研究成果報告書 科学研究費助成事業

今和 元年 6 月 1 8 日現在

機関番号: 33302

研究種目: 基盤研究(C)(一般)

研究期間: 2016~2018

課題番号: 16K01137

研究課題名(和文)ICTを活用した数学、理科、工学を統合した学習環境の開発とその効果の検証

研究課題名(英文)Development of learning environment integrating mathematics, science and engineering using ICT and verification of its effect

研究代表者

中村 晃 (Nakamura], Akira)

金沢工業大学・基礎教育部・教授

研究者番号:60387355

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文):従来は大学1、2年次程度までの数学のウェブ教材を作成していたが,今回,コンテンツの分野を理科、工学の分野まで広げ,それぞれのコンテンツをハイパーリで結び付け,学習しているコンテンツ近傍の知識の関連性を,ネットワークグラフを用いて可視化するシステムを備えた工学分野の統合学習環境のプロトタイプを構築した.このことにより学習の効率や効果を高めることができたと考えている.学習評価ツールとして,学習者がどのようなページを巡回しながら学習しているかを調査するアクセスログ解析ツールを開発した.分析したところ,学習者は基礎知識から応用の知識の方向へ段階的に巡回し,理解を深めている傾向があることが分かった。 ることが分かった.

研究成果の学術的意義や社会的意義 数学、理科、工学の知識を統合した知識構造をネットワークグラフで可視化し、ネットワークグラフからクリックするだけで学習コンテンツにアクセスできるシステムはこれまで存在していない.開発した学習コンテンツをインターネット上に無償で公開している.誰もが,我々が開発した学習コンテンツにアクセスでき,効率よく効果的に工学分野を学習することができることは日本の工学教育に大いに貢献することができ社会的意義は著しいと思っている.実際に,日々多くの方が我々のウェブ学習教材を利用しており,多い時には1日で2万名近くにな ることがある.

研究成果の概要(英文): In the past, we had created a web teaching material for mathematics up to the first and second grade of university, but this time we expanded the field of content to the field of science and engineering, and connected the contents each other with hyperlinks. We constructed a prototype of an integrated learning environment in the engineering field with a system that visualizes the relevance of knowledge using the network graph. We believe that this has made it possible to increase the efficiency and effectiveness of learning. As a learning evaluation tool, we developed an access log analysis tool that investigates what page a learner is learning while visiting. As a result of analysis, it has been found that the learner tends to gradually circulate from the basic knowledge to the direction of applied knowledge and deepen their understanding.

研究分野: eラーニング

キーワード: STEM 数学 物理 工学 知識構造 ネットワークグラフ eラーニング ウェブ教材

様 式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19(共通)

1.研究開始当初の背景

工学を学ぶための書籍では基礎となる数学や理科の知識は既知のこととして記述されていないことが多く,体系的に数学や理科を理解できていない学習者にとっては工学の修得は困難である.そこで,工学,理科,数学を統合したウェブ教材を作成し教材間をハイパーリンクで関係付け,数学,理科も含めた工学に関する知識を構造化し,その知識体系(ネットワーク構造)をグラフで可視化することによって,工学の修得を支援する必要がある.

2.研究の目的

ICT を利用した効率的かつ効果的な工学の学習環境および学習方法を開発する.そのために,工学,理科,数学の知識をハイパーリンクで統合したウェブ教材を作成し,学習している工学知識に関連する理科や数学の知識にすばやくアクセスできる学習環境をインターネット上に構築する.さらに,アクセスログデータや質的リサーチから開発した学習環境を活用した効果的な学習方法を検討する.

3.研究の方法

- (1) ウェブサーバー, データーベスサーバーを立ち上げウェブ教材の開発環境を整備する.
- (2)ウェブ教材を作成する.数学は重積分,微分方程式の分野を拡充する.物理は力学,熱力学,電磁気学の順に教材を作成する.工学の分野はプロトタイプの作成として材料力学の梁のたわみに関するモーメントの分野を作成する.
- (3)分かりやすい知識構造の可視化の法を検討し、表示するためのプログラムを開発することにした、検討した結果,ある知識を起点とした知識構造の一部をグラフ化することにした、ネットワークグラフの表示には javascript ライブラリーの vis.js(https://visjs.org/)を利用した、ネットワークグラフの表示に必要なデータを生成するために PHP と MySQL を組み合わせたプログラム及び Perl を用いた CGI プログラムで動的にそのデータを vis.js に引き渡しネットワークグラフを生成するプログラムの開発を行った.
- (4)アクセスログデータ分析,質的リサーチにより,開発した工学の統合学習環境が学習者に及ぼす効果を検証する

4. 研究成果

(1) 工学,理科,数学を統合した知識構造の可視化の開発.数学,理科,工学は体系的に構築された学問であるため1ページに1つの知識を割り当てて,その知識を説明するために他の知識をハイパーリンクで参照するようにウェブサイトを構築すると,ウェブサイトのハイパーリンク構造が数学,理科,工学を統合した知識構造となる.今後,この構造を「STEM知識構造」と呼ぶことにする.STEMとはScience(科学),Technology(技術),Engineering(工学),Mathematics(数学)を総称する語である.ウェブページに埋め込まれているハイパーリンクはページ内に分散して配置されている場合が多い.また,通常学習者はハイパーリンクで参照されているページまでしか情報がない.そのため,ウェブでの学習ではハイパーリンク構造から得られる知識構造を容易に把握することができないこの問題を解決するために,我々は知識構造の可視化に取り組み,可視化の方法として通常よく使われているネットワークグラフを用いることにした.図1はSTEM知識構造の一部を表示したものである.数学の外積を解説しているページの上部にあるネットワークグラフ表示用のハイパーリックをクリックすることで生成されたものである.以下のURLから直接アクセスすることができる.

http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/cgi-bin/graph/graph.cgi?node=/math/category/vector/gaiseki.html

ネットワークグラフの楕円はノードと呼ばれウェブページに,矢印はエッジと呼ばれハイパーリンクに対応する.

矢印の方向はハイパ ーリンクの方向と一 致している.ノード のラベルはウェブペ ージのタイトルで, 学習コンテンツの内 容,言い換えると知 識構造を構成する要 素知識を表している. ノードをマウスでク リックすると対応す るウェブページにア クセスすることがで きる.赤色のノード が外積に関する説明 をしたウェブページ

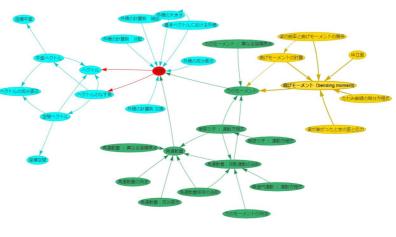


図1 STEM 知識構造を示すネットワークグラフ

に対応し、ネットワークグラフの起点になっている。図1では起点のウェブページからリンクをたどって3ページ先までのウェブページが表示されている。数学の内容は水色で物理の内容は緑色で工学の内容は黄土色で表示されている。知識構造を可視化した図1を見ると外積という数学の知識が物理や工学にも関連した知識であることが容易に理解できる。このような知識構造を示すネットワークグラフを、知識を解説しているウェブページ全てからクリックするだけで動的に生成し表示できるようになっている。

(2)数学のウェブ教材の中には多くの演習問題を作成している .演習問題を解くのに必要な知識を(1)で作成した知識構造の可視化のシステムを応用して図 2 のような演習問題を解くために必要な基礎知識を可視化するシステムを開発した .以下に示す URL から直接アクセスすることができる .

http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/cgi-bin/graph/graph-q.cgi?node=/math/q-and-a/se kibun/question2-5.html

赤い楕円をマウスでクリックすると問題のページを表示することができる.赤い矢印は問題のページに埋め込まれているハイパーリンクを示す.このグラフ図を見ると問題を解くのにどのような知識が必要か把握するのが容易であり,かつ,リンクの集中具合からどの知識が重要であるかもすばやく理解できる.その結果として学習の効率を上げることが可能となる.

(3)物理現象の理解を容易にするために JsxGraph(http://jsxgraph.org/wp/index.html)を用いて物理シミュレーションを多く作成し、物理ウェブ教材に組み込んだ、数学、理科、工学の統

合した学習環境と連携させることにより、シミュレーション単独より学習効果を高めることができる。開発したしシミュレーションを物理の授業で活用してその学習効果を確認している。

(4)開発した物理のウェブサイト のアクセスログ解析を行い,訪問 者がどのようにウェブサイトを 巡回し,物理の理解を深めるかを 調べた.今回は、「等加速度直線 運動」のタイトルのウェブページ を少なくとも 1 回は訪れた訪問 者のアクセスログだけを分析し た.訪問者の主な巡回経路を調べ た結果,訪問者は主に基礎知識か ら応用の知識の方向へ段階的に 巡回し,理解を深めていた.さら に,機械学習の教師なし学習とし て知られるクラスタリングを用 いて,開発したウェブサイトを分 析した.その結果、「グラフを用 いた等加速度直線運動の式の導 出」と「積分を用いた等加速度直 線運動の式の導出」のウェブペー ジが,アクセス数が多く,ページ の閲覧時間が長いグループに分 類された.

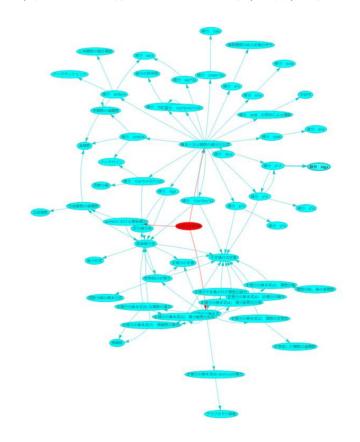


図 2 $\int_{-\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{2}} \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) dx$ の計算をするために必要な基礎知識の可視化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Akira Nakamura, Tomoshige Kudo, Keita Nishioka, Development of Visualization System of Knowledge Necessary for Solving Mathematical Questions, International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 査読有り、Vol.7, No.4S2, 2018, pp.305 - 309

https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v7i4s2/ES20115017519.pdf

[学会発表](計11件)

Tomoshige Kudo(代表), Keita Nishioka, Akira Nakamura, Evaluation for e-Learning

Website of Physics by Browsing Path Analysis and Cluster Analysis of Access Log, International Conference on Advances Information Systems, Engineering and Applied Sciences 2019. 2019.

- Akira Nakamura(代表), <u>Tomoshige Kudo</u>, <u>Keita Nishioka</u>, Development of Visualization System of Knowledge Necessary for Solving Mathematical Questions, International Conference on Research in TVET Studies 2018, 2018.
- <u>Keita Nishioka(代表)</u>, <u>Tomoshige Kudo</u>, <u>Akira Nakamura</u>, Learning Support Website for Physics by Utilizing Simulations, The Singapore Education Technology Conference 2018, 2018.
- Tomoshige Kudo(代表), Keita Nishioka, Akira Nakamura, "KIT Physics Navigation" Showing Relationship Between High School and University, International Conference on Research in TVET Studies 2018, 2018.
- <u>中村晃(代表)</u>,<u>工藤知草</u>,西<u>岡圭太</u>,「知識構造の可視化による STEM ウェブ学習の効率化」, 日本工学教育協会 第 66 回年次大会, 2018 年.
- Akira Nakamura(代表), <u>Tomoshige Kudo</u>, <u>Keita Nishioka</u>, Development of the Visualizing System of Knowledge Structure Based on STEM e-Learning Website, The 9th International Conference on Language, Innovation, Culture & Education 2018, 2018.
- Keita Nishioka(代表), <u>Tomoshige Kudo</u>, <u>Akira Nakamura</u>, "Learning Support Website of Physics with Emphasis on Connection with Mathematics," The 9th International Conference on Education, Training and Informatics (ICETI 2018), 2018
- __<u>西岡圭太(代表)</u>,<u>工藤知草,中村晃</u>,「シミュレーションを活用した物理学習支援ウェブサ イト」,日本物理学会 第 72 会年次大会,2017 年.
- ___<u>西岡圭太(代表)</u>,<u>工藤知草</u>,<u>中村晃</u>,「高校・大学初年次向け物理 e-ラーニング教材の開発 KIT 物理ナビゲーション 」,日本工学教育協会 第 64 回年次大会,2016 年 .
- ____工藤知草(代表), 西岡圭太, 中村晃, 動くウェブサイト「KIT 物理ナビゲーション」の開発 (力学編), 日本物理学会 2016 秋季大会, 2016 年.
- Akira Nakamura(代表), <u>Tomoshige Kudo, Keita Nishioka</u>, "The Concept of Self-Adaptive Integrated Web Based Learning Environment for STEM," The Fifth International Conference on E-Learning and E-Technologies in Education (ICEEE2016), 2016.

〔その他〕

ホームページ等

KIT 数学ナビゲーション:http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/

KIT 物理ナビゲーション: http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/physics/index.html

KIT 工学ナビゲーション: http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/engineering/index.html

STEM 知識構造の可視化の一例:

http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/cgi-bin/graph/graph.cgi?node=/math/category/vec tor/gaiseki.html

演習問題を解くための基礎知識の可視化の一例:

http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/cgi-bin/graph/graph-q.cgi?node=/math/q-and-a/se kibun/guestion2-5.html

物理シミュレーションのリンク集

http://w3e.kanazawa-it.ac.jp/math/physics/simulation/henkan-tex.cgi?target=/math/
physics/simulation/index.html

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:西岡圭太

ローマ字氏名:Keita Nishioka

所属研究機関名:金沢工業大学

部局名:基礎教育部

職名:准教授

研究者番号(8桁): 10748734

研究分担者氏名:工藤知草

ローマ字氏名: Tomoshige Kudo 所属研究機関名: 金沢工業大学

部局名:基礎教育部

職名:講師

研究者番号(8桁):90759515

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。