

平成 21 年 4 月 27 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19500760  
 研究課題名（和文） トピックマップによる知識構造表示を軸とする初等物理学 e-Learning の開発  
 研究課題名（英文） Development of Introductory Physics e-Learning Based on Knowledge Representation by Topic Maps.  
 研究代表者  
 松浦 執（MATSUURA SHU）  
 東海大学・開発工学部・准教授  
 研究者番号：70238955

研究成果の概要：初等物理学を web 上で広く知識の主題の関係をもとにして学ぶための、知識構造を Topic Maps 技術に基づいて可視化した公開 e-Learning を構築した。Topic Maps は、主題とその間の関連のネットワークによって情報の意味モデルを構築する技術である。本研究では基礎-応用の関連を中心に意味モデルを構築した。このシステムを通常授業と併用したところ、学習者が授業範囲を超えて広く学習する傾向が現れた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：物理教育

科研費の分科・細目：科学教育・(1601)科学教育

キーワード：物理教育、e-Learning、Topic Maps、ブレンディング教育、知識表現、Web 利用教育、オントロジー、Semantic Web

## 1. 研究開始当初の背景

理工系学生の、物理学の既有知識や初歩的数理スキルの実力、またそれらの習得速度が多様化している。それゆえ対面での直接指導に加え、学生が個別の特性に応じた自主学习を進められる学習メディアが不可欠である。この目的で、学習者個別のカスタマイズが可能な e-Learning を対面授業とのブレンディングに活用することが有効と考えられる。

また多くの学生には単位取得要件や興味関心によって、学習範囲を限定しようとする傾向がある。この副作用として、学習が断片的知識吸収に終始し、知識の系統的理解に至

れないことがしばしば見られる。報告者は、対面授業の予復習のための e-Learning を構築し、分散型反復学習アドバイスシステムを導入して理解の定着を促すとともに、反復的学習の動機を高めることを試みてきた。これは授業に合わせて予定されたドリルの反復学習促進には有効に機能した。しかし、授業に従って、1次元配列した課題を順次処理する学習方式は、学生にとって学習手順に迷いを生じさせないメリットがあるものの、知識の内容的な関連が意識されにくく、学習範囲が個別の興味関心や必要性とは無関係に限定されてしまっていた。

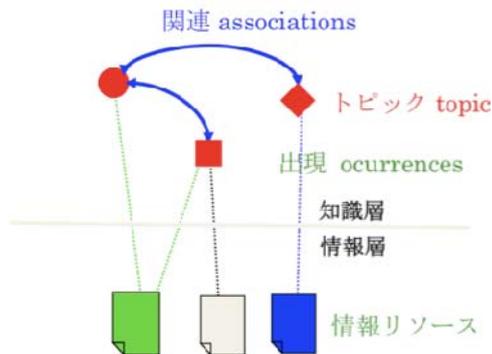


図1. トピックマップ

物理学は理工系諸分野において共通的に用いられる基盤知識であり、技術の高度化は物理学的知識の必要性を高めている。一方で、科学技術の進展のもとであらわれた現代の危機といえる諸問題に対して、社会の持続のための知識と人工物の synthesis があらたに求められている。このためには諸分野の知識を理解し活用する能力が求められる。理工系の学習においても、学生が学習を拡げ、諸分野の知識を関連させて学ぶ能力の発現を促進し、評価していかねばならない。

## 2. 研究の目的

本研究では、初等物理学の学習者のための、自主学習を促進する学習環境としての公開 e-Learning を開発および運用した。

### (1) 講座型からオントロジー駆動型へ

通常の e-Learning は学習教材を1次元的に配列した講座を基本骨格としている。本システムでは、初等的な物理のオントロジーをもとにして意味のモデルとしての物理のトピックマップを作成し、これをもとに学習支援の機能を実装する。

### (2) 可視化トピックマップポータル

初めて利用する学習者にも、利用に慣れた学習者にも効果的な検索ができるような、トピックマップの可視化を行い、これを学習のポータルとする。

(3) 知識ネットワークのトピックマップに学習アドバイス機能を付与する。

物理の主題のトピックマップに、e-Learning 特有の機能である学習アドバイスを重畳する。利用者が、学習内容と学習履歴とを同時に認識することで、自主的な学習を進めやすいようにする。

以上を実現し、さらに基礎的な物理学習から、応用分野への学習の拡張、そして多分野の学習との接続を可能にするような拡張性のあるトピックマップの開発を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) トピックマップ

図1のように、トピックマップでは、情報の主題を「トピック」として表現する。主題

間の関係は「関連」と呼ばれ、トピックと関連が「知識層」を構成する。トピックと、情報層における具体的情報リソースとの結合を「出現」と呼ぶ。知識層での関連のネットワークは知識構造を表現し、情報システムの有効性に影響する。トピックマップは情報の「見つけやすさ」を高める技術である。

### (2) トピックマップと e-Learning システムの開発

本システムについてのトピックマップは、現在のところ最も整備された開発ツールであるノルウェーの Ontopia Knowledge Suite (OKS)を用いた。また、web アプリケーションは、クライアント側を Adobe Flash で開発し、リレーショナルデータベース(RDB)サーバー (Microsoft SQL server) と web サーバーとの連携には Adobe ColdFusion を用いた。Flash アプリケーションと ColdFusion との通信には Flash Remoting を用いた。実運用 web アプリケーションでは、RDB を用いてトピックマップ構造を実装した。

### (3) e-Learning の運用

e-Learning は常時公開し、学外者の利用登録を可能にすると同時に、東海大学開発工学部での基礎教育科目「物理学」「熱とエネルギー」「振動と波動」「電気と磁気」の受講者に授業時間外での自主学習に活用させた。授業の成績評価資料として、授業時に行う小テスト、中間・定期試験成績の他に、e-Learning での学習を 20%含めた。2007 年度秋学期での月別の解説テキストリクエスト数推移は、10 月が 2025 回、11 月が 1686 回、12 月が 1121 回、1 月が 3991 回であった。

## 4. 研究成果

### (1) 主題中心指向での e-Learning システムトピックマップの開発

トピックマップ技術は、情報を、その主題と主題間の関連に注目することによって人間の思考にとって親和的に扱い、情報を見つけやすくするものである。これはコンピュータ処理中心などに対比して、「主題中心」指向と称されている。トピックマップの開発にあたっては、情報を主題中心に捉えて扱うことがポイントである。主題中心指向は e-Learning 構築においても応用できる。

典型的な e-Learning においては、教材を配列して講座を構成し、講座ごとの受講者を登録して、受講者の教材に対する学習履歴などを解析する。この方法は講座中心指向と考えることができる。学習者は、インストラクターがデザインした過程を学習していく。

これに対し学習者自身が学習をデザインすることを考える。学習者が①興味関心や必要性に応じて学習し、②学習内容を理解し記憶しやすくするためには、主体的に学習する知識の構造を把握し、それをもとに学習を進

める必要がある。このような e-Learning は主題中心指向の学習システムといえよう。

いずれも、e-Learning インストラクターは、学習者個別学習状況を解析して、個別支援を展開するものであることに変わりはない。

本研究では、物理主題中心指向の e-Learning を構築した。さらに、システム設計自身についても、学習主題を中心とした図 2 のような多層構造の e-Learning トピックマップをもとにした構築を試みた。

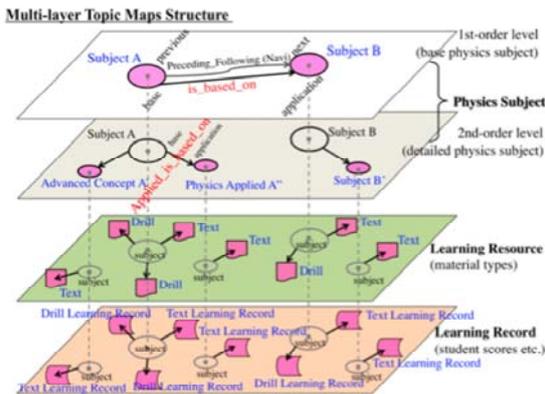


図 2. 多層構造の学習主題中心指向の e-Learning トピックマップ。

最上層は物理基礎概念トピックとその関連の層である。関連は *is\_based\_on* で、各概念と、それに直接に基づく応用概念とを結びつけた。この関連は基礎概念の系統樹を形づくり、基礎から積み上げる学習、基礎にもどって理解を構築し直す学習に有用である。

樹の構造を幹から末端の枝へと一筆書きで書くことはできない。しかし対面講義や通常の学習では、1 次元的逐次学習を行う。従って内容上の基礎—応用には直接該当しない主題を続けて学習する場合がある。トピックマップでの学習はこれを補う意味がある。一方、多くの学習者は逐次的学習習慣をもつので、初歩的段階では提示された学習順に従う。そこでトピックマップ表示とは別に、平均的な入門的教科書と同様な、主題の逐次的学習順を示す、*Preceding\_Following* (学習ナビゲーション) 関連を設定した。

物理主題の第 2 層は、各基本主題(Basic Subject)に対して、詳細な知識(Advanced Subject)、技術応用や自然現象理解のための応用知識(Applied Subject)、関連実験情報などの主題(Physics Experiment)を関連させる層である。それぞれ、基本主題と高次の主題とを *Advanced\_is\_based\_on*, *Applied\_is\_based\_on*, *Experiment\_is\_based\_on* という関連で結合する。この層の主題は、内容の系統樹の骨格の各部に葉のように結合するものとしている。以上第 1, 2 層が物理主題(Physics Subjects)を構成し、かつ、この層が主題中心指向学習システムの核の部分である。

第 3 層(Learning Resource)は、物理学の各主題に対する各種教材型をトピックとした層である。本研究で開発した教材型は、解説テキスト型、記述ドリル型、選択肢ドリル型、計算ドリル型、自由形式ドリル型の 5 型である。これらを各学習主題と関連づけた。関連型は、上の教材型に対応して、*is\_subject\_of\_Resource-Text* などの名称で区別した。

教材を直接に物理主題と結びつけるのではなく、教材に型を設けてトピックとして分類したのは、教材のタイプを今後追加、拡張していく場合に整理しやすくするためである。また、教材に派生的な型を設けるなど階層性を構築する場合にも分かりやすい。

第 4 層(Learning Record)は学習記録トピックである。学習記録では、学習回数、日時、成績その他、教材そのものとは独立したデータ型が取り扱われる。従って、教材層とは区別して学習記録層を設ける。本システムでは、学習記録トピック層に結合する出現は学習記録のデータベースへのクエリに相当する。

(2) e-Learning に実装したインタフェース  
本研究で開発した e-Learning システムは”

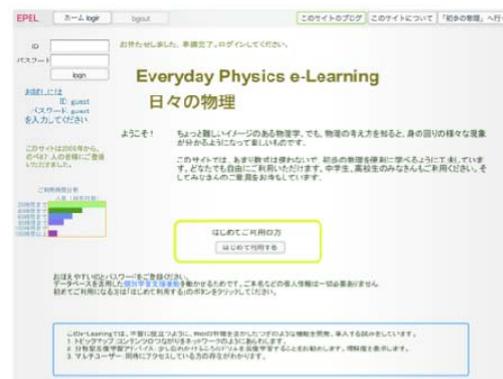


図 3 EPFL の初期画面

Everyday Physics e-Learning (略称 EPFL)”として、<http://nkiso.u-tokai.ac.jp/EPFL/PhysElearning.html> に公開した。(なお、2009 年 4 月より報告者が東海大学から東京学芸大学に異動するため、これ以降は EPFL を [topicmaps.utgakeui.ac.jp](http://topicmaps.utgakeui.ac.jp) ドメインに移行する。) EPFL 初期画面を図 3 に示す。個別学習支援機能を用いるためユーザーアカウントの登録が必要であるが、授業受講以外の一般利用者は一切の個人情報入力なしに利用できるようにした。初期画面左側には、利用者の利用時間分布を表示した。

図 4 はログイン後の画面であり、学習に入るためのトピックマップポータルと、学習記録閲覧ページ、授業でのテスト成績を含めた学習成果確認ページへの分岐で構成した。学習記録閲覧への分岐 (中央矩形領域下部) には、利用者の当該セメスターでの学習状況を、横軸に日、縦軸に時刻をとりプロット表示し



図 4 ログイン後の画面。各機能への分岐ペー

た。これにより、個人の時間的学習パターンが認識される。また、右側には EPEL 管理者との連絡を掲示板形式で表示している。

図 5 が学習ポータルとなる基礎主題トピックマップ画面である。各ボタンのラベルが物理主題の名称を表し、ボタンをクリックすると、図 6 の該当主題に関する画面に遷移する。

ボタンへのマウスオーバーにより、該当主題の基礎となる主題のボタンに向けた矢印が強調表示される。この矢印は is\_based\_on 関連に該当する。ボタンラベルは、ドリル学習履歴の評価関数の値に応じて、復習の優先度を表す色分けをして表示している。これにより、学習はどのような領域を学習したか、ログイン時にどの部分を復習しておいた方がよいかを認識できる。

なお、初学者用に、図 5 の代わりに各分野について逐次学習順を示した学習ポータルページも実装した。

図 6 は図 5 のボタンをクリックすると現れるサブマップの例である。中心は基礎主題に関するテキストへのボタンであり、この画面の中心主題を意味する。その周囲は関連する各タイプのドリルへのボタンである。そして画面上部には、詳細な情報、応用情報、実験情報などへのボタンが配置される。右下のテキストエリアには、当該の基礎主題に関する質問とフィードバックがある場合にその文章を表示した。各ドリルへの質問・回答はドリル画面ごとに表示した。ボタンの色は図 5 と同様に、各ドリルについての学習履歴評価を意味している。

このサブマップは図 2 の層状構造の第 2 層以下の層を重畳して示したものである。マップ上の連結線が各層での関連を示す。このサブマップ上のボタンをクリックすると実際のコンテンツがダウンロードされる。本報告ではコンテンツ画面の図示は省略する。

### (3) 多次元トピックマップ構造

公開 e-Learning に実装したトピックマップは物理学の基礎概念と、これに直接つなが



図 5 トピックマップ型学習ポータル



図 6 選択された基礎主題に結合されたコンテンツへのトピックマップポータル。

る気象現象などの自然現象や応用事例などである。しかしトピックマップとしては、物理学分野に限定せず、科学技術、理科全体に視野をひろげ、各分野の学習のための知識モデルを構築し、さらに分野を超えた知識の結合、整理をしていくことが可能である。

図 7 にこのために考案した方法を示す。ある分野のトピックは、分野内で定義される関連で結合する。異分野のトピックが結合可能である場合、領域横断的関連を定義して結びつける。トピックマップ可視化インタフェースには、わかりやすさのために主に各分野のトピックマップを用いる。そして、ある分野から別分野のトピックマップへと、領域横断的関連を通じて移動していくことができる。

### (4) トピックマップポータルでの学習軌跡

初等物理全般のトピックマップから自由な手順で学習できる条件のもとで、学習者は実際にどのような手順で学習するか。ここでは、解説テキストの学習順がどの程度直接の基礎-応用結合に従っているかを解析する。

トピックマップ上での  $i$  番目の学習を  $x(i)$  とする。 $i$  はステップ数であり、全学習数を  $N$  として  $i = 1, 2, \dots, N$  である。ここで、隣接する学習トピック間の変位  $x(i+1) - x(i)$  を次のように定義する。学習の変位  $x(i+1) - x(i)$  が、直接に is\_based\_on 関連で結合された基礎ト

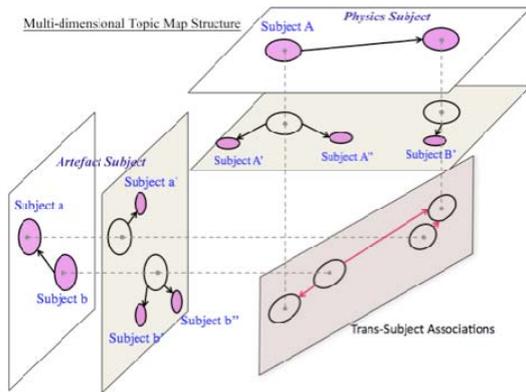


図 7 多分野の知識を関連させるトピックマップの多次元化

ピックから応用トピックへの変位であった場合、 $x(i+1) - x(i) = +1$  とする。逆に、応用トピックから基礎トピックに戻る変位を  $x(i+1) - x(i) = -1$  とする。同じトピックを再度学習した場合、および直接結合されていないトピックに飛んだ場合は、いずれも  $x(i+1) - x(i) = 0$  とする。

図 8 はトピックマップポータルのプロトタイプを従来の予復習用逐次学習ポータルに並行導入した 2006 年春学期から、トピックマップポータルのみで e-Learning を自由な（学習範囲の制限のない）自主学习に供し始めた 2007 年春学期の期間での、学習ステップ  $x(i)$  を全ての授業受講者について連結して、ステップ数  $i$  に対してプロットしたものである。全体的な傾向として、トピックマップポータルの利用が増加していること、基礎から

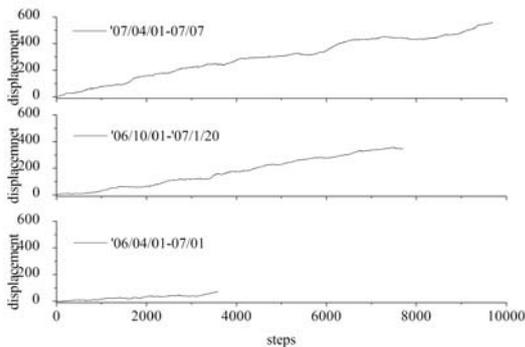


図 8 各 Semester での全学習者の学習軌跡

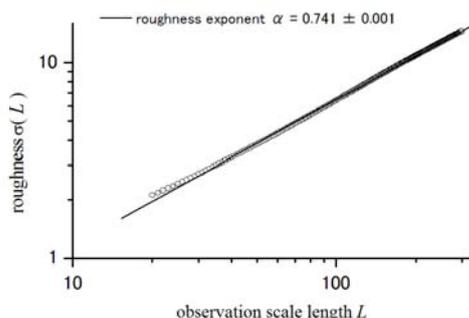


図 9 ステップ間隔  $L$  を変えたときの学習ステップの揺らぎ  $\sigma(L)$  の両対数プロット。

応用へと積み上げる学習が優勢であることが分かった。

この学習の運動の特徴を、相関性に注目して次のように解析する。学習変位  $x(i) - x(i+L)$  の値の平均二乗偏差  $\sigma(L)$  を  $L$  を変数として求める。 $x(i)$  が自己相似な揺らぎを示す場合には  $\sigma(L) \sim L^\alpha$  の関係が成り立つ。本研究での学習変位も、図 9 の両対数グラフに見られるようにこの関係が満たされていることが分かった。

さらに、 $\alpha > 0.5$  は揺らぎが正の相関を持つとき、 $\alpha = 0.5$  は相関の無いブラウン運動のとき、そして  $\alpha < 0.5$  は揺らぎが負の相関を持つことが知られている。

図 10 に各 Semester の全学習者の学習軌跡の荒さ指数を示す。トピックマップポータルを逐次学習ポータルに併用した 2006 年度春学期では、マップ上での学習軌跡は荒さ指数が低く、比較的ランダムに近いことが示唆された。逐次学習ポータルを廃止した 2006 年秋 Semester 以降は、学習軌跡の荒さ指数が大きくなり、軌跡が正の相関を持つことが示された。即ち、基礎から応用への学習を中心に、内容の結合にそう学習が優勢に現れた。

#### (5) トピックマップによる学習の拡張とナビゲーション

2006 年秋以降、トピックマップポータルにより e-Learning 上の自主学习は分野を限定せず、興味や必要に応じて自由に学習するものとした。トピックマップポータルでは、知識の全体関係を把握して学習内容を選択できる。授業受講者の学習の分析から、講義分野を超えて、物理学全般にわたる学習を展開する学習者の増加が見られた（発表論文 1）。

初学者向けに作成したナビゲーションの今後の課題としては、各学習者の学習履歴、および学習者個別に設定する目標をもとに局所的に最適化したナビゲーションを自動判断する方法の検討が必要である。最適化のためには、内容自身の論理的連関、学習者の理解度に基づく判断などの他、利用者の学習パスの統計から集合知としての学習順の提示の方法が当面の候補である。

#### (6) まとめ

トピックマップ技術をもとに、学習内容オンтоロジー駆動型 e-Learning システムの試作および公開運用を実施した。これにより、トピックマップ技術を用いることで、学習内容のつながりを把握しながら学習を拡げることが容易な学習環境の構築の可能性が示唆された。多次元トピックマップ構造の導入により、諸分野の知識を結合し、知識の多次元性に基づく学習環境の構築が可能であると考えられる。諸分野の知識の結合により、理解と納得のある学習が促進されるものと

期待される。

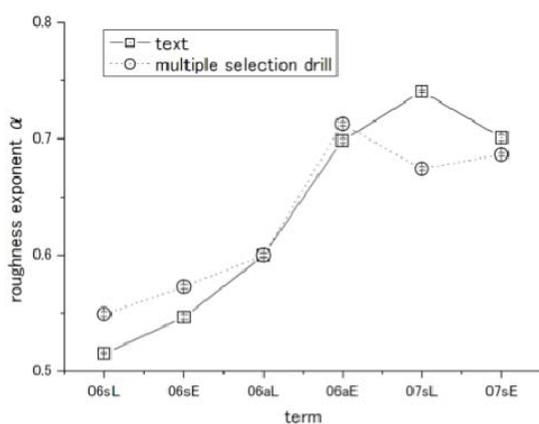


図 10 各 Semester での全学習者学習軌跡の荒さ指数

横軸の数値は年度、s は春 Semester、a は秋 Semester、L は講義期間、E は講義終了後の定期試験の前後の期間を示す。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- 1) 松浦 執, 学習を広げるトピックマップ型 e-Learning による物理学入門, IT活用教育方法研究, 査読有, 11 (2008) pp.26-30.
- 2) Shu Matsuura, Motomu Naito, Creating a Topic Maps Based e-Learning System on Introductory Physics, Subject-centric computing. Fourth International Conference on Topic Maps Research and Application. Leipziger Beitrage zur Informatik, 査読有, 12 (2008) pp. 247-260.
- 3) Shu Matsuura, Development of Contents and a System for Physics e-Learning, Proceedings of the International Conference on Physics Education 2006, 査読有, (2008) pp. 278-279.
- 4) Shu Matsuura, Learning Trajectory on a Topic Map of Introductory Physics e-Learning Asian Topic Maps Summit 2007 Proceedings, 査読無, (2007) pp. 161-164.

[学会発表] (計 12 件)

- 1) 内藤求, 松浦執, OKS (Ontopia Knowledge Suite) 及びトピックマップ適用事例, セマンティック Web コンファレンス 2009, (2009/3/16) 慶應義塾大学三田キャンパス.
- 2) 松浦執, 多次元的なトピックマップによる知識表現, 形の科学会かたちシユレ 2009, (2009/3/8) 名古屋市立大学医学研究科.
- 3) 内藤求, 松浦執, OKS (Ontopia Knowledge Suite) 及びトピックマップ適用事例, じんもんこん 2009 人文科学とコンピュータシユ

ポジウム, (2008/12/20) 筑波大学つくばキャンパス.

4) Shu Matsuura, Motomu Naito, Creating a Topic Maps Based e-Learning System on Introductory Physics, Topic Maps Research and Applications 2008, (2008/10/17) Campus Villa Ida, Leipzig, Germany.

5) 松浦執, 初等物理学 e-Learning のためのトピックマップ開発, 日本物理学会 2008 年秋季大会, (2008/9/22) 岩手大学上田キャンパス.

6) 松浦執, トピックマップを軸に学習を広げる物理学入門 e-Learning, 平成 20 年度全国大学 IT 活用教育方法研究 2 次選考会, (2008/9/6) アルカディア市ヶ谷 (東京, 私学会館) .

7) 松浦執, トピックマップを軸に学習を広げる物理学入門 e-Learning, 平成 20 年度全国大学 IT 活用教育方法研究発表会, (2008/7/5) アルカディア市ヶ谷 (東京, 私学会館) .

8) 松浦執, 内藤求, 物理入門教材のトピックマップの制作, 第 65 回形の科学シンポジウム, (2008/6/20) 仙台電波工業高専.

9) 松浦執, e-Learning におけるトピックマップ上の学習軌跡の特徴 2, 日本物理学会第 63 回年次大会, (2008/3/24) 近畿大学本部キャンパス.

10) Shu Matsuura, Learning Trajectory on a Topic Map of Introductory Physics e-Learning, Asian Topic Maps Summit 2007, (2007/12/12) 京都市サーチパーク.

11) 松浦執, e-Learning におけるトピックマップ上の学習軌跡の特徴, 日本物理学会第 62 回年次大会, (2007/9/22) 北海道大学.

12) 松浦執, e-Learning での知的インタラクションの形, 日本リメディアル教育学会第 3 回全国大会, (2007/9/1) 西南学院大学.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 執 (東海大学・開発工学部・准教授)  
(70238955)