

# 原著論文

## Web教材の再構成を可能とした 探求学習支援環境<sup>†</sup>

國近 秀信<sup>\*1</sup>・松田 瑞生<sup>\*1\*4</sup>・平嶋 宗<sup>\*2</sup>・竹内 章<sup>\*3</sup>

探求的学習においては、学習の結果として生じた興味や疑問を追求することでさらに新たな情報を獲得したり、既存の情報を再構成したりすることが重要である。本論文では、Webを利用したe-Learningにおける教材外への探求的学習の支援を目的として、あらかじめ用意された教材への情報追加および学習者自身の理解を反映した教材の再構成による教材の成長活動を可能とする学習支援環境の実現について述べる。また、本学習支援環境の実用性および学習への有用性の確認のために実施した評価実験についても報告する。

キーワード：探求的学習，Web教材，ブックマーク，e-Learning

### 1. はじめに

インターネットの普及に伴い、高等教育・企業内教育などにおいてコンピュータやネットワークを利用した教育支援が盛んになっている。このような教育はe-Learningと呼ばれ、そこで用いられている電子化された教材は従来の紙媒体などの教材に比べて柔軟な構造を持っており、その特性を活かして個々の学習者の学習進行状況や能力の差を考慮した教材提供をおこなうことを目的とした研究が盛んにおこなわれている[7, 8]。

その中でもAdaptive Hypermediaの枠組みをもつWBL(Web-Based Learning)システムは、ページを学習者に応じて加工することで探求学習における知識定着を支援することを目的としている[4, 5, 6]。たとえばITMS(Individualized Teaching Material System)[13]は、任意のWebページの関連知識をキーワードマッチングにより特定し、対応する知識リソースへのリンクを動的に生成する。また、ELM-ART[3]は学

習者の知識に応じてページの難易度を示し、読解困難なページに学習者が訪れないようにする。WebDL[2]は学習の進捗状況に応じてアドバイスを生成し、読解が容易なページに学習者を誘導する。DynaWeb[1]は興味に応じてリンクを追加することで学習者が関連知識の解説を簡単に参照することができる。しかしこれらのシステムはページに独自のインデックスを追加する必要があり、特定サイト内または教師が用意した範囲内でしか支援をおこなうことができない。

ある教材を提供されその教材の学習を進める過程においては、様々な興味や疑問が学習者に生じるのが自然である。それらを追求する形で情報の新たな獲得や再構成をおこなうことが、主体的、創造的な学習に繋がると考えられる。従来の固定的な教材においては、このような学習行動は、一旦教材を離れた上でおこなう必要があり、その活動中は何の支援も得られず、またその活動の結果は元の教材に戻った際の学習の支援に反映されることもなかった。そこで我々は、Webページを利用し、(1)教材外(あらかじめ教材として提供したページ以外の一般のページ)での探究活動の支援と(2)教材外での探求活動の教材内での学習活動への反映、を可能にする柔軟かつ知的な学習支援環境の実現を目標とし研究をおこなっている。現在は、(1)教材外での探求活動の支援の実現を目指している[11, 12]。

以下、第2章では学習者による教材を成長させる活動と新たな気づきの支援について述べ、第3章では実現したシステムの構成について述べる。次に第4章で実現したシステムの有用性を確かめるためにおこなった実験について述べ、第5章でまとめと今後の課題を

<sup>†</sup> An Inquiry Based Learning Environment Supporting Reconstruction of Web Learning Materials

Hideobu KUNICHIKA, Mizuki MATSUDA, Tsukasa HIRASHIMA and Akira TAKEUCHI

<sup>\*1</sup> 九州工業大学大学院情報工学研究科  
Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

<sup>\*2</sup> 広島大学大学院工学研究科  
Department of Information Engineering, Hiroshima University

<sup>\*3</sup> 九州工業大学情報工学部  
Department of Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology

<sup>\*4</sup> 九州日本電気ソフトウェア株式会社  
NEC Software Kyushu, Ltd, Fukuoka

述べる。

## 2. 探求学習における教材の再構成と気づきの支援

本研究ではWebページを対象として支援をおこなう。教材外での探求活動を支援するには、与えられた教材に対して、学習者が情報を付加し、自分自身の理解を反映して教材の再構成をおこなえるような整理機構を提供することが有効であると考えられる。本章では、支援方針について述べる。

なお、本研究では、ハイパーテキストにおける一つのページを学習単位と考え、これを学習ノードと呼び、リンクによって構造化された学習ノード群のことを学習リソースと呼ぶ。その中で、学習開始時に与えられる学習リソースを基点学習リソースと呼ぶ。また、基点学習リソースにノードを加えるなど追加・編集をおこなうことを「学習リソースを成長させる」と呼ぶ。

### 2.1 探求学習とその支援

本研究では、学習者が基点学習リソースにとらわれず、主体的・創造的に様々な情報を利用しておこなう学習を探求学習と呼んでいる。探求学習において知識を習得・定着させるためには、今おこなっている学習の全体に対する位置づけや意味を認識すること、および学習過程を振り返ることが重要だと考える。

Web上にあるページを使った探求学習を支援するには、その学習内容を覚えたり後に復習したりするための学習過程の整理ツールを提供することが有効であると考えられる。Web上のページを整理するツールの候補としては現在ほとんどのブラウザに搭載されているブックマーク機能がある。このブックマーク機能は階層構造でWebページを整理する方式であるためページの分類には適しているが、複数ページ間の関係を表現する場合など、より複雑な構造を表現することは難しいと考えられる。基点学習リソース外での学習過程の整理を支援するためには、学習者が基点学習リソースに対してそれ以外の情報を付加した上で自分自身の理解を反映した学習リソースの再構成をおこなえるようなネットワーク構造での整理機構を提供することが有効であると考えられる。

### 2.2 他の学習者が成長させた学習リソースの利用

一人で探求学習をおこなう際には、行き詰まりや学習内容の偏り、誤りの見過ごしなどの問題が起こる場合が考えられる。本研究では、多くの学習者が同じ基点学習リソースに対して成長作業をおこなうことを想

定しており、ある学習者が学習をしている時にすでに多くの人が同じ基点学習リソースからの成長作業を終えている場合もある。そこで、他の学習者が成長させた学習リソースをデータベース化しておき、それを利用して(1)収集・構造化した情報の評価(学習リソースの推薦)、(2)収集すべき情報の示唆(ノードの推薦)、および(3)収集した情報の構造化の示唆(リンクの推薦)という支援をおこなう。以下、各支援法について述べる。

#### (1) 学習リソースの推薦

自分の学習リソースとある程度近い学習リソースを見せられることによって、自分が見落としていたことや新しい発見ができると考える。そのため、同じ基点学習リソースから成長させた他の学習者の学習リソースを提示する。

#### (2) ノードの推薦

探求学習をする際には、あるノードに関係が深い重要なノードに気付かない場合や、そのようなノードを的確に検索できない場合が考えられる。そのような場合に対処するため、他の学習者がリンクしているノードを推薦する。

#### (3) リンクの推薦

学習したノードを学習リソース中に構造化する際に、適切に構造化できない場合が考えられる。そのため、その学習者の学習リソースとある程度近い学習リソースを参照し、適切なリンクを推薦する。

## 3. システム構成

### 3.1 システムの全体像

第2章で述べた支援環境を実現したシステムをLME(Learning Materials Environment)と呼ぶ。このLMEを実現するためには、以下の三つの機能が必要である。

- ・閲覧機能：学習リソースを閲覧する機能
- ・整理機能：基点学習リソースにそれ以外のノードを加え、関連づけしていくことによって学習リソースを整理する機能
- ・推薦機能：目的に応じた学習リソースやノード、リンクを推薦する機能

閲覧機能は3.2節、整理機能は3.3節で述べる。また、推薦機能については3.4節で説明する。

システム利用の際の大まかな流れとしては、まずあらかじめ用意された基点学習リソースを閲覧機能を用いて学習する。そしてその途中で発生した興味や疑問をWebブラウジングによって探求し、その解決に用いたページを整理機能によって追加する。また興味や疑

問の解決には、推薦機能によって他の学習者が保存している学習リソースやノード、リンクを探してくる方法も利用できる。さらに学習が終了した場合や、ある程度の学習を終えた場合には、推薦機能を用いて自分が成長させた学習リソースを評価する。

### 3.2 閲覧機能

閲覧機能は図1に示すように、リンクベース部分とブラウザ部分から成る。リンクベース部分には教材作成者が作成した基点学習リソースが表示され、学習者はこれをもとに学習を進めていく。リンクベース部分に表示されている基点学習リソースはノードとリンクからなり、ノードにはそれぞれ対応するWebページのタイトルとURLが保持されており、これをたどっていくことによりブラウザ部分が次々に更新され、学習を進めていく。ブラウザ部分は通常のWebブラウザと同等の機能を備えているため、興味や疑問が生じた際など、通常のブラウジングも可能である。

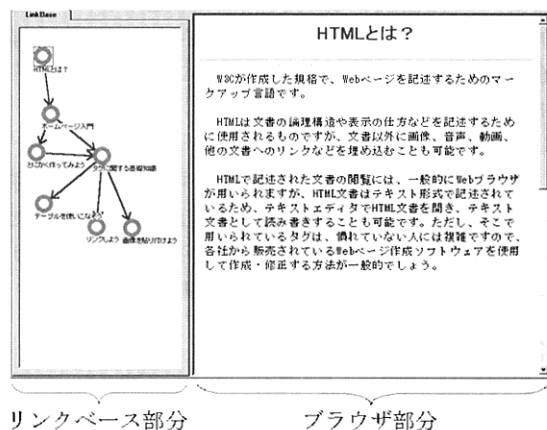


図1 閲覧機能

### 3.3 整理機能

閲覧機能に加え、ユーザが現在のページを基点学習リソースに加えリンクづけし、自分独自の学習リソースを作成することができるよう、HyperMarkerを実現した[9, 10]. HyperMarkerは、リンクベースを簡便に作成・編集する機能を持つ。具体的には、ボタンを押下することで表示中のページのノードが作成される。ノードは左ドラッグすることで移動可能であり、2つのノードを右ドラッグで結ぶことでそれらのノード間にリンクが張られる。このようにして図1の左部分のようなリンクベースが作成される。

### 3.4 推薦機能

当該学習者からの要求があった際に、他の学習者が成長させた学習リソースを提示する機能である。この際、学習者が必要としている学習リソースをうまく探しだして提供しなければならない。

この推薦機能には学習リソースの推薦、ノードの推薦およびリンクの推薦の三種類の機能が考えられる。以下、各機能のアルゴリズムについて述べる。

#### 3.4.1 学習リソースの推薦

学習者は作成した学習リソースと近い学習リソースを見せられることによってそれを自分の学習リソースと比較し、新しい気づきを得ることができると考える。よってこの機能では近い学習リソースを探してることが重要であるといえる。

3.3節で述べたとおり学習リソースのデータにはページ群とリンク群がある。本研究ではページ群が学習の範囲を表し、リンク群がそのページ群の構造化を表すものであると考えている。まずページ群同士を比較し、同じような範囲を学習している学習リソースかどうかを調べる。そのあとにリンク群同士を比較して同じように構造化しているかどうかを調べる。

ある学習リソース(学習リソースA)を作った学習者に対して、参考となりうる別の学習リソース(学習リソースB)を同定する方法について述べる。

まず、以下の式によりノードの適合率を計算する。ノードの適合率は比較対象リソース内のノードが自分の作った学習リソースのノード群にどれだけ含まれているかを表す値である。

$$\frac{\text{学習リソースAと学習リソースBの一致したノードの数}}{\text{学習リソースAのノードの数}}$$

ノードの適合率が高いほど、自分とその学習者が似た考え方で学習リソースを成長させていることを意味する。すなわち、ノードの適合率が高いものを提供すれば学習リソースをさらに成長させることへの気づきが得られやすいと考えられる。

次に、自分が作成したノードが比較対象のノードにどれだけ含まれているかを表すノードの再現率を以下の式を用いて計算する。

$$\frac{\text{学習リソースAと学習リソースBの一致したノードの数}}{\text{学習リソースBのノードの数}}$$

例えばノードの適合率に加えて再現率も高い場合、学習リソースBは学習リソースAと同じようなノードで構成されていることになり、学習した範囲がほぼ同じであると言える。このような学習リソースBを学習リ

ソースAに対する(1)ノード同等学習リソースと呼ぶ。適合率が高いにもかかわらず、再現率が低ければ、学習リソースBは学習リソースAよりも広い範囲を学習対象として造られたものということになる。このような学習リソースBを学習リソースAに対する(2)ノード包含学習リソースと呼ぶ。

しかしながら、学習ノードについて見ただけでは学習範囲を比べているだけであり、その学習範囲をどのように構造化しているかはまだ判断されていない。そこで次に、リンク群同士を比較して、一致しているノード間についてのリンクについても適合率と再現率を計算する。リンクの適合率および再現率は以下の式で求められる。

$$\text{適合率} = \frac{\text{学習リソースAと学習リソースBの一致したリンクの数}}{\text{学習リソースAのリンクの数}}$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{学習リソースAと学習リソースBの一致したリンクの数}}{\text{学習リソースBのリンクの数}}$$

このようにノードとリンクの適合率、再現率を計算することによって導き出される様々な学習リソースをまとめると以下ようになる。<sup>1</sup>

- ・ノード同等リンク同等学習リソース

非常に類似した学習リソースで、この学習リソースを参考にすれば、ほんのわずかな学習範囲の違いや考え方の違いに気づく可能性がある。

- ・ノード同等リンク包含学習リソース

学習した範囲は同じだが、自分よりもよく構造化されている学習リソースである。この学習リソースは学習の進行状況はほぼ同じだが、その内容をよく理解している可能性があり、参考にすることによって新たな関係性に気づく可能性がある。

- ・ノード同等リンク相違学習リソース

学習した範囲は同じだが、自分とは異なる構造化がされている学習リソースである。この学習リソースは学習の進行状況はほぼ同じだが、理解の仕方が異なっている可能性があり、参考にすることによって違う考え方に気づく可能性がある。

- ・ノード包含リンク同等学習リソース

自分よりも広く学習しており、同じ学習範囲に関しては同じように構造化している学習リソースである。この学習リソースは同じ理解の仕方であ

に進んでおり、参考にすることによって現在の考え方のままで新たな学習項目に気づく可能性がある。

- ・ノード包含リンク包含学習リソース

自分よりも広く学習していて、同じ学習範囲に関してもよく構造化している学習リソースである。この学習リソースはより進んでいて、より深く理解しており、参考にすることによって新たな関係性や学習項目に気づく可能性がある。

- ・ノード包含リンク相違学習リソース

自分よりも広く学習しているが、同じ学習範囲に関しては自分とは違った構造化をしている学習リソースである。この学習リソースは違った理解で先に進んでおり、参考にすることによって自分とは異なる考え方を認識し、再考のきっかけになる可能性がある。

### 3.4.2 ノードの推薦

学習者が、あるノードAに関連するノードを知りたいと思った時に、そのノードまでの流れを参照して推薦ノードを同定する機能である。そのアルゴリズムを以下に述べる。まず学習者は自分の作成した学習リソースの中から、知りたいリンク先のノードと関係があるいくつかのノードとリンクを指定する。そして知りたいリンク先の元ノードであるノードAを指定する。推薦機能はこの指定されたノードとリンクをすべて含み、ノードAからのリンクがある学習リソースを、他の学習者が作成した当該学習者の学習リソースの中から探し出してくる。これによって、作成した学習リソースの流れに沿ったより有効な学習リソースが探し出され、ノードAからのリンク先ノードが推薦結果として学習者に提供される。

その際には、推薦の条件を満たす学習リソースがいくつも見つかる場合が考えられる。その場合には優先順位をつけ、順位の高いものから学習者に提供する。この優先順位をつけるには以下のような方法が考えられる。

1. 発見されたノードが自分の成長させた学習リソース内に存在しているかどうかを判定する方法。既存のノードを優先にする場合や、新規のノードを優先にする場合などが考えられる。
2. 同じノードを推薦した学習リソースの数で判定する方法。いくつかの学習リソースが同じノードを推薦結果として返すような場合、推薦した学習リソースの数が多いノードを優先する。
3. 自分が成長させた学習リソースと構造の似た学習リソースが推薦するノードを優先とする方

<sup>1</sup> ここでは学習リソース全体を使った比較について述べたが、比較元となる学習リソースについては、部分構造であることを許すことにより、より幅広い利用ができると考えている。

法、構造が似ている学習リソースから提供されるノードは、自分の考えに沿っている可能性が高いと考えている。

教授戦略や学習者の状態に応じて、これらの中から優先順位決定方法を選定することが可能である。

### 3.4.3 リンクの推薦

新しいノードAを、これまで成長させてきた学習リソースのどこにリンクすべきかについて推薦する機能である。アルゴリズムは次の通りである。まず学習者は作成した学習リソースの骨格となるノードとリンクを指定する。次に新しくリンクづけしたいノードを指定する。これによって推薦機能はその流れに沿った学習リソースでかつリンクづけしたいノードがリンクづけされた学習リソースを他の学習者が作成した学習リソースの中から探し出してきて、そのリンクを学習者に提供する。

この推薦機能においても、候補がいくつも見つかった場合には優先順位をつけて順位の高いものから学習者に提供する。この場合には同じリンクを推薦した学習リソースの数で判定する方法や、学習リソースの構造が似ているかどうかで判定する方法を使うことができる。

## 4. 評価実験

### 4.1 目的

本実験では、以下の6点について明らかにすることを目的とした。

#### ●閲覧・整理機能の実用性

閲覧・整理機能が使用に耐えうるか …… ①  
ネットワーク構造を作ることが負荷にならないか …… ②

#### ●ネットワーク構造で整理することの有用性

学習リソースを成長させながらの学習は学習効果があるか …… ③  
復習の際に有効か …… ④

#### ●推薦機能の実用性と妥当性

3.4.1節で定義したような様々な学習リソースを取り出すことができるか …… ⑤  
類似性のタイプ判断が人間の判断と一致するか …… ⑥

本評価実験では、①、②、⑤を明らかにするための実験(閲覧・整理機能の実用性評価)および③、④、⑥を明らかにするための実験(学習への有用性・妥当性評価)の2つをおこなった。

### 4.2 閲覧・整理機能の実用性評価

閲覧・整理機能の実用性を評価するために、多くの人にLMEを利用してもらってアンケート調査をおこなうとともに、作成された学習リソースのネットワーク構造を分析した。

#### 4.2.1 方法

情報工学系の学部3年生37名が被験者となった。まず20分程度LMEについて説明し、その後暗号化技術というテーマに沿って学習リソースを構成してもらいながら30分程度探求学習してもらった。全員Webの利用経験はあるが、暗号化技術に関しては専門的に学習していない学生である。基点学習リソースは、簡単化のため「暗号と暗号化」というページ1ページ(1000字ほどの情報量)とした。また、探求学習をおこなうためのページも簡単化のため24ページ(1ページ平均2000字ほどの情報量)を用意してブックマークのように表示し、できるだけこの中で探求学習をおこなってもらうようにした。学習後にアンケート調査をおこなった。その後、被験者が作成した学習リソース同士を比較し、3.4.1節で述べた学習リソースのタイプ判断手法を用いて実際の学習リソースを分類可能かどうかを確認した。

#### 4.2.2 結果・考察

まず、実験の目的②について述べる。登録ノード数は1人平均7.5、登録リンク数は平均8.4となり、30分という短い時間にもかかわらずほとんどの人が多くのノードやリンクを学習リソースに追加して学習をおこなったことがわかり、ネットワーク構造を作ることが特に負荷になってはいないと言える。

次にアンケート調査の結果を示す。まず「ブックマークを構造化しながら学習を進めることが有意義な学習につながると思うか」という質問では23名が思う・非常に思うと答えており、どちらとも言えないが11名であった。次に「自分で作成した学習リソースを後で復習のために利用することができると思うか」という質問では29名が思う・非常に思うと答えており、どちらとも言えないが6名であった。また、感想では「便利なので普段も使ってみたい」というような意見が多かった。このようなことから、実験の目的①に対する結論として、本システムの閲覧・整理機能が使用に耐えうるものであり、十分利用可能であることがわかった。

最後に、実験の目的⑤について述べる。全被験者の学習リソースを一対比較し、3.4.1節で述べた手法により学習リソースを分類した。適合率および再現率の

高低を判断するための閾値を10%刻みで変化させたときの学習リソースの各タイプの個数を表1に示す(総数1332)。後の推薦機能で使用することを考えると、学習の進行状況や履歴に応じたリソースを学習者に提供できることが望ましく、全てのタイプのリソースを準備できることが理想的である。したがって、ここではより多くのタイプのリソースが抽出できることが望ましい。結果としては、閾値40%から70%の間で全タイプのリソースが抽出された。例として、閾値を50%とし、ある被験者の学習リソースを基準に抽出した結果を表2に示す。表2では、6タイプのうち5タイプが抽出されている。これは5種類の学習者の状態に対して推薦が可能であることを示している。

表1 閾値を変化させた時の各タイプの数

閾値 [%]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ノード同等リンク同等	688	650	522	282	144	24	10	0	0	0
ノード同等リンク包含	0	6	29	50	29	19	9	1	0	0
ノード同等リンク相違	640	564	376	244	96	50	16	4	0	0
ノード包含リンク同等	0	12	23	78	66	25	7	1	0	0
ノード包含リンク包含	0	0	0	1	7	5	5	4	0	0
ノード包含リンク相違	2	22	73	133	105	107	51	39	3	3

表2 被験者Aに対する学習リソースの分類  
(閾値50%)

比較 先	ノード 適合率	ノード 再現率	リンク 適合率	リンク 再現率	学習リソース
B	高	高	高	低	ノード同等リンク包含
C	高	高	低	低	ノード同等リンク相違
D	高	低	高	低	ノード包含リンク包含
E	高	低	低	低	ノード包含リンク相違
F	高	高	高	低	ノード同等リンク包含
G	高	高	高	高	ノード同等リンク同等
H	高	高	低	低	ノード同等リンク相違
I	高	高	高	低	ノード同等リンク包含

### 4.3 学習への有用性・妥当性評価

Internet Explorerとの比較をおこない、ネットワーク構造を用いて学習リソースを成長させながら学習することがブックマークの階層構造を利用した学習よりも有効か否かを調査した。

#### 4.3.1 方法

被験者は情報工学系の大学生および大学院生の合計19名である。まず通常のブックマークとの効果の違いを測るため、一日のWeb平均利用時間がほぼ均等になるように被験者をInternet Explorer群(以下IE群)とLME群とに分けた。LME群には20分程度LMEについて説明した。IEについては全員慣れている者だったため特に説明はしなかった。テーマはOSI参照モデルとし、このテーマに沿ってそれぞれIE群は後で再利用できるようにブックマークをつけてもらいながら、

LME群は学習リソースを構成してもらいながら探求学習をおこなってもらった。今回も簡単化のため基点学習リソースを「OSI参照モデルとは」、というページ1ページ(1000字ほどの情報量)とし、探求学習のページを34ページ(1ページ2000字ほどの情報量)用意し、ブックマークのように表示した。そしてできるだけこの中で探求学習をおこなってもらった。

学習内容から4つの問題を作り、1週間後にこれを解いてもらった。使用した問題は、目的③を明らかにするための想起テスト1、2、目的④のための検索テスト、さらに目的⑥のためのタイプ判断テストである。以下、各問題について説明する。

#### ●想起テスト

IEのブックマークによる階層的なページの整理とLMEのネットワーク構造によるページの整理との間に、記憶の程度に関する差が生じるかどうかを確認するためのテストである。本評価では、難易度の異なる以下の二種類のテストを実施した。これらは自由解答形式の問題であり、採点の際には部分点も考慮した。

##### ▲想起テスト1：単一ページの内容に関する問題

LMEでページを構造化することでページ間の関係についてよりよく把握できていれば、類似したページ間の違いをよく把握しているということになる。これを調べるためには、類似したページの中の特定のページの内容に関する問題を出題すれば良いと考え、あるページの内容に対応する以下のような問題を作成した。

問題：OSI参照モデルとはどのようなモデルのことですか。その目的と、いくつかの層に分かれている理由とに言及して答えてください。

##### ▲想起テスト2：複数ページの内容に関する問題

LMEでページを構造化することで、複数のページを統合した理解、つまり複数のページの内容を踏まえた上での理解が促進されると期待できる。この効果を調べるため、複数のページの内容を理解しないと答えることが出来ない以下のような問題を出題した。

問題：以下のプロトコルは何層のプロトコルか、複数にまたがるものは複数答えてください  
TCP/IP, HTTP

#### ●検索テスト

システムを用いて復習をおこなう際には、それまでに作成したブックマークや学習リソースの中から必要なページを探し出すという作業が伴う。LMEの特徴であるネットワーク構造によるページの整理方法が有

用であるかどうかを確認するため、自分が作成したブックマークや学習リソースの中から問題の答えを探し出すテストをおこなった。以下に問題文を示す。本テストは、整理方法の比較であるため、各方法で整理したページの中から目的のページへたどり着くまでに参照したページの数で比較をおこなった。

問題：OSI参照モデルの各層の名称とその役割を簡単に答えてください。

#### ●タイプ判断テスト

システムのタイプ判断が人間の判断とどの程度一致するかを調べるため、被験者に2つの学習リソースを提示してタイプ判断をしてもらい、システムの判断との比較をおこなった。人間とシステムの判断の一致率は、学習リソースのタイプや閾値により変化する可能性があるため、次のようにして被験者に提示する学習リソースの組を選出した。表1に示すように、学習リソースのタイプ全6種類が複数組確認されたのは、閾値が50%から70%の間の場合である。閾値と一致率の関係およびタイプごとの一致率を調査するため、閾値を50%、60%および70%にした場合の各タイプに分類された学習リソースの組の中から、閾値付近で高低の判断がおこなわれたリソースを3組選び、各タイプにつき被験者9名によるタイプ判断との一致率を求めた。なお、被験者には、3.4.1節で述べた6つの学習リソースのタイプの意味付けだけを説明した上で、タイプ判断をしてもらった。

#### 4.3.2 結果・考察

まず作業時間はIEが平均34分、LMEが平均41分となり、作業時間には差がないことがわかった( $t=-1.67$ ,  $p<0.05$ )。IEの登録ブックマーク数は平均13、LMEの登録ノード数は平均12、リンク数も平均12であり、IEの登録ブックマーク数とLMEの登録ノード数にも差がないことがわかった( $t=0.63$ ,  $p<0.05$ )。これらの結果から、Web上の学習リソースを探求し、有用と思うものを記録するという活動については、IEとLMEとの間に差がないことが示され、実用性評価実験でも確認した目的②が再確認されたと言える。

次に、想起テスト1はIEが平均27点、LMEが平均61点、想起テスト2はIEが平均45点、LMEが平均59点となり、いずれもLMEの方が成績が良いという結果になった。この実験では学習過程が個人で異なっており、また整理の仕方も異なっているので一概に比較することはできないが、想起テスト1ではLMEの方が有意に成績が良いことがわかった( $t=-3.14$ ,  $p<0.05$ )。このことからLMEがページ間の違いについての把握を促進していることが示唆された。ある程

度高度な理解が求められる想起テスト2では有意に成績が良いとはいえなかった( $t=-0.91$ ,  $p<0.05$ )。このことは現時点では統合的な理解を促進するに至っていないことを示唆している。

次に検索テストについては、LMEでは4割の被験者が最初のページで、9割の被験者が2ページ目までで答えを見つけることができていた。これに対してIEでは最初のページで答えを見つけた被験者はおらず、2ページ目でも2割弱であった。これらの結果からLMEを復習に利用する際に有効なページを早く見つけることが可能で、利用しやすいということがわかった。

最後にタイプ判断テストの結果として、閾値を50%、60%および70%にした場合のシステムと人間の判断の一致率を図2に示す。この結果より、閾値60%および70%の時の一致率は20%(11/54)で同じであるが、タイプおよびノードの判断の一致率を考慮すると、閾値70%の時に人間の判断ともしっかり一致すると判断することができる。その時のノードおよびリンクの一致率は、それぞれ56%(30/54)と41%(22/54)であり、「学習範囲」に対応するノードの判断に比べ、「理解の程度」に対応するリンクの判断が不十分だといえる。次に、表3に閾値70%の時のタイプごとの一致率を示す。表3からは、ノード同士およびリンク同士の関係が同じである「ノード同等リンク同等」および「ノード包含リンク包含」がタイプ判断の一致率が高いことがわかる。この結果から、二つの学習リソースが同等/包含関係にあるかどうかの判断は、他の判断と比較して、より人間の判断に近いと考えることができる。

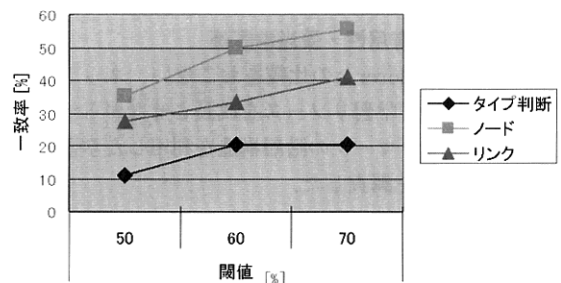


図2 閾値を変化させた際の一致率の推移

表3 閾値70%の時のタイプごとの一致率 [%]

	タイプ判断	ノード	リンク
ノード同等リンク同等	33	78	44
ノード同等リンク包含	11	56	11
ノード同等リンク相違	11	33	67
ノード包含リンク同等	11	56	22
ノード包含リンク包含	33	44	56
ノード包含リンク相違	22	67	44

## 5. おわりに

本論文では、基点学習リソース外で収集した情報をネットワーク構造によって整理する学習支援環境の実現について述べた。また、本学習支援環境を用いて学習者が収集した情報を整理することで、収集した情報に関する記憶の強化、およびその情報の再利用性の向上を図れることが実験により確認できた。本論文で述べた支援方法は、基点学習リソース外での学習活動を支援する一つの方法として有効であると考えられる。

本論文では基点学習リソース外での学習活動の支援について述べたが、基点学習リソース外での学習活動によっては、基点学習リソースの内容と重複するなど、基点学習リソース内の学習に影響を与えることが考えられる。今後は、このような状況に対処するための方法を検討することが必要である。また、現在のノード間のリンクは方向性のみであり、そのリンクの意味については扱っていない。しかし、リンクに「説明」「例示」「まとめ」などの意味づけをおこなうことによって、ノード間の関係やノードの全体に対する位置づけなどの理解を促進できる上に、より有効な推薦もおこなうことができると考えられる。このようにリンクへ情報を付与することにより、推薦機能を発展させるとともにこの情報をタイプ判断に使用することで人間の判断との一致率を向上させることが必要である。さらに、本システムの推薦機能が、学習者の探究活動をどの程度支援できるかについて評価をおこなう予定である。

### 参考文献

- [1] Bonder, R., Chignell, M., and Tam, J., "Website authoring using dynamic hypertext," Proc. WebNet '97, pp.59-64 (1997).
- [2] Boticario, J. G., Gaudioso, E., and Hernandez, F., "Adaptive navigation support and adaptive collaboration support in WebDL," Proc. Adaptive Hypermedia 2000, pp.51-61 (2000).

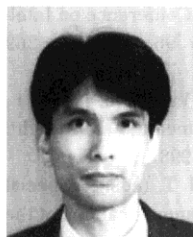
- [3] Brusilovsky, P., Schwarz, E., and Weber, G., "ELM-ART: An intelligent tutoring system on world wide web," Proc. Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS '96), pp.261-269 (1996).
- [4] Brusilovsky, P., Kobsa, A., and Vassileva, J. (eds.), "Adaptive Hypertext and Hypermedia," Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (1998).
- [5] Brusilovsky, P. and Maybury, M. T. (eds.), "Special Issue on the Adaptive Web," Communications of the ACM 45(5) (2002).
- [6] De Bra, P., Brusilovsky, P., and Conejo, R. (eds.), "Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-based Systems, AH2002," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2347, Berlin: Springer-Verlag (2002).
- [7] 経済産業省商務情報政策局情報処理振興課, "eラーニング白書 2005 / 2006 年版", オーム社 (2005).
- [8] Looi, C.-K., McCalla, G., Bredeweg, J., and Breuker, J. (eds.), "Artificial Intelligence in Education," IOS Press (2005).
- [9] 松下正毅, 平嶋宗, 竹内章, "HyperMarker: ブックマークのハイパーテキスト化システム", 情報処理学会・第64回全国大会, 講演論文集 (3), pp.97-98 (2001).
- [10] 松下正毅, "ブックマークのハイパーテキスト化による情報整理機能", 九州工業大学修士論文 (2003).
- [11] 松田瑞生, "学習者による教材の再構成を可能にする学習環境の設計・開発", 教育システム情報学会第28回全国大会講演論文集, pp.213-214 (2003).
- [12] 松田瑞生, 平嶋宗, 國近秀信, 竹内章, "学習者によるWeb教材の再構成を可能にする学習環境の設計・開発", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. WI2-2005, pp.41-46 (2005).
- [13] 光原弘幸, 越智洋司, 矢野米雄, "Web ページに関連知識の解説をリンクするWBLシステム", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-D-I, No.1, pp.29-38 (2003).  
(2005 年 10 月 18 日 受付)  
(2006 年 1 月 13 日 採録)

[問い合わせ先]

〒820-8502 福岡県飯塚市川津680-4  
九州工業大学情報工学部  
國近 秀信  
TEL: 0948-29-7618  
FAX: 0948-29-7618  
E-mail: kunitika@ci.kyutech.ac.jp



## 著者紹介



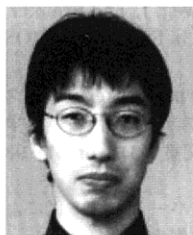
くにちか ひであき  
國近 秀信 [非会員]

1992年九州工業大学情報工学部知能情報工学科卒業。1994年九州工業大学大学院修士課程修了。1996年九州工業大学大学院博士後期課程修了。1996年九州工業大学情報工学部助手。2002年九州工業大学大学院助教授。現在に至る。博士(情報工学)。知的学習支援システムに関する研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、人工知能学会、教育システム情報学会、IAIED各会員。



まつた みずき  
松田 瑞生 [非会員]

2003年九州工業大学情報工学部知能情報工学科卒業。2005年九州工業大学大学院博士前期課程修了。現在、九州日本電気ソフトウェア株式会社。



ひらしま つかさ  
平嶋 宗 [非会員]

1986年大阪大学工学部卒業。1991年同大学院博士課程修了。大阪大学産業科学研究所助手。講師を経て、1997年九州工業大学情報工学部助教授。2004年より広島大学大学院工学研究科教授。学習支援システムをはじめとした、インタラクティブシステムの知的化に関する研究に従事。工学博士。人工知能学会、電子情報通信学会、情報処理学会、教育システム情報学会、日本教育工学会、日本教育心理学会、IAIED、APSCE、AACE各会員。



たけうち あきら  
竹内 章 [非会員]

1976年九州大学工学部卒業。1978年九州大学大学院修士課程修了。九州大学工学部助手。講師を経て、1989年九州工業大学情報工学部助教授。現在、九州工業大学情報工学部教授。工学博士。知的教育システム、ヒューマン・マシンインタフェースなどの研究に従事。情報処理学会、電子情報通信学会、人工知能学会、教育システム情報学会、IAIED、APSCEなどの会員。

## An Inquiry Based Learning Environment Supporting Reconstruction of Web Learning Materials

by

Hidehobu KUNICHIKA, Mizuki MATSUDA, Tsukasa HIRASHIMA and  
Akira TAKEUCHI

### Abstract :

It is important for inquiry based learning to investigate learners' own interests or questions or to reconstruct information already got. We have implemented a learning environment which supports such inquiry based learning. The environment helps learners to add information got from web pages other than prepared learning materials into the materials and to reconstruct learning materials according to learners' thinking. This paper describes implementation of the environment and evaluations on usability.

**Keywords :** Inquiry based learning, Web learning materials, Bookmark, e-Learning

Contact Address : **Hidehobu KUNICHIKA**

*Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology  
Iizuka, Fukuoka, 820-8502 Japan*

TEL : 0948-29-7618

FAX : 0948-29-7618

E-mail : kunitika@ci.kyutech.ac.jp