e ラーニングにおける集合知利用の検討

土橋勇哉†，塚原渉†，寺田達也†，品川徳秀†，中川正樹†
†東京農工大学 工学府 情報工学専攻

和文抄録：e ラーニングの欠点のひとつに，他の学習者との関係性が意識されず，受講継続のモチベーション維持が困難になる点があげられる．本研究では，この解決法として集合知を利用した学習コンテンツを提案した．具体的には，正解した学習者が他の学習者のためにヒントを作成でき，閲覧後評価や閲覧数の表示と，それに応じたヒント表示順の変更によって，作成者や閲覧者が他者との関係性を意識できるようにした．この仕組みによって実際に有用なヒントが作成され，モチベーション維持が支援されることを検証するため，評価実験を行った．

Employing Collective Intelligence in E-Learning Content Delivery System

Yuya DOBASHI† Wataru TSUKAHARA† Tatsuya TERADA† Norihide SHINAGAWA† Masaki NAKAGAWA†
Department of Computer and Information Sciences , Tokyo University of Agriculture and Technology

英文抄録：We developed an e-Learning content delivery system "LECMIS". LECMIS employs collective intelligence approach for supporting motivation of learners. In LECMIS, learners can add hints for problems they have solved. Hints are evaluated by those who read them. Contents are refined by the cycle of reading/writing/evaluating hints which is essential for construction of collective intelligence. By this approach, we aim to motivate learners to continue learning by giving them a feeling that other learners are also learning and actively participating in improving the contents. Once they have solved problems, they are proud and willing to add hints for others. We evaluated LECMIS by two kinds of evaluation experiment. First evaluation showed that the hint reading/writing/evaluating cycle actually worked. Second evaluation experiment showed that LECMIS improved learning time which corresponds to motivation of learners.

1.はじめに

近年，e ラーニングが実際に活用される場面が増えてきた．例えば，能力開発教育の効率化を目的とした企業内 e ラーニングや，学習知識の定着や学習対象分野への興味喚起を目的とした教育機関の e ラーニングなどが挙げられる[1].

一般に学習者向けの e ラーニングコンテンツには多くの工夫が施されている．たとえば，学習者の興味を喚起するようにアニメーションを用いるなどである．一方，これらのコンテンツは，コンテンツ間の遷移が単調であるといった問題点も存在する．それらの多くは，出題に対し，正解ならば次の出題へ，不正解ならば解説表示後に次の出題へ，という流れであり，学習者に流れ作業をしているかのような印象を与える．これは学習の継続性を阻害する一要因になっていると考えられる．

また，従来の学校教育では，友達との教え合いを通じて，学習者の孤立感が取り除かれていた．しかし， e ラーニングでは，知識の流れが教授者から学習者への一方通行であることが多い．他の学習者との関係性を意識するようなインタラクションが減るため，モチベーション維持が困難になることが指摘されている[2].

ところで，現在ではさまざまな集合知を用いる利用者参加型の web サイトが注目を集めている．中には，はてな人力検索 (図 1) のような，ある質問に対して複数の一般利用者が回答者として知識を提供することで問題を解決するサービスが存在する．これらのサービスは，利用者同士の直接交流によって問題が解決されるため，他の利用者の存在を強く意識することができる．このような特性は，e ラーニングにおいても学習者の孤立感を緩和させ，結果としてモチベーション維持に貢献できると期待される．



図 1.集合知を用いた web サービス例－はてな人力検索

さらに，集合知はコンテンツ作成コスト低減にも役立つ可能性がある．数学や物理などの解答手順が複数ある科目や，正解が一つとは限らない問題では，コンテンツ作成教員の負担が大きい．集合知を利用してコンテンツ作成コストを低減できれば，教授者はより多くのコンテンツを作成できるようになると期待される．他方，学習者に対しては，コンテンツ作成への参加による理解の深化を期待できる．

このような観点から，本研究では，他の学習者の存在を実感することや，教材作成を通じて共同体への貢献を意識することが，学習モチベーション維持に与える影響を分析する．同時に，教材作成の一端を学習者が担うことによる負荷の軽減に関しても検討する．

対象コンテンツ形式は，学習過程が比較的単調になりやすいことから，ドリル型コンテンツとする．学習分野は，解法やノウハウに関して多様な発案が期待できる中学校数学分野とした．

本研究では，e ラーニングにおける集合知の利用について研究を行なっている．本稿では，前回報告に加え，問題構成の検討と，問題作成負荷の低減について報告する．すでに，コンテンツに対して学習者の集合知を活用する e ラーニングコンテンツ作成・提供環境 LECMIS を実現した．LECMIS は，問題正解者の知識の集積と，他の学習者による評価の反映とによって，集合知を形成する仕組みである．

本報告の構成は以下の通りである．第 2 節では，集合知について概説する．第 3 節では，本研究の提案である LECMIS の概要と集合知形成方法を説明する．第 4 節で評価実験について述べ，第 5 節で考察を行う．第 6 節で，本稿を総括し，今後の課題を示す．

2.集合知とは

集合知(Collective Intelligence)は，Web2.0 とともに注目され，実際にさまざまな場面で活用されるようになってきた．集合知とは，「個から発信された情報を集め，何かしらの加工を施し，新たな価値を生み出したものをさす．また，さまざまな意見や議論によって磨かれた言説でもある」と定義される[3].

したがって，集合知を生み出すためには，個から発信された情報を集めるための機構と，それを加工するための機構が必要である．情報の収集は，Web の普及によってより効果的に行えるようになり，そして，加工についても Web による知識の効率的な集約によって容易になったことで，より集合知を生み出しやすくなったといえる[4][5].

集合知の構築は，以下の公開，連鎖，選別，評価の 4 ステップに分けることができ，この手順を満たすことで，集合知を効果的に獲得することができる．

i. 公開: 原則的に情報を私物化せず，すべて公開する

ii. 連鎖: 公開された情報や知識に対して，参加者が引用したり，参考情報をリンクさせたりするなど，情報や知識間のつながりを増やす

iii.選別: 連鎖によって情報や知識に追加された情報に対して，価値を計算し重要度を判定する

iv. 評価: 選別によって評価された情報や知識を必要性や用途に応じて，優先順位をつけ，グループ化して参加者に提示することで，その価値を評価する

3.LECMIS の概要と集合知形成方式

本研究では集合知活用型学習コンテンツを提供するための環境として，コンテンツ提供システム(LECMIS)を開発した．LECMIS は，学習者の e ラーニング受講時におけるモチベーションの維持を支援することを主要な観点としている．本研究では，モチベーション維持のためには従来の e ラーニング方式に加え，他の学習者の存在を意識させることが重要であると仮定している．そして，このために学習者による集合知形成活動を利用する. 設計に際しては, 2 節に示した i.〜iv.の項目を重視した. これにより，学習者が自ら共同体の一員として教材改善に貢献しているという実感を持ち，その結果として学習モチベーションが維持されるようになることを期待している.

図 2 に従来のシステムにおける出題から解答までの学習サイクルを, 図 3 に LECMIS での学習サイクルを示す.

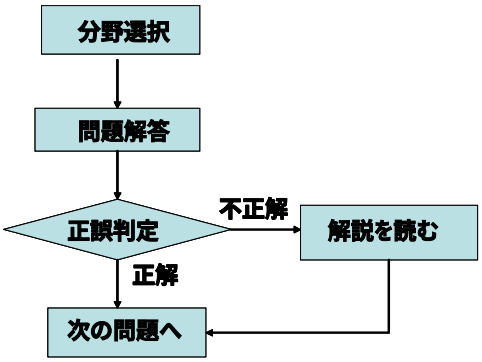


図 2. 従来の学習サイクル

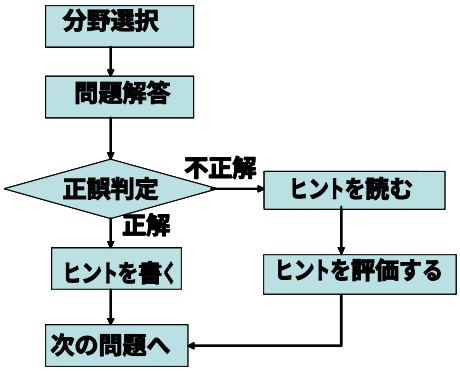


図 3. LECMIS での学習サイクル

どちらの場合も，ある問題分野に含まれる問題を一定数正解した場合，学習者はその分野を理解したものと判定し，この分野の学習を終了する.

従来の e ラーニングでは，出題と解答の後，正解の場合にはただちに次の問題へ，不正解の場合には解説の表示後に次の問題へと進む．一方， LECMIS では，正解・不正解での分岐までは従来の e ラーニングと同じであるが，その後にヒント作成・閲覧機能を追加した点が異なる．これにより，正解した学習者には，ヒント作成を通じた振り返りを促せる．他人へ説明するために自分の考えを明文化することは知識の再編成につながる[4]．また，ヒント作成の動機付けとして，ヒント閲覧回数や有用性評価値を表示するようにした．良い評価を得ることは，ヒントを作成した学習者の満足度と自信を高め，良質なヒントを作成しようという意欲に繋がる．また，共同体の一員として教材の改善に貢献していることも実感できる.

一方，不正解だった学習者は，学習者の目線で作成されたヒントを参照することで理解が進む．これらを通じて，学習者間で相互に助言し合うことで他の学習者の存在を意識でき，孤独感から開放される.

LECMIS の具体的な動作は次のようになる．まず問題が出題される(図 4). 問題に対して正解の場合には，ヒント作成画面が表示され，ヒントのタイトル，ヒントの本文を入力し，ヒントに適した画像が存在する場合には，画像を選択することで，ヒントを作成することができる(図 5). 提示する画像は新たに生成されるわけではなく，あらかじめその分野用に用意してあるものが表示される．不正解の場合には，ヒント一覧が表示され，ここでは，タイトル，評価値，閲覧回数のみが見られる(図 6). この時点で評価値と閲覧回数を表示している理由は，ヒントの価値を学習者に伝え，適切なヒントを発見しやすくするためである．また，これは前述の通り，ヒント作成者が良いヒントを作成しようとする動機付けの効果も狙っている.

ヒント一覧は，過去の学習者による有用性評価値の合計点の降順に表示される．新しいヒントは，一番下に追加される. 見たいヒントをクリックするとヒント本文が表示され, ヒントを見た学習者は, ヒントの有用性を 2 値で評価できる(図 7)．なお，閲覧のみで有用性の評価を省略することもできる. このため，閲覧回数は弱い有用性評価指標としてみることができる.

このような出題，ヒント作成，評価，表示順序変更，というサイクルによって，3 節で述べた公開→

連鎖→選別→評価という一連の流れが実現される.



図 4. 問題出題画面

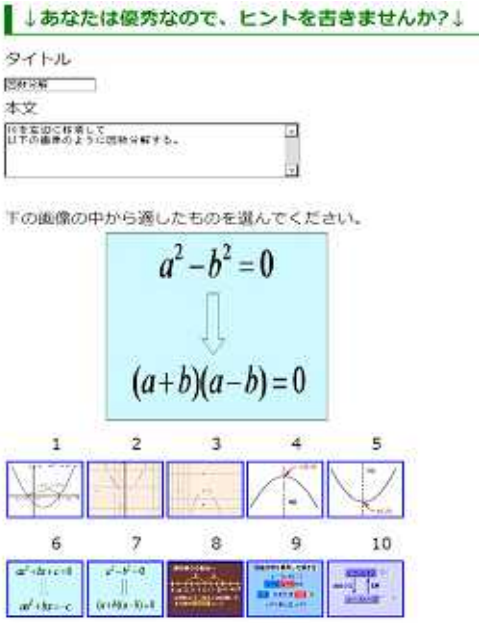


図 5. ヒント作成画面



図 6. ヒント表示前

クリック後

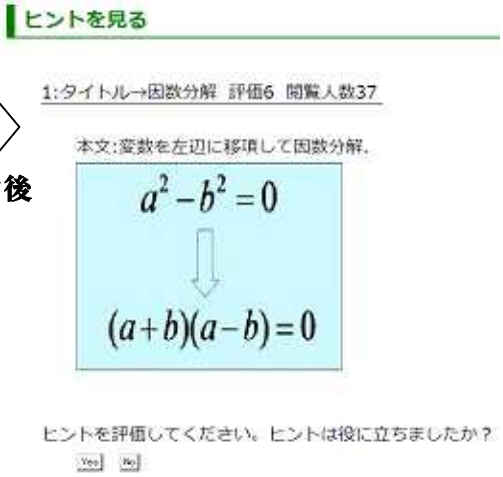


図 7 .ヒント表示後

なお，LECMIS における問題分野の構成に関しては，以下のようにした．1 つの問題分野内には，図 8 に示すように難易度が同じで数値等のパラメータのみが異なるものと，解法手順の複雑さが異なるものがあり，問題は図 9 のような順序で出題される．図 9 内で，不正解の場合の遷移は破線で，正解した場合の遷移は実線で示されている．例えば，問 1 に不正解した学習者はパラメータのみが異なる問 2 へと進む．一方，問 1 に正解した場合は，次の難易度の問題である問 4 へと進む．この遷移順により，難易度の低い問題から高い問題へと解答するように構成した．

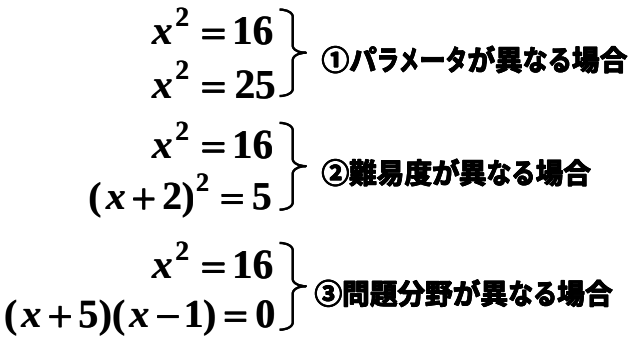


図 8. 難易度設定の例：2 次方程式

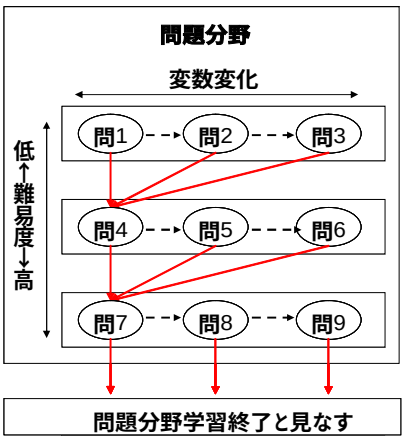


図 9.問題分野の学習判定図

LECMIS の実装に際しては, PHP, JavaScript, MySQL を用いている．動作は, Internet Explorer, Mozilla Firefox，Opera で確認している．

4 評価実験

LECMIS よる集合知形成の可能性および教材作成付加減少の検証と，モチベーション維持の検証に関する実験をそれぞれ行った．検証したい項目がことなるため，実験は 2 回に分けておこなった．

4.1 実験 1 －集合知の構築－

本実験の目的は，ヒント作成動機のある学習者が存在する状況を設定して，本システムの狙いである集合知構築サイクルが実際に発生することを確認することである. 被験者 5 名(大学生)に，LECMIS を使用して中学 3 年生レベルの数学の問題 8～24 問を解きながら, ヒント作成機能, ヒント閲覧機能, ヒント評価機能を使用してもらった．被験者に e ラーニングの利用経験に関して尋ねたところ，利用したことがあると答えた人は 1 人であった(未利用 4 人). 被験者には，ヒント作成同期のある学習者として振舞うよう，できる限りヒントを作成するよう要請した．実験での学習時間は，平均 34 分であった(最低 17 分，最高 69 分).

今回は，学習分野を中学数学とした．これは，多くの場合に，問題に対して解が一つであり，正解・不正解がシステムにとって判定可能であることと，それにもかかわらず解法が複数存在する，またはグラフなどの図を用いた説明が非常に有効な場合があるなど，学習者が様々な工夫をこらす余地が大きいと考えたためである.

その結果，集合知構築に必要なサイクルである，ヒント作成(28 回)，閲覧(18 回)，評価(6 回)，表示順序変更(3 回)が行われた．このことから，問題に対する十分な知識と，ヒント作成動機を持つ学習者が一定数以上存在する場合には, 想定された集合知構築サイクルが機能する可能性が示された. また，実験後にヒント表示の有用性を 4 点満点で評価させたところ，ヒント総数の増加に伴って評価点が増加しており(表 1)，ヒント作成者が継続的に存在すればコンテンツの満足度を高められる可能性が示さ

れた．なお，表 1 において，被験者 S4 は全問正解でヒントを利用しなかったため N/A とした．

被験者	S1	S2	S3	S4	S5
ヒント総数	2	10	16	19	27
評価(Max4)	0	2	3	N/A	4

表 1. ヒント総数と被験者のヒントに対しての評価

さらに，ヒント総数の増加(2.8 個/問)とともに有用性の評価が高まったことから，学習者に教材作成の一部を委ねても有用なヒントが作成され，コンテンツ作成担当者の負荷を軽減できる可能性が示された．

なお，実験 1 ではヒント作成機能に対する不満が非常に高かったため，被験者 S1～S5 に対して，ヒントタイトルの文字制限削除，ヒント本文入力用テキストエリアサイズの拡大，ヒント画像選択方法の簡略化を行った改良版による再評価を行った．その結果，満足度の平均が 0.2 点から 0.8 点(1 点満点)へと上昇した．

4.2 実験 2 –モチベーション維持–

他の学習者の作成したヒントの閲覧によるモチベーション維持の支援や，ヒント作成によるモチベーション維持の支援を検証するため，実験 1 とは別の被験者 6 人に対し，ヒント作成・閲覧機能の有無による学習継続時間を比較した．被験者にはヒント機能ありとヒント機能なしの両方の学習環境それぞれを，以下の条件のもとで使用してもらった．

(1) 30 分を上限として，自分の判断で学習を終了してよい．(共通)
(2) 3 問以上解くこと．(共通)
(3) ヒント作成は任意．(ヒント機能ありのシステム利用実験時)
(4) ヒント機能あり・なしのシステムの使用順序は被験者毎にランダムに決まる．

また，実験終了後に"どちらがよりモチベーションが維持されたか"を聞いた．

被験者が解いた問題総数は，ヒント機能を用いた場合は 13 問，ヒント機能を用いなかった場合は 15 問であった．解いた問題総数に関しては有意な差が見られなかったが，学習時間に関してヒント機能ありのコンテンツは，学習時間が平均 6 分 40 秒長かったことから(図 10)，ヒント機能を利用する時間が余分にかかったと考えられる．学習者が，学習コンテンツに多くの時間を費やすということは，自発的に様々なヒントを参照しているということであり，かつひとつの問題に対してヒント機能なしよりも学習時間が長いということから，より学習分野に対する理解が深まるのではないかと考えられる．また，すべての被験者がよりモチベーション維持に効果があると回答した．これらから，ヒント作成・閲覧機能は，従来環境に比べて，学習意欲を高め，より長い時間を学習に費やすことに寄与している可能性が示唆された．また，ヒント機能ありの実験時に作成されたヒント総数は，ヒント作成は任意としたにもかかわらず 6 名合計で 33 個であり，自発的ヒント作成者の存在を仮定しうることが確認された．

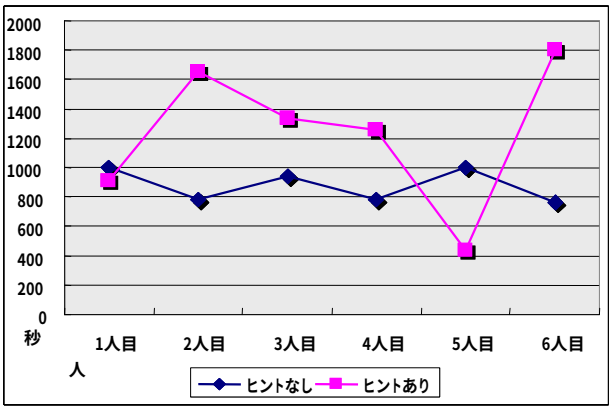


図 10.ヒント機能の有無による学習時間の比較(秒)

5 考察

被験者集団　今回の評価実験では，大学生を対象に，中学生程度の問題を解かせている．より実用的な有効性を確認するためには，学習者の分野知識と学習分野の難易度をそろえる必要がある．大学生と比較して，中学生はヒント作成が困難であるおそれもあり，この点も検証する必要がある．なお，一般的な協調学習では生徒同士が教えあうことが多いことが知られており，LECMIS でも同様に適切なヒント文章を書けるかどうかは検証の必要がある．

学習分野　今回は，評価時の学習分野として中学数学を選択した．ヒントの書きやすい分野として，他にも地理や理科の生物分野などが考えられる．これらの科目では解法そのものよりも正解を思い出させるような直接的なヒントも多くなると思われる．こうした相違点がヒント作成行為の変化として現れるのかどうかは未検討である．学習分野を増やし，影響を検討する必要がある．

ヒント作成動機　次に，学習者がヒントを作成する動機に関して考える．多くの場合，自分の考え方を他人に教えたいといった理由でヒントを作成することが考えられる．このため，数多くヒントを集めるためには，他人に「教えたい」と思わせるための動機付けが有効であろう．LECMIS では，教える行為としてヒント作成があるが，その場合は，より良いヒントを作成しようという意欲の喚起の仕組みが必要である．このため，LECMIS では，有用なコンテンツへの投票機能を導入し，評価値によってヒント閲覧者からヒント作成者への賞賛を伝えるようにした．

また，実験 1 終了後のアンケートで「どのような機能があればもっとヒントを書こうと思いましたか」とたずねたところ，”ヒントを書くことによってポイントがもらえる”といった意見が多く寄せられた．現在，ヒントを書く行為そのものに対しての報酬は設けていないが，今後何らかの形で導入を試みる予定である．その際は，利益を目的とした悪用を避けなければならない．金銭性を持たず，ヒント作成者の意欲を高める報酬であることが望ましい．さらに，成績評価に反映させることも考えられる．これは，単位のためだけに受講しているような学習動機の弱い学生への動機付けとなる可能性がある．

WBT での成績可視化の違い　WBT においても，自己や他者成績を可視化することで，自分の成績と他人の成績を見比べたり，競ったりすることができる．これらの機能によっても，共に学ぶ他者との関係性を意識することができると考えられるが，LECMIS では他者の評価が直接表示され，またヒントという形で他者の学習済み知識が自分の学習に直接関与する．これらによって，より身近に他者との関係性を感じられると考えている．

他者存在の実感　他者へのアウェアネスを利用した教育用 SNS としては，iKnow! (http://www.iknow.co.jp/)があげられる．iKnow! は語学を学ぶ人のための，パーソナル学習アプリケーションを搭載した SNS である．サイト上には，モチベーション維持を支援するさまざまな工夫や，コミュニティ機能が存在する．

メンバ非固定の協調学習　従来の協調学習や CSCL では，議論するメンバはあらかじめ固定である．LECMIS では，ヒント作成者やヒント評価者の参加が流動的である点が協調学習とは異なっている．評価の高いヒントは誰でも見られるので，CSCL で発言が少ないグループに入れられてしまい，知識が吸収できない，などの問題は生じない．なお，LECMIS では議論過程は存在しないため，CSCL が期待する役割の学習などは目的としていない[5][6]．この点がヒント作成動機に関与するかどうかは今回未検討である．実際には，実験時の被験者集団は互いに既知であり，何らかのヒント作成に関する役割意識が働いた可能性はある．実世界で互いに未知の集団でも同様の結果が得られるかについては，今後検討したい．

コンテンツ作成権限　現システムでは，学習者は解答理解のためのヒント作成するのみである．しかし，問題作成や解答作成へも同様のアプローチを適用可能である．ただ，問題や解答の作成では，学習者はヒント作成よりも高度な理解が必要となる．そのため，現時点のシステムでは比較的容易に作成できるヒントのみを対象としている．コンテンツ作成権限の委譲は，今後検討する．また，将来的にヒント以外にも拡充する場合において，ヒントを含めたコンテンツの客観的正しさ保証の仕組みも必要である．現在は，ヒントの客観的正しさを保障するために，ヒント閲覧者による評価を用いている．今後，問題作成を学習者に委ねることを想定した場合にも，やはり問題解答者による評価といったものを導入することで，客観的正しさを保障できる仕組みにできないか検討する予定である．

6.まとめ

集合知を利用した e ラーニングコンテンツ作成・提供環境を提案した．評価実験 I において，ヒン

ト作成者の存在を前提として集合知構築サイクルが発生することを確認した．また，評価実験 II において，本研究の目的としてあげた LECMIS の利用による学習者のモチベーション維持支援の実現可能性，および教材作成負荷の軽減の実現可能性を示した．今後は，ヒント作成のモチベーション支援機能の向上，実運用での有効性評価，対象年齢による違いの調査，科目による適/不適の検証，コンテンツ作成権限の拡大などについても検討する予定である．

最後に，LECMIS 運用に協力をしてくださる協力校を募集しています．

謝辞

本プロジェクトは，平成 17 年度・文部科学省・科学技術振興調整費・新興分野人材養成の補助による．
The work is being supported by the Special Coordination Funds for Promoting Science and Technology, Ministry of Education, Culture,Sports, Science and Technology Japan.

参考文献

[1] 土橋勇哉,塚原渉,寺田達也,品川徳秀,中川正樹,集合知を用いた e ラーニングコンテンツの作成,第 11 回 WI2 研究会研究報告,pp.51-52，2008 年 3 月
[2] 経済産業省商務情報政策局情報処理振興課 (編), “e ラーニング白書 2007/2008”, 東京電機大学出版, 2007 年 8 月.
[3] 岡本敏雄, 小松秀圀, 香山瑞恵 (編著), “e ラーニングの理論と実際“, 丸善, 2004 年 11 月.
[4] 島津秀雄, 小池晋一, “ナレッジマネジメント KM 再考:WEB2.0 時代のナレッジマネジメント”, 情報処理学会誌 vol.47 No.7 通巻 497 号, pp. 768-774, 2006 年 7 月
[5] Scardamalia, M., & Bereiter, C., “Computer support for knowledge – building communities,” in Koschmann, (ed), CSCL: Theory and practice of an emerging practice, Mahwah, N.J.: Laurence Erlbaum Associates, Inc., 249-268, 1996.
[6] 垂水浩幸, “グループウェアとその応用”, 共立出版 2000.
[7] 香山瑞恵, “協調学習と協調メモリ” in 岡本, 香山(編)“人工知能と教育工学” 第 11 章, pp. 266-307, オーム社 ,2008.