topic Maps, Leipziger Beiträge zur Informatik, Linked Topic Maps, 査読有, 19, 2009, P. 83-89

[学会発表](計27件)

① Takuya Yoshii, Shu Matsuura, Educational Benefits of Stereoscopic Visualization from Multiple Viewpoints, Illustrated with an Electrical Motor Model, International Conference on 3D Imaging 2011, 2011年12月9日, Palais des Congress (Liege)

② Shu Matsuura, Takako Koike, Motomu Naito, Construction of a Semantically Integrated e-Learning System Based on Topic Maps for Multidisciplinary Learning, PNC 2011 Annual Conference and Joint Meeting, 2011年10月21日, Chulalongkorn University (Bangkok)

③ 松浦執, 関連性指向理科学習ポータルにおける推奨型ナビゲーションの創出, 日本物理学会 2011 年秋季大会, 2011 年 9 月 21 日, 富山大学 (富山県)

④ 松浦執、豊田弘巳, Topic Map を用いた小学校学級づくりのための教師コミュニケーション web サイトの試作, 日本教育工学会第 27 回全国大会, 2011 年 9 月 19 日, 首都大学東京 (東京都)

⑤ 小池貴子、松浦執, Topic Map 駆動学習ポータルによるピア・インストラクション型物理学講義の自宅学習支援, コンピュータ利用教育学会 2011PC Conference, 2011 年 8 月 8 日, 熊本大学 (熊本県)

⑥ 柳澤文香、吉井拓弥、小池貴子、中村優美、松浦執, 立体映像の学習利用の可能性, 第 71 回形の科学シンポジウム, 2011 年 6 月 17 日, 千葉大学 (千葉県)

⑦ Shu Matsuura, IS&T/SPIE Electronic Imaging, Science and Technology, Use of camera drive in stereoscopic display of learning contents of introductory physics, 2011 年 1 月 25 日, Hyatt Regency San Francisco Airport Hotel (San Francisco)

⑧ Yumi Nakamura & Shu Matsuura, Development of a Micro-Scale Solubility Experiment Package and an Online Learning Support System Based on Topic Maps, Pacificchem 2010, 2010 年 12 月 19 日, Hawaii Convention Center (Honolulu)

⑨ Shu Matsuura, Use of the Wii Remote for Interaction in a Topic Map-Based Learning Web Site, Sixth International Conference on Topic Maps Research and Applications "Information wants to be a topic map", 2010 年 10 月 1 日, Meiden Campus, Vila Ida, (Leipzig)

⑩ 松浦執、内藤求, Topic Maps による主題中心指向 Web 学習ポータルの開発, 第 38 回可視化情報シンポジウム, 2010 年 7 月 20 日, 工学院大学 (東京)

⑪ 松浦執、トピックマップサーバーでのマッシュアップによる学習資料生成, 日本物理学会第 65 回年次大会, 2010 年 3 月 20 日, 岡山大学 (岡山県)

⑫ 松浦執、Topic Maps 駆動型の Web 学習ポータルの開発, TMJP2010 トピックマップ適用事例発表会, 2010 年 1 月 22 日, 国立

情報学研究所 (東京都)

⑬ 天野公貴、河原崎幸之介、和氣聡、松浦執, Wii で制御する星座トピックマップアプリケーションの開発, TMJP2010 トピックマップ適用事例発表会, 2010 年 1 月 22 日, 国立情報学研究所 (東京都)

⑭ 松浦執、エンタテインメントの e-Learning への活用, 第 3 回横幹連合コンファレンス ことづくりの可視化, 2009 年 12 月 4 日, 東北大学 (宮城県)

⑮ Shu Matsuura, Development of a Trans-Field Learning System Based on Multidimensional Topic Maps, Fifth International Conference on Topic Maps Research and Applications "Linked Topic Maps", 2009 年 11 月 12 日, Meiden Campus, Vila Ida, (Leipzig)

⑯ 松浦執, 安田和宏, 中村優美, 森本康彦, 内藤求, Topic Maps による領域横断的学習システムの設計, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009 年 9 月 27 日, 熊本大学 (熊本県)

⑰ 松浦執、内藤求, Topic Maps による理科の領域横断的 web 学習環境の開発, 日本教育工学会第 25 回全国大会, 2009 年 9 月 19 日, 東京大学 (東京都)

⑱ 松浦執、森本康彦、石井和美、武田博直, 学習におけるインタラクティブ体感型メディア「体感・教室」の可能性, 第 67 回形の科学シンポジウム, 2009 年 6 月 26 日, 東京大学柏キャンパス (千葉県)

[その他]

ホームページ等

開発システムの URL

<http://tm.u-gakugei.ac.jp/epw/>

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

(2) 研究分担者

(無し)

(3) 連携研究者

(無し)