

認知ツールの操作スキル向上支援を目的とした

Fadable Scaffolding

Fadable Scaffolding for Developing Skill in Cognitive Tool for Learning

柏原 昭博 電気通信大学大学院情報理工学研究科
Akihiro Kashihara Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications.
akihiro.kashihara@inf.uec.ac.jp, <http://wlgate.inf.uec.ac.jp/>

伊藤 真†¹ (同上)
Makoto Itoh macoto@ice.uec.ac.jp

Keywords: fadable scaffolding, cognitive tool, learning skill, and navigational learning

Summary

This paper addresses the issue of how to develop skill in operating cognitive tool for learning. Cognitive tool is an interactive application for encouraging learners to visualize/externalize the process or results of learning and to scaffold the learning process as modeled. Such scaffolding enables them to gain cognitive experience of the learning process. Although the learning skill development generally requires the learners to accumulate the cognitive experiences in operating the tool, it would not always induce them to reflect on how they operate it and on how they learn via the tool. Such reflection contributes to learning how to operate the tool, which also involves learning how to learn. In order to provide learners with an opportunity for reflection, this paper proposes fadable scaffolding with cognitive tool, in which functions available on the tool can be faded according to learning skill in a learner-adaptable way. Such fading enables learners not only to accomplish the learning process without the tool but also to gain a proper and deeper understanding of the functions to become more skillful in operating the tool. This paper demonstrates fadable scaffolding with Interactive History (IH for short) for developing skill in operating it, which is a cognitive tool for scaffolding navigation and knowledge construction process in hyperspace provided with unstructured and hypertext-based resources. We have conducted a case study with the fadable scaffolding with IH. The results suggest that the fadable scaffolding allows learners to fade the IH functions in a reasonable way and to become more skillful in operating IH, which would contribute to become more skillful in navigation and knowledge construction process.

1. はじめに

学び方を学ぶことによって学習スキルの習得や向上を図ることができると考えられるが、そのためには学び方にそって学習するという認知的経験を積み重ねることが不可欠である。本論文では、このような観点から、認知ツールを用いた学習スキル向上支援手法について論じる。

認知ツールとは、ユーザが自分の認知プロセスに対して積極的に関与することを前提に、認知プロセス遂行の足場を提供するインタラクティブシステムのことであり、認知プロセスやその成果物を可視化する、あるいは外化表現させることで認知プロセスの活性化を図ることを目的としている [Lajoie 00, Kim 07]。著者らは、こうした認知ツールを用いて学習プロセスを遂行するスキルを高める手法について検討してきた [Kashihara 08, Kashihara 09, Kashihara 12]。

認知ツールは、通常学習モデルをもとに設計され、モ

デル通りに学習プロセスを遂行できるようにツールの操作機能が装備される [Jonassen 00, Kashihara 05]。学習者は、これらの機能を利用することで学習プロセスの遂行を認知的に経験することができる。また、学習モデルが示唆する「学び方」に習熟して学習プロセスを遂行するスキル（学習スキル）を向上させるためには、こうした認知的経験を積み重ねて認知ツールの操作に熟達することが重要となる [Jonassen 00, Lajoie 00]。本研究では、学習モデルにそって学習プロセスを遂行できるようにツールを操作するスキルを操作スキルと呼び、学習スキルとは区別して扱う。

一方、この操作スキルの向上を図るためには、ツールを継続的に利用することが必要となるが、単に利用を繰り返すだけではなく、学習者が自分自身のツール操作や操作を通じての学び方を振り返って内省する機会を設けることが操作スキル向上にとって効果的であると考えられる。そこで、著者らは認知ツールの操作機能を段階的に取り除くという Fadable Scaffolding 手法を提案して

†¹ 現在、KDDI 株式会社。

きた [Kashihara 08, Kashihara 08].

本手法の特徴は、学習者が自らの学習スキルに応じて認知ツールの操作機能を段階的に取り除き、取り除いた操作機能の対象となる学習プロセスを学習者自身に遂行させる点にある。このとき、学習プロセスに行き詰まった場合は、取り除いた機能を再び利用可能とする。こうして操作機能を取り除いていくことは、心的に遂行しなければならない学習プロセスを徐々に増加させることになるが、学習プロセスや学び方について考える機会を与えることになる。また、学習プロセスの行き詰まりは、認知ツールの操作機能の必要性や重要性について考えるきっかけになると考えられる。これらによって、学習者は、(1) 認知ツールなしでも学習プロセスを遂行することができるようになる、(2) ツール操作に熟達することになる、という2つの面で学習プロセス遂行の向上が期待できる。

本研究では、これまで Web リソースのような学習向けに十分構造化がなされていないリソースの学習用に開発してきた認知ツールを用いて、Fadable Scaffolding 手法を実現し、その有効性を確かめてきた。まず、[Kashihara 08, Kashihara 09]では、上述した(1)の学習スキル向上の観点から Fadable Scaffolding の枠組みを検討し、2つの異なる認知ツールを用いて、それらの操作機能を中期的な期間をかけて取り除いていくことで、最終的に Web ブラウザのみでも学習リソースを効果的に学ぶことができるようになる可能性について検証してきた。また、(2)については、[Kashihara 12]において認知ツールの操作スキルを高める Fadable Scaffolding について議論し、[伊藤 12]ではその中期的な運用により、ツールの操作スキルが向上する可能性を検証してきた。

本論文の目的は、(2)の認知ツールの操作スキル向上に焦点をあてたこれまでの研究経緯から得られた成果をとりまとめ、Fadable Scaffolding 手法とその有効性について論じることである。具体的には、ナビゲーションを伴う学習用の認知ツールとして著者らが開発してきた Interactive History (IH と略す) [柏原 03]の Fadable Scaffolding 手法について詳述する。また、IH における Fadable Scaffolding の実施可能性、および IH の操作スキル向上について調査したケーススタディについても論じる。この調査では、4週間にわたる Fadable Scaffolding の利用を通して、IH 操作がどう変化するかに着目した。その結果、学習者自身による操作機能の取り除きが合理的に行われるとともに、学習プロセスが促進されるように IH 操作が可能となる傾向が示唆された。また、本論文では、新たに Fadable Scaffolding の運用方法についても議論する。

以上のように、本論文における Fadable Scaffolding の新規性は、認知ツールの継続的な利用を効果的に支援してツールの操作スキルを高める点にある。このようなアプローチで学習スキルの向上を目指す支援手法は、関

連研究でも類をみない独創的なものといえる [Kashihara 12].

2. 学習スキル向上支援

通常、学習スキルを向上させるためには、学習プロセスの遂行を通して学び方を学ぶ必要がある [Bransford 00]. 一般に、こうした学習スキル向上の支援では、想定する学習モデルから学習プロセス遂行を規定する方略を同定して、それを教えることで学び方の習得・熟達を図る場合が多い [Schunk 01, Kayashima 03]. Prompting は、その代表的な支援手法であり、学習中に方略に関する情報や質問 [Narciss 07]を提示することで学び方の学びを支援するものと捉えることができる。

一方、学び方の学習に対して学習者自身がより積極的に関与することが学習スキル習得では望ましいとの観点 [Jackson 98] から、著者らは認知ツールを用いた支援に着目してきた。通常、認知ツールは、モデル通りに学習プロセスを遂行できる足場を提供するが、学習プロセスやその成果物を可視化する、あるいは学習者に外化させることで学習プロセスを明瞭化・客観視できるようにするために活用されることが多い [Lajoie 00]. また、外化された表現を通じて学習プロセスに対するメタ認知を活性化することで、学習スキルの習得を支援する研究も多く見受けられる [Schunk 01].

本研究における認知ツールを用いた学習スキルの向上では、適切に学習プロセスを遂行してより良い学習成果をもたらすことができるように、ツールの操作機能についての理解を深めてツール操作に熟達することが肝要である。そのためには、認知ツールを継続的に利用して学習プロセス遂行経験を積み重ねる必要がある。しかしながら、ツール利用を単に繰り返すだけでは効果的に操作の熟達を図ることは難しく、学習プロセス遂行や学び方を考えさせる機会を設けて学習者にツール操作の見直しを促すことが必要となる。こうした見直しを促すためには、いかに認知的経験を積み重ねさせるかが重要な課題となる [伊藤 12]. しかしながら、認知ツールを用いた認知的経験の積み重ねに関する検討は、未だほとんどなされていないのが現状である。

著者らは、これまでに認知的徒弟制の学習観 [Collins 06]に基づき、学習コミュニティ内で学び方を共有するとともに、同程度あるいはより高い学習スキルを有する学習者とのインタラクションを通して学び方を学び合いながら学習スキルを高める枠組みを提案してきた [Kashihara 08]. また、その枠組みでの一支援として、認知ツールを用いて学び方に熟達させるための Fadable Scaffolding の考え方を提唱した。

本手法では、学習者の学習スキルに応じて、学習者自身が認知ツールの操作機能を段階的に取り除き (Fading)、その取り除いた機能の対象となる学習プロセスを学習者に自力で遂行させる。最終的には、ツール

なしでも学習プロセスが遂行できるようにすることが目標となっている。このような操作機能の **Fading** は、学習者にかかる認知的負荷を増加させるが、学習プロセスや学び方を学習者自身が考える機会を与えるという効果（認知的負荷効果）を生み出すことが期待できる [Sweller 10]。また、学習者が学習プロセス遂行に行き詰まった場合は、再び操作機能を利用可能として（**Scaffolding**）、学習プロセスを遂行させる。このような行き詰まりから、認知ツールの操作機能の必要性や重要性についてより深く考えるきっかけを与えるという効果（行き詰まり効果）が期待できる [Kashihara 12]。

これらの効果によって、学習者は認知ツールの操作スキルを高めることができると考えられる。同時に、ツールなしでも、学び方にそった学習プロセスの遂行が可能になる。これらは、**Fadable Scaffolding** の有効性を示すものであり、**Prompting** やメタ認知支援では得られにくい。

なお、一般に学習プロセス遂行の足場かけ（**Scaffolding**）や足場外し（**Fading**）は、教授者が学習者に対して行うものと定義されているが [Collins 06]、**Fadable Scaffolding** では学習者が自分の判断で行う点で異なる。そこで、本研究では、学習者自らツール操作機能の取り除きあるいは利用可能にすることを、**Learner-Adaptable Fading/Scaffolding** と呼ぶ。

3. Fadable Scaffolding の枠組み

ここでは、**Interactive History** [柏原 03] を取り上げて **Fadable Scaffolding** の枠組みを示す [伊藤 12]。以下では、まず **IH** が想定しているナビゲーションを伴う学習のモデルを示す。その上で、**IH** で提供されている操作機能について説明し、操作機能を段階的に取り除く（あるいは利用可能とする）**Learner-Adaptable Fading/Scaffolding** について論じる。

3.1 ナビゲーションを伴う学習プロセス

Web リソースのように学習向けに十分構造化されていないハイパー空間では、学習目的を達成するため学習者は主体的にページをナビゲーションしながら、ページごとに学んだ内容を関係づけて知識を構築していく必要がある [Hill 97, Thuering 95]。また、ナビゲーションプロセスでは、次のページを選択する際、ランダムではなく局所的に立てられた目的を満たすように行われる。このような局所的な目的は、学習目的のサブゴールと見ることができ、これをナビゲーション目的と呼ぶ。学習者はあるページ（始点ページ）で学んだ知識をいかに洗練・展開するかをナビゲーション目的として、それを満たすページ（終点ページ）を見つけることでナビゲーションを進めると考えることができる。著者らは、始点ページから終点ページに至る 2 ページ間の関係づけを基本ナビゲーションプロセス（**Primary Navigation Process**,

PNP と略す）と呼び、複数の **PNP** を積み重ねることで知識が構築されていると考えている。**PNP** の積み重ねとは、**PNP** 間で始点ページあるいは終点ページが重なることで **PNP** が関係づけられることを指す。**IH** では、こうした **PNP** の遂行・積み重ねをハイパー空間での学び方とするモデルを想定しており [柏原 03]、このナビゲーションを伴う知識構築プロセスを遂行するスキル（知識構築スキル）を学習スキルと捉えている。

また、このモデルでは、知識構築プロセスに不十分・不適切な点があれば学んだ知識を再構築することも想定しており、学んだページ内容のリフレクション（始点・終点ページで学んだ内容の見直し・再学習）、**PNP** のリフレクション（ナビゲーション目的、ページ間の関係づけの見直し・変更）、**PNP** 間のリフレクション（**PNP** 間の見直し・再構成）の 3 つの再構築に分けている。

3.2 Interactive History

IH は、上記した知識構築プロセスを遂行可能とするために、図 1 に示すようにナビゲーションプロセス履歴機能、メモ機能、知識マップ機能を提供している。表 1 に、これらの機能と、各ツール操作の対象となる学習プロセスの対応関係を示す。

表 1 IH の操作機能と操作対象となる知識構築プロセス

IH の操作機能	対象となる知識構築プロセス
メモ機能	<ul style="list-style-type: none"> ・ページ内容の学習 ・学んだ内容のリフレクション
ナビゲーションプロセス履歴	<ul style="list-style-type: none"> ・PNP の実行 ・実行した PNP のリフレクション
知識マップ	<ul style="list-style-type: none"> ・PNP の関係づけ ・PNP 間のリフレクション

まず、図 1 (a) に示すナビゲーションプロセス履歴では、**Web** ブラウザを用いて学習者が訪れたページの時系列を自動生成するとともに、**PNP** を遂行する場を提供する。具体的には、図 1 (d) に示す **PNP** 入力用のウィンドウを用いて、学習した任意の 2 ページを始点ページ、終点ページとして、これらのページ間にリンクのアノテーションを行わせる。そして、あらかじめ分類したナビゲーション目的リストから学習者に所望の目的を選択させて、付与したリンクにアノテーションを行わせる。また、必要に応じて **PNP** を変更（ナビゲーション目的の変更、リンクの変更）・削除する操作も可能であり、**PNP** のリフレクションを遂行することができる。

次に、図 1 (b) のメモ機能では、ページで学んだ内容を記録する操作を行わせることで、ページ内容を学ぶ場を提供する。記録したメモは、ナビゲーションプロセス履歴上の対応するページにリンクづけられ、いつでも閲覧することができるようになっている。また、記録したメモ情報を追記・変更・削除する操作も可能であり、学んだ内容のリフレクションを遂行することができる。

さらに、ナビゲーションプロセス履歴に含まれる **PNP**

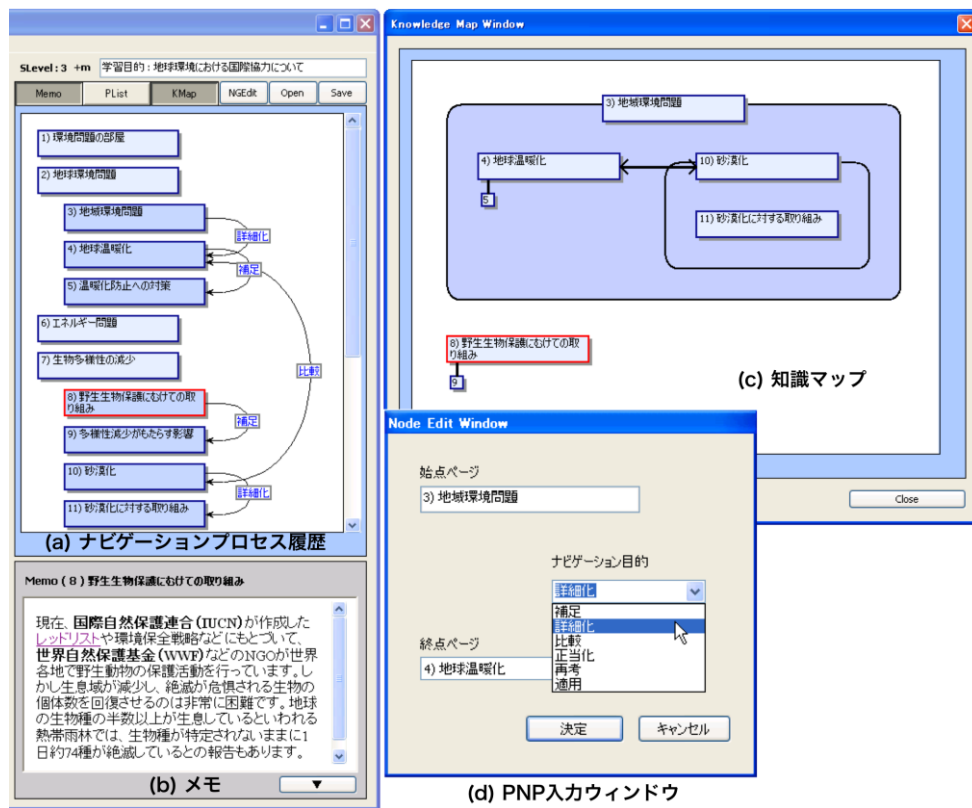


図1 IHのユーザインタフェース・操作機能

数が増えると、PNP間の関係を把握するのが困難となる。そこで、図1(c)に示すように、ナビゲーションプロセス履歴から自動的に PNP 間の関係を視覚化する知識マップ機能を有しており、PNP間の関係づけの足場を提供する。(視覚化方法の詳細は[柏原 03]を参照。)

知識マップには、PNPの重なりによっていくつかの島が形成される。この PNP のまとまりを Knowledge Island (以下、KI と略す) と呼ぶ。図1(c)の知識マップは、2つの KI から構成されており、それぞれ4つの PNP と1つの PNP を含む。こうした KI に含まれる PNP 数を、KI の次数と呼ぶ。この次数が大きいほど、PNPの積み重ね度合いが高く、学んだ内容がより多く関係づけられていることになる。また、PNP間のリフレクションは、知識マップで PNP 間の関係を見直し、再構成する必要がある箇所を確認後、ナビゲーションプロセス履歴上で PNP の変更・削除を行う。

Web ブラウザのみを用いた場合と比較評価した結果、IHを用いることで学んだ内容がより多く関係づけられて、学んだ知識の構造化が有意に活性化され、学習向けに構造化されてないリソースでの学習を効果的に支援できることが確認されている [柏原 03]。

3.3 Learner-Adaptable Fading/Scaffolding

図2に、IHの操作機能に対する Leaner-Adaptable Fading/Scaffolding の概要を示す。本手法では、学習者が IH の操作機能を段階的に取り除きながら、PNP の実

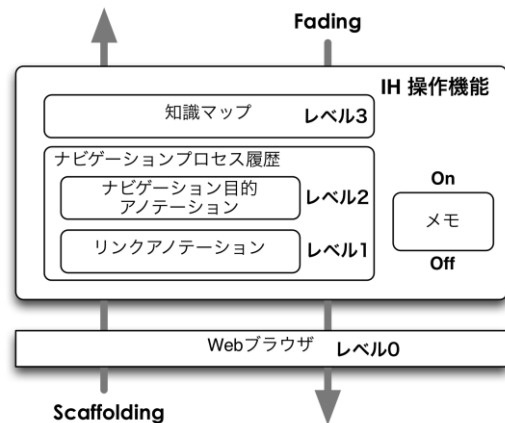


図2 Learner-Adaptable Fading/Scaffolding

行・積み重ねの経験を積み。操作に行き詰まった場合には、取り除いた機能を再び利用することができるようになっていく。そして、最終的には Web ブラウザのみで学習プロセスを遂行できるようになることを目指す。

以上のような Fadable Scaffolding を実現する上で、操作機能間の依存関係の有無を踏まえて操作機能を取り除く順序を決める必要がある。IHでは、知識マップはナビゲーションプロセス履歴機能で作成される PNP の重ね合わせに応じて生成されるため、履歴機能を先に取り除くと知識マップ機能も利用不可になってしまう。そこで、他の機能の遂行に依存する機能は先に取り除くこと



図3 足場レベル設定・メモ機能の On/Off

としている。IH の場合、知識マップ機能がナビゲーションプロセス履歴機能の遂行に依存する。さらに、履歴機能の中ではナビゲーション目的のアノテーションがリンクアノテーションの遂行に依存する。そのため、図2に示す順に操作機能を取り除く。

一方、メモ機能は、Web ブラウザで閲覧したページについて学んだ内容を記録する機能であるため、他の IH 操作機能の遂行から影響を受けない。このような操作機能は、他の機能の Fading とは独立に、Fading/Scaffolding を行うことができる。図2では、メモ機能の Fading/Scaffolding を、操作の On/Off として表現している。なお、メモ機能は学んだ内容自体を記録するもので、学習にとっては欠かせないことから Fading の対象外とする考え方もあるが、ここでは他の操作機能と同様にメモ機能がページ内容の学習やその見直しに重要かつ必要な役割を果たすことをより深く理解させるために Fading の対象とする。

また、本手法では依存関係にある操作機能について、学習者が利用できる機能の数を足場レベルとしており、IH が学習者に提供する知識構築プロセス遂行のための足場の高さともなしている。この足場の高さを徐々に下げないように操作機能の Fading を行う。

まず、学習者は学習開始時に図3に示すユーザインタフェースで、足場レベル、メモ機能の On/Off をを設定する。最初は、IH の全機能（足場レベル3・メモ機能 On）を用いて学習を開始し、学習者自らの程度モデル通りに知識構築プロセス遂行を行うことができるかを主観的に見積り、知識構築スキルを自己評価した上でメモ機能の On/Off を切り替えるとともに、徐々に足場レベルを下げっていく。

図4に Fadable Scaffolding の例を示す。図4左側は足場レベル2を表し、右側が足場レベル1を表す。いず

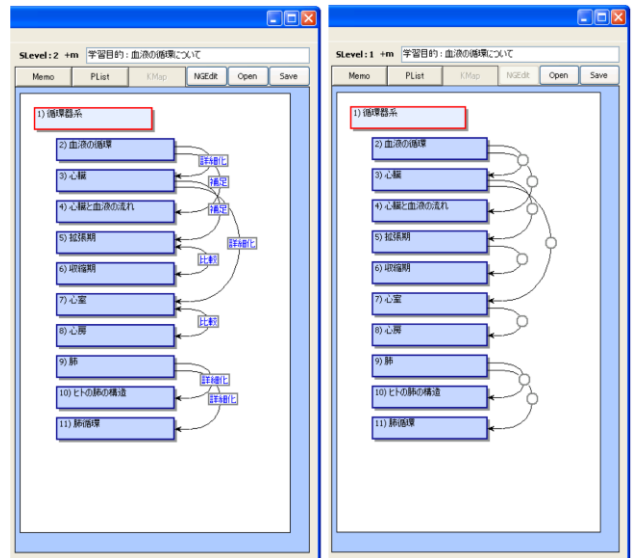


図4 Fadable Scaffolding の例

れも知識マップ機能が取り除かれているが、レベル1では PNP 遂行のためのリンクアノテーションを行うことができるもののナビゲーション目的のアノテーション操作機能が取り除かれている。学習者は、レベル2から1へ足場の高さを下げる過程で、PNP の積み重ね操作に加えてナビゲーション目的のアノテーションを心的に遂行することが期待される。つまり、足場レベルを徐々に下げることで、心的に遂行しなければならない学習プロセスが増加することになる。

以上のように、Fadable Scaffolding は、IH の継続的な利用を通じて学習者が知識構築スキルを自己評価しながら足場レベルを徐々に下げ、その結果として操作スキルの向上を図る手法である。

4. ケーススタディ

4.1 実験目的

ここでは、学習者による Fadable Scaffolding の実施可能性と、IH を継続的に利用した場合と比較して Fadable Scaffolding が IH の操作スキルに与える影響を調査することを目的としてケーススタディを実施した。具体的には、IH の継続的な利用の過程において、学習者が知識構築スキルを自己評価し、それに応じて合理的に IH による足場レベルを下げていくことができるかどうかを確認した。また、Fadable Scaffolding の結果、ナビゲーションを伴う知識構築が促進されるように IH 操作が可能となるかどうかを確認した。

なお、学習スキルの向上を評価する場合、習得されたスキルが長期的に保持されるかどうかという視点での評価と、一定期間の学習試行（演習や訓練など）後、ある時点で特定の学習課題を与え、その学習プロセスの遂行が試行前と比べてどのように変化するかという視点での

表 2 ケーススタディのセッション構成と日程

日程	1日目		2日目		3日目		4日目		5日目	
セッション	プレテスト		学習セッション(2週間)							
学習リソース	株式投資	海の生物	茶道	循環器系	鎌倉時代	特許	色彩	沖縄	熱力学	原子
日程	6日目		7日目		8日目		9日目		10日目	
セッション	中間テスト		学習セッション(2週間)							
学習リソース	株式投資	ロケット	循環器系	鎌倉時代	茶道	特許	色彩	地球環境	原子	沖縄
日程	11日目									
セッション	ポストセッション									
学習リソース	株式投資	天気								

評価の2つが考えられる。本ケーススタディでは、認知ツールを用いた関連研究[Jonassen 00, Lajoie 00]でも一般的に行われている後者の視点から IH の操作スキル向上を調査した。

4.2 準備・条件

本ケーススタディでは、インターネット利用経験3年以上の理工系大学生・大学院生16名を被験者として、表2に示すように4週間にわたり計8日間(表2の2日目～5日目と7日目～10日目)でIHを利用した学習を16セッション実施した。また、全学習セッションを通して学習に用いるリソースを9つ用意した。表2に、各学習セッションで用いた学習リソースを示す。これらのリソースに含まれるページ総数は45～145であり、Back/Next/Homeを除く1ページあたりの平均リンク数は2.3～10.1であった。

また、全学習セッションを通して Fadable Scaffolding を利用する実験群を FS 群、利用しない対照群を IH 群とし、それぞれの条件に被験者を8名ずつランダムに割り当てた。FS 群では、被験者が自らの知識構築スキルに応じて足場レベルを下げる・上げるという制御を行うことになると考えられる。また、IH の操作スキルが向上すると、PNP の実行と積み重ねが促進されて知識が構築されると考えられる。つまり、知識マップにおいてより大きな KI が生成され、PNP 間でより多くの関係が作られることになる。Fadable Scaffolding が有効に機能すれば、こうした傾向が IH 群よりも FS 群に強く現れると考えられる。

これらの点を踏まえて、本ケーススタディでは次のような仮説を立てた。

H1 : FS 群では IH による足場レベルを合理的に下げることができる

H2 : Fadable Scaffolding は、PNP 実行・積み重ね操作をより促進する。

4.3 手順

本ケーススタディでは、表2に示すように16の学習

セッションのほか、学習セッションの前・中間・後に IH の操作スキルを確認することを目的として、3つのテスト(プレテスト、中間テスト、ポストテスト)セッションを実施した。

まず、学習セッションは1日2セッション行い、両群に対してセッションごとに同じ学習リソースと同じ学習目的を与え、IH を用いて学ばせた。各セッションの制限時間は25分とした。なお、学習目的はセッション毎に異なるように設定した。セッション終了後、「各ページで理解した内容を関係づけながらうまく知識を構築できましたか(はい/いいえ)」といった知識構築プロセス遂行の成否に関するアンケートに答えさせた。このアンケートの目的は、学習者に知識構築スキルの自己評価を促すことにある。

また、各セッションでは、FS 群の被験者に対してのみ、「自分のスキル習得状況に応じて足場レベル、メモ機能の On/Off を制御し、最終的には全操作機能を取り除いた状態で学習できるようになることを目指してください」といった指示を与えた。また、各セッション開始時に、直前のセッションで生成したナビゲーションプロセス履歴を確認させた後、足場レベルとメモ機能の On/Off を設定させた。なお、セッション中は操作機能の Fading/Scaffolding は禁止した。

次に、テストセッションでは、FS 群、IH 群の両群ともに IH の全操作機能を用いて学習リソースを学ぶテストを実施した。テストセッションの間隔については、表2の通りプレテストと中間テストの間および中間テストとポストテストの間がいずれも2週間となるように設定した。また、3つのテストセッションで同じリソース(株式投資)を学ぶテスト1と、異なるリソース(ドメイン: 海の生物、ロケット、天気)を学ぶテスト2を実施し、それぞれのプレテストから中間・ポストテストへの IH 操作の変化を分析することにした。表3に、テスト用に用いた4つのリソースのドメイン、総ページ数、Back/Next/Home を除く1ページあたりの平均リンク数を示す。

各テストセッションでの2つのテストは1日で行い、

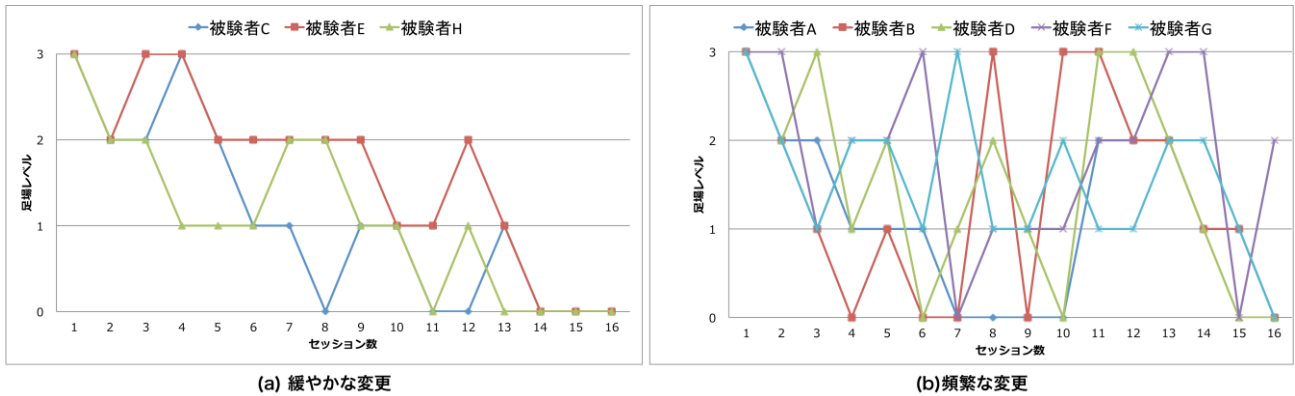


図5 足場レベルの推移

制限時間をそれぞれ 25 分とした。また、テスト 1 では、同じリソースを学ぶため、異なる学習目的としてプレテストでは「株式に関する情報の入手方法について学ぶこと」、中間テストでは「株式投資のメリットについて学ぶこと」、ポストテストでは「株式が稼ぎにつながる理由について学ぶこと」を与えた。

表3 テストセッションで用いた学習リソース

学習リソース	テスト1	テスト2		
	株式投資	海の生物	ロケット	天気
総ページ数	83	56	56	52
平均リンク数	4.3	4.0	4.2	4.3

なお、プレテストセッション開始前に、両群の被験者に対して IH が想定している学習モデルと、IH の操作方法について説明した。この際、ペーパーマニュアルを用意することで、被験者間で IH に関する説明に差が出ないように留意した。被験者には「ネットワーク」に関するリソースを与え、説明に沿って実際に IH を操作させた。

以上の手順で得られる知識構築プロセス遂行の成否に関するアンケート結果と、テストセッションでの IH 操作履歴としてナビゲーションプロセス履歴・知識マップから、(1) 実行された PNP 数、(2) 知識マップにおける KI の最大次数 (KI が含む PNP の最大値)、(3) PNP の重なり度 (次数 2 以上の KI に含まれる PNP 数の平均値) に関するデータを収集した。

4.4 実験結果・考察

§ 1 Fadable Scaffolding 実施可能性について

まず、仮説 H1 を確かめるために、図 5 に FS 群の被験者 8 名による 16 の学習セッションにおける足場レベルの推移を示す。図からも分かる通り、全被験者において足場レベルが 0 まで下がっていたことがうかがえる。また、足場レベルの推移には 2 つの傾向があることが分かった。それは、図 5 (a) に示すように 16 セッションにわたり足場レベルを緩やかに下げる傾向と、図 5 (b) に示

すように 16 セッションにわたり足場レベルを 3 から 0 の間を頻繁に上下させたり、一度に 2 段階以上足場レベルを変更したりする傾向の 2 つである。これは、独立した操作機能であるメモ機能の取り除き方に関係していると考えられる。つまり、図 5 (a) の被験者群はメモ機能の有無を頻繁に変更する傾向にあったことから、各足場レベルにおいてメモ機能が Off となる影響を考慮しながら、足場レベルを徐々に下げていたのではないかと推察される。一方、図 5 (b) に示した被験者群は連続する複数セッションでメモ機能の有無を保つ傾向にあったことから、メモ機能ありあるいはなしにおいて、足場レベルを変更した場合の影響を見極めようとしていたのではないかと考えられる。また、より挑戦的に足場レベルの変更を行おうとしていたこともうかがわれる。

さらに、表 4 に各セッション終了後に収集した知識構築プロセス遂行に関するアンケート結果を示す。このとき、知識構築がうまく行えたという「はい」の回答数と「いいえ」の回答数には、1×2 直接確率検定の結果 1% の有意差 (両側検定: $p=0.003$) が見られた。

表4 知識構築プロセス遂行の可否

アンケート結果	回答数
はい	81
いいえ	47
合計 (16 セッション×8 名=128)	128

表5 隣接するセッション間でのアンケート回答の推移

セッション n での回答	セッション n+1 での回答	回答数	
はい	はい	46	76
いいえ		30	
はい	いいえ	32	44
いいえ		12	
合計 (15 セッション間×8 名=120)			120

次に、表 5 に隣接するセッション間における知識構築プロセス遂行に関するアンケート回答の遷移結果を示す。このとき、知識構築をうまく行えるように遷移した回数とうまく行えなくなった遷移回数には、1% の有意差 (1×2 直接確率検定・両側検定, $p=0.005$) が見られた。さらに、表 6 に回答の遷移ごとに足場レベルの変化量と、

その該当セッション数を示す。ここでは、セッション間の足場レベル変化量が±1 以内の変更を合理的とし、かつセッション n での回答が「はい」(あるいは「いいえ」)の場合知識構築がうまく行えたと自己評価したことから、セッション n+1 では足場レベルを維持または一つ下げること(あるいは知識構築がうまく行えなかったと自己評価したことから、セッション n+1 では足場レベルを維持または一つ上げること)が合理的な変更と考えて集計した。その結果、合理的な変更がなされたセッション数が 90、合理的でない変更がなされたセッション数が 30 となり、1%の有意差が見られた(1×2 直接確率検定・両側検定, p=0.000)。

表 6 回答遷移と足場レベルの変更量

セッション n での回答	セッション n+1 での回答	足場レベルの変更	該当セッション数
はい	はい	+1 ~	9
		-1 ~ 0	35
		~ -2	2
	いいえ	+1 ~	0
		-1 ~ 0	27
		~ -2	5
いいえ	はい	+2 ~	3
		0 ~ +1	20
		~ -1	7
	いいえ	+2 ~	0
		0 ~ +1	8
		~ -1	4

■ は合理的な足場変更を表す

表 7 回答遷移とメモ機能の On/Off 切替え

セッション n での回答	セッション n+1 での回答	メモ機能の On/Off	該当セッション数
はい	はい	On	4
		維持	33
		Off	9
	いいえ	On	8
		維持	19
		Off	5
いいえ	はい	On	4
		維持	19
		Off	7
	いいえ	On	0
		維持	9
		Off	3

■ は合理的な足場変更を表す

また、メモ機能についても、表 6 と同様に合理的な On/Off 切替えを集計した。表 7 にその結果を示す。合理的な切替えがなされたセッション総数は 98 となり、合理的でない切替え(総数 22)との間に有意な差が見られた(1×2 直接確率検定・両側検定, p=0.000)。

以上の結果から、仮説 H1 のとおり、FS 群では被験者による知識構築スキルに対する自己評価に基づいて合理的に IH による足場レベルを下げていくことができおり、Learner-Adaptable Fading/Scaffolding の実施可能性が示唆されたと考えられる。

§ 2 IH の操作スキルについて

次に、仮説 2 を確かめるために、表 8 に各テストセッションにおいて FS 群・IH 群で遂行された PNP 数、生成された KI の最大回数、および PNP の重なり度の平均を示す。なお、テスト 2 では、プレテストで FS 群と IH 群の間に、PNP 数、KI の最大回数、PNP の重なり度いずれにおいても有意差が見られたことから、今回の分析ではテスト 2 を対象外として、テスト 1 のみ分析対象とした。

各テストセッションにおける FS 群と IH 群を比較すると、PNP 数について中間テストで FS 群のほうが有意に大きくなった(片側検定, t(14)=2.32, p<.05)。また、KI の最大回数については中間テストで、PNP の重なり度についてはポストテストでそれぞれ FS 群が大きくなる傾向が見られた(片側検定, t(10)=1.43, p<0.10, t(9)=1.53, p<0.10)。その他の箇所では有意差は見られなかった。ポストテストでの PNP 数、KI の最大回数についても有意差は見られなかったが、FS 群がより高い値となった。

表 8 テストセッション(テスト 1)の結果

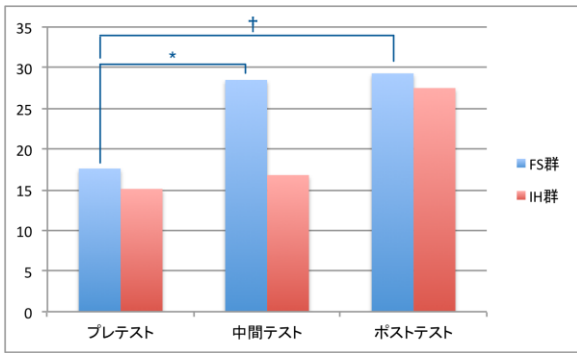
テスト 1		PNP 数	KI の最大回数	PNP 重なり度
FS 群	プレテスト	17.6 (6.65)	5.38 (1.85)	4.54 (1.00)
	中間テスト	28.5* (12.6)	9.00† (4.47)	7.50 (3.84)
	ポストテスト	29.3 (15.0)	13.6 (9.29)	11.5† (7.66)
IH 群	プレテスト	15.1 (2.70)	6.13 (4.76)	4.94 (2.26)
	中間テスト	16.8 (6.71)	6.50 (2.07)	7.20 (3.34)
	ポストテスト	27.5 (20.3)	9.75 (6.80)	7.10 (2.56)

One-sided t-test *:p<0.05, †:p<0.10 () 内は標準偏差

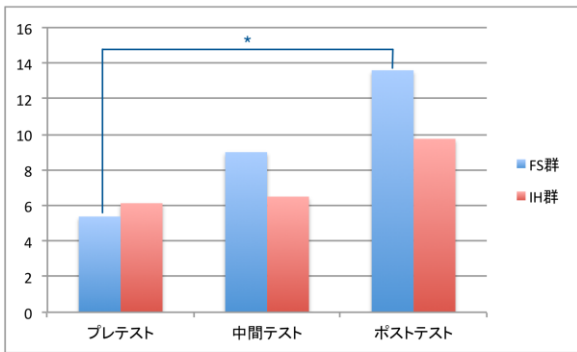
次に、各群のプレテスト・中間テスト・ポストテスト間を比較した。図 6 に示すように、FS 群ではプレテストからポストテストにかけて、PNP 数、KI の最大回数、PNP の重なり度いずれの値も有意により大きくなる傾向にあることが分かった。

以上の結果から、株式投資の学習リソースを学ぶという限定された範囲ではあるが、IH の継続的利用における Fadable Scaffolding の実施によって、仮説 H2 のとおり PNP の実行・積み重ねが促進され、知識構築を遂行するための IH 操作スキルが向上する可能性が示唆されたと考えられる。

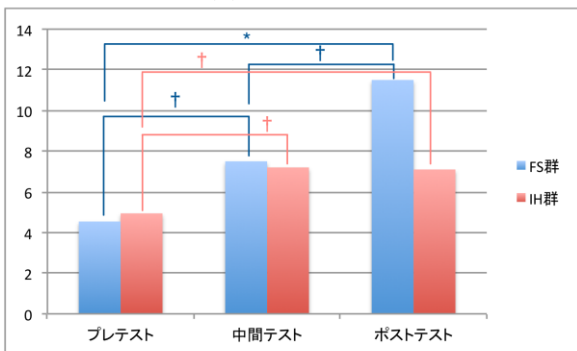
さらに、IH 操作スキルの向上について分析するために、プレテストにおける PNP の重なり度の値で FS 群を上位群(FS-H 群) 4 名と下位群(FS-L 群) 4 名の 2 群に分けた。その上で、各群のプレテスト・ポストテスト間を比較した。その結果を図 7 に示す。FS-H 群では、KI の最大回数が大きくなる傾向が見られた(両側検定, t(3)=2.40, p<.10)。FS-L 群では、KI の最大回数、PNP



(a) PNP数



(b) KIの最大回数



(c) PNPの重なり度

Two-sided t-test *:p<0.05, †:p<0.10

図6 各群におけるテスト間の有意差

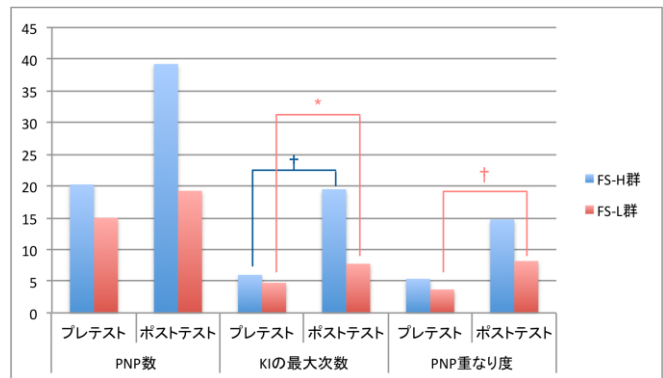
の重なり度において有意な差が見られた (KI の最大回数：両側検定, $t(3)=3.29, p<.05$; PNP の重なり度：両側検定, $t(3)=3.07, p<.10$).

これらの結果から, FS-L 群の方が IH 操作スキルをより高める傾向にあることがうかがわれる。つまり, IH 利用開始時にうまく PNP の積み重ねがなされていかなかった学習者に対して, Fadable Scaffolding がより有効に機能する可能性が示唆されたと考えられる。

表9 妥当でない PNP の割合

	プレテスト	中間テスト	ポストテスト
FS 群	0.0132	0.00347	0.00227
IH 群	0	0.00463	0.00431

なお, 参考として, 各テストセッションで遂行された PNP の遂行が妥当であったかどうかを確かめるために,



Two-sided t-test *:p<0.05, †:p<0.10

図7 FS-H 群/FS-L 群の比較

始点・終点ページ間に直接リンク (同一ページへのリンクも含む) がなく, かつページごとに学んだ内容を関係づける上で両ページに記載された項目の関連度が低いと著者らが判断した PNP の割合を調べた。その結果, 表9に示すように, 該当する PNP はほとんどなかった。このことから, 各テストセッションでの PNP 遂行はほぼ妥当なものであったと考えている。

5. 議論

ここでは, 提案した Fadable Scaffolding の運用可能性について議論する。

5.1 足場レベルの設定

今回のケーススタディでは, Learner-Adaptable Fading/Scaffolding がおおむね合理的に行われることを確認したが, 学習者による主観的な学習スキルの自己評価に依拠して足場レベルを設定するのではなく, 学習者の学習スキルを推定した上でより適切な足場レベルを設定するという方式も考えられる。このような適応的な支援によって, より効果的に Fadable Scaffolding を運用することができると考えられるが, 学習スキル推定をいかに行うかという課題を解決する必要がある。

ただし, 本論文で述べた Fadable Scaffolding では, 学習者による学習スキルの自己評価が不的確で足場レベルが低く設定された場合でも, 認知ツールの操作に行き詰まりが起こる可能性が高まるが, 取り除いた機能を再度利用することができ, またその機能の必要性や重要性について考えるきっかけを学習者に与えることになると期待できる。操作スキルの向上という観点からすると, 適切に足場レベルが設定されることは望ましいが, 学習者による自己評価が不的確であっても Fadable Scaffolding の運用上大きな問題にはならないと考えている。

5.2 足場変更のタイミング

ケーススタディでは, 足場レベルの変更, メモ機能の

On/Off 切替えはセッションごとに学習を終えるまで禁止し、新たなセッション開始時に足場の変更を行わせていた。これは、設定した足場の影響を調べることが目的であったためである。

一方、学習中に認知ツール操作に行き詰まった場合、その機能の必要性や重要性を認識させ、かつ操作の仕方やそれを通じた学び方を学ばせるために、即応的に取り除いた機能を再度利用可能としたり、行き詰まったとしても極力学習者自身に考えさせるように仕向けたりすることが必要になる。こうした足場変更のタイミングをいかに適応的に決めるかは、よりの確なスキル向上支援の実現にとって重要な課題になると考えられる。

6. まとめ

本論文では、認知ツールを用いた学習スキル向上を目指し、ツール操作スキルの向上を図る支援手法として **Fadable Scaffolding** について論じた。特に、認知ツールの操作機能を段階的に取り除き、操作機能の必要性や重要性を考えさせる機会を与えることでツール操作のスキルを高めることについて述べた。

また、ナビゲーションを伴う学習向けの認知ツールを題材として、**Fadable Scaffolding** の実施可能性および操作スキルへの影響を調べたケーススタディについて述べ、4 週間の試行において合理的に操作機能を取り除くことができる可能性が示唆されるとともに、単一の学習リソースを異なる学習目的で学ぶという限定された範囲内で認知ツールの操作スキルが高まる可能性が知見として得られた。

今後は、より大規模かつ長期的な評価実験を実施して、より多様な学習リソースを用いて認知ツールの操作スキル向上を評価するとともに、習得された操作スキルの保持という視点からも評価を実施していきたい。また、その結果に基づき、**Fadable Scaffolding** の問題点を洗い出し、手法を洗練したいと考えている。特に、今回のケーススタディでは、認知ツールの全機能を **Fading** の対象としたが、IH のメモ機能のようにツールの中でも学習にとって欠かせないような基盤となる機能も **Fading** の対象とするべきかどうかについて検討を進めていきたいと考えている。また、現在、本手法を他の認知ツールにも応用しており [大石 13]、これからは様々な認知ツールに適用することで本手法の汎用性について検討を進めたい。

謝辞

本研究の初期段階で **Fadable Scaffolding** の設計に貢献してくれた真谷真之氏、沢崎和郎氏に感謝する。なお、本研究の一部は JSPS 科研費基盤研究 (B)(No.23300297)・(No.26282047)の援助による。

◇ 参考文献 ◇

- [Bransford 00] Bransford, J. D., Brown, A. L., and Cocking, R. R. (eds.): *How People Learn – Brain, Mind, Experience, and School*, National Academy Press (2000).
- [Collins 06] Collins, A.: *Cognitive apprenticeship: The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, R. Keith Sawyer (Ed.), pp.47-60, Cambridge University Press (2006).
- [Hill 97] Hill, J. R. and Hannafin, M. J.: *Cognitive strategies and learning from the World Wide Web, Educational Technology Research and Development*, Vol.45, No.4, pp.37-64 (1997).
- [伊藤 12] 伊藤真, 柏原昭博: 認知ツールを用いた学習スキルアップのための **Fadable Scaffolding** 手法とその評価, 教育システム情報学会研究報告, Vol.26, No.7, pp.95-102 (2012).
- [Jackson 98] Jackson, S. L., Krajcik, J., and Soloway, E.: *The Design of Guided Learner-Adaptable Scaffolding in Interactive Learning Environments*, CHI 98, pp.187-194 (1998).
- [Jonassen 00] Jonassen, D. H.: *Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking*, Second Edition, Prentice-Hall (2000).
- [柏原 03] 柏原昭博, 坂本雅直, 長谷川忍, 豊田順一: ハイパー空間における主体的学習プロセスのリフレクション支援, 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.5, pp.245-256 (2003).
- [Kashihara 05] Kashihara, A. and Hasegawa, S.: *A Model of Meta-Learning for Web-based Navigational Learning*, *International Journal of Advanced Technology for Learning*, Vol.2, No.4, pp.198-206 (2005).
- [Kashihara 08] Kashihara, A., Sawazaki, K., and Shinya, M.: *Learner-Adaptable Scaffolding with Cognitive Tool for Developing Self-Regulation Skill*, *Proc. of the 16th International Conference on Computers in Education*, pp.133-140 (2008).
- [Kashihara 09] Kashihara, A. and Taira, K.: *Developing Navigation Planning Skill with Learner-Adaptable Scaffolding*, *Proc. of AIED 2009*, pp.433-440 (2009).
- [Kashihara 12] Kashihara, A. and Ito, M.: *Fadable Scaffolding with Cognitive Tool*, *Proc. of ITS2012, LNCS Vol. 7315*, pp.662-663 (2012).
- [Kayashima 03] Kayashima, M. and Inaba, A.: *Towards Helping Learners Master Self-Regulation Skills*. *Supplementary Proceedings of AIED2003*, pp.602-614 (2003).
- [Kim 07] Kim, B. and Reeves, T. C.: *Reframing research on learning with technology: in search of the meaning of cognitive tools*, *Journal of Instructional Science*, Vol.35, pp.207-256 (2007).
- [Lajoie 00] Lajoie, S. P. (ed.): *Computers As Cognitive Tools: No More Walls: Theory Change, Paradigm Shifts, and Their Influence on the Use of Computers for Instructional Purposes 2nd ed.* Lawrence Erlbaum Assoc. Inc. (2000).

- [Narciss 07] Narciss, S., Proske, A., and Koerndle, H.: Promoting self-regulated learning in web-based learning environments, *Computers in Human Behavior*, Vol.23, No.3, pp.1126-1144 (2007).
- [大石 13] 大石千恵, 柏原昭博: Web 調べ学習における課題展開を活性化するための Fadable Scaffolding, *教育システム情報学会研究会* Vol.28, No.3, pp.17-24(2013).
- [Schunk 01] Schunk, D. H. and Zimmerman, B. J. (eds.): *Self-Regulated Learning and Academic Achievement: Theoretical Perspectives*, 2nd ed. Lawrence Erlbaum Assoc (2001).
- [Sweller 10] Sweller, J.: *Cognitive Load Theory: Recent Theoretical Advances*. In J.L Plass, R. Moreno, and R. Bruenken (ed.): *Cognitive Load Theory*, pp.29-47, Cambridge University Press (2010).
- [Thuring 95] Thuring, M., Hannemann, J., and Haake, J. M.: *Hypermedia and cognition: Designing for comprehension*, *Communication of the ACM*, Vol.38, No.8, pp.57-66 (1995).

[担当委員: 吉川 厚]

2014年7月23日 受理

著者紹介



柏原 昭博 (正会員)

1987年徳島大学工学部情報工学科卒業。
1989年同大学院修士課程修了。1992年大阪大学大学院博士課程修了。大阪大学産業科学研究所助手, 講師, 助教授を経て,
2003年電気通信大学情報通信工学科助教授, 2007年同准教授, 2011年同大学院

情報理工学研究科教授, 1996~1997年, ドイツ GMD-FIT 客員研究員, 現在に至る。博士(工学)。学習工学, 特に学習プロセスのモデル化および学習ツールに関する研究に従事。1993年本学会全国大会優秀論文賞, ED-MEDIA'95 優秀論文賞, 1996年度・1998年度・2005年度・2009年度・2012年度本学会研究会優秀賞, 教育システム情報学会第33回全国大会研究奨励賞, IJAIED, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本教育工学会各会員。



伊藤 真

2010年電気通信大学電気通信学部情報通信工学科卒業, 2012年同大学院情報理工学研究科総合情報学専攻博士前期課程修了。現在 KDDI 株式会社。在学中, 認知ツールによる学習支援の研究に従事。