

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007 年度～2008 年度
 課題番号：19500821
 研究課題名 (和文) Web 教材のナビゲーション・アルゴリズムと学習プロセスの評価法の研究
 研究課題名 (英文) Evaluation Methods for Navigation Algorithm and Learning Process on e-Learning

研究代表者
 竹谷 誠
 拓殖大学・工学部・教授
 研究者番号：90197343

研究成果の概要：

学習者が単独の知識や技術で解決できないような複雑な問題に対して、学習者の誤理解や理解不足を修正する方法を提案しその有効性を確認した。また、学習順序を示す系列がどのような学習戦略に基づいているのかを推定するためにファジィ意思決定の概念を導入した学習戦略ファジィ推定法を提案しその有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,200,000	0	2,200,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	390,000	3,890,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：eラーニング

1. 研究開始当初の背景

学習者が単独の知識や技術で解決できないような複雑な問題に対して、複数の知識や技術を総合的に活用し解決するような総合能力の育成は非常に重要である。そこで、このような総合能力の育成には、その問題をどのようなプロセスで解決するのかという問題解決プロセスの測定・評価が必要である。その方法の一つとして、問題解決プロセスを有向グラフによって表現するロジカルフローグラフを利用したロジカルフローテスト分析法を先に提案した。これにより学習者の問題プロセスの評価が可能になっていたが、評価後の学習者の誤理

解や理解不足を正しい方向に導くことが課題となっていた。

また、先に、教材構造グラフに基づいて作成した学習順序を示す系列がどのような学習戦略に基づいているのかを推定する学習戦略推定法を提案した。この学習戦略推定法では、学習者の系列の学習戦略に関するパラメータとして、ファジィ理論の概念のひとつである帰属度関数を導入していた。しかし、推定を行なう際に、学習戦略自体については帰属度関数を導入しておらず、また、系列は単一戦略に基づいて作成しているという前提のもとに推定を行なっていた。このため、学習戦略自体への帰属度関数

の導入、系列に基づく戦略推定の改良が課題となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、ロジカルフローグラフを用いて、学習者の誤理解や理解不足（以下バグと呼ぶ）を修正する方法を提案する。また、学習戦略を推定する際、学習戦略自体に帰属度関数の考え方の導入を行ない、系列が複数の戦略に基づいて作成されている場合にはその推定を行なえる方法を提案する。

3. 研究の方法

学習者の誤理解や理解不足を修正する方法として、3種類の修正法を提案した。これらは、ロジカルパスに基づくバグ修正アルゴリズム、重要度順に修正するバグ修正アルゴリズム、低レベル順に修正するバグ修正アルゴリズムである。本学機械システム工学科の授業において適用実験を行ない、3種類の修正法を使い分けることによって、それぞれの修正法が有効に活用できる事を確認した。学習戦略の推定方法の改良では、ファジィ意思決定の概念を導入した学習戦略ファジィ推定法を新たに提案した。これにより課題の解決を行なうことができ、適用実験によって、その有効性の確認を行なうことができた。

4. 研究成果

(1) ロジカルフローグラフ

頭の中の概念や考え、知識の内容を他人に伝えるときに、何らかの方法でそれを図式化し相手に提示することは大変有効な手段である。理解度評価の分野においても、学習者が学習内容をどのように理解しているかといった測定や、教授者と学習者間でどのように知識の共有がなされているかを測定する必要性からも、概念や考えをグラフによって表現する方法がとられている。本研究においても、論理的な問題を解決するプロセスを表現するためにロジカルフローグラフと呼ばれる有向グラフを用いる。ロジカルフローグラフは、複数の学習項目間の順序関係を有向枝で表現したものである。図1は、「ISM法」を学習するときの学習項目間の順序関係をロジカルフローグラフで表わした例である。

(2) バグ修正アルゴリズム

学習者が学習内容をどの程度理解しているのかを検査するためにロジカルフローグラフを描かせて、教授者が描いたロジカルフローグラフと比較して評価する。これをロジカルフローテストという。学習者に誤理解や

理解不足が現れるのは当然で、こういう場合、教授者と学習者のロジカルフローグラフに

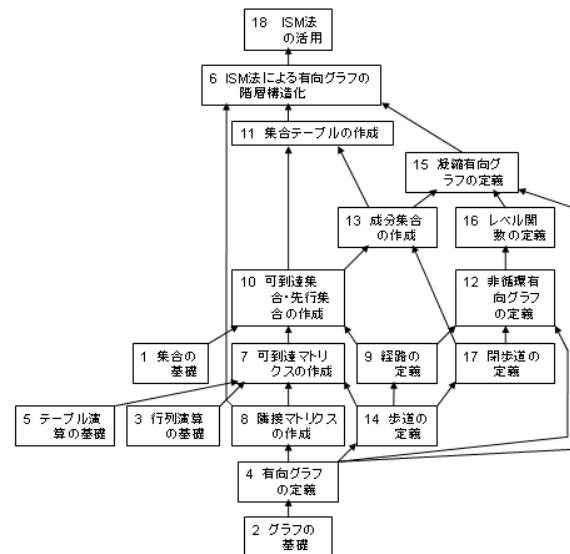


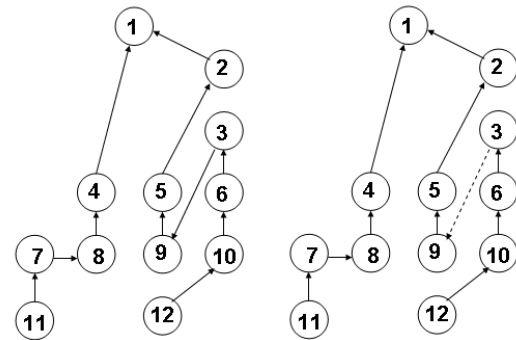
図1 ロジカルフローグラフの例

は相違がある。この相違を修正して指導する方法論をバグ修正アルゴリズムという。バグ修正アルゴリズムとして、3種類を提案した。これらは、ロジカルパスに基づくバグ修正アルゴリズム、重要度順に修正するバグ修正アルゴリズム、低レベル順に修正するバグ修正アルゴリズムである。ロジカルフローグラフに存在する始点と終点を結ぶ経路をロジカルパスという。図1において2→4→8→6→18はロジカルパスの1つである。ロジカルパスに基づくバグ修正アルゴリズムでは、教授者のロジカルパスに最も類似している学習者のロジカルパスを優先的に修正指導していくという手順の修正である。

重要度順に修正するバグ修正アルゴリズムでは、学習者がどの順序関係（有向枝）に重点をおいてロジカルフローグラフを構成しているのか、また、ロジカルフローグラフの中で、ある順序関係が構造上どの程度の重要性があると認識されるかという視点から修正指導の手順を決める方法である。重要度とは、ある順序関係が、他のいくつかの順序関係に影響を与えるかの影響度合の強さとして数値化したものである。

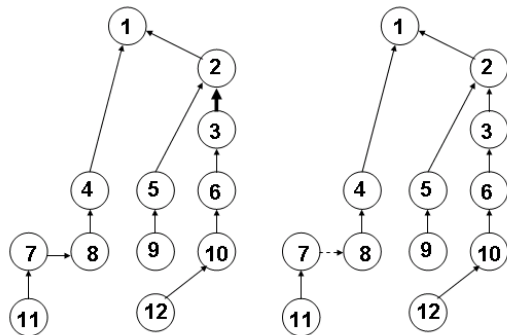
低レベル順に修正するバグ修正アルゴリズムでは、ロジカルフローグラフの下位の部分のある誤りから順に修正を行なっていく。始めの部分で躓いてしまうと良くないのでその部分から順に修正指導していくという方法である。これらの3種類の方法には、それぞれ特徴があるので、指導の場面で適切に使い分け

ることによって有効に使用できることを実験により確認した。



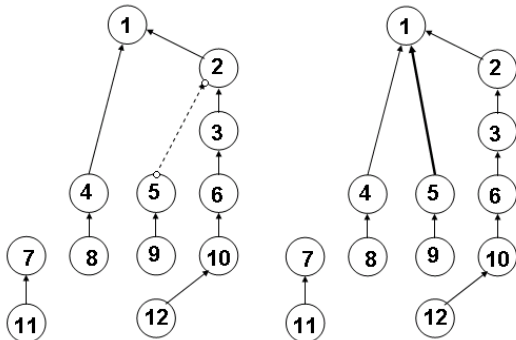
学習者のロジカルフローグラフ

Step 1



Step 2

Step 3

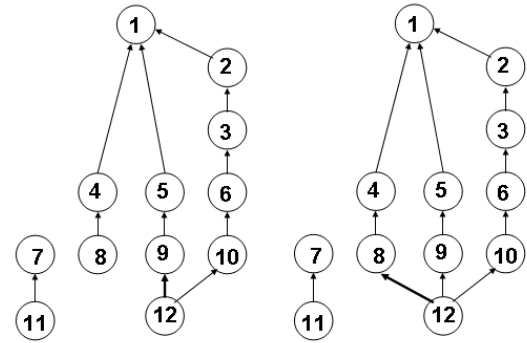


Step 4

Step 5

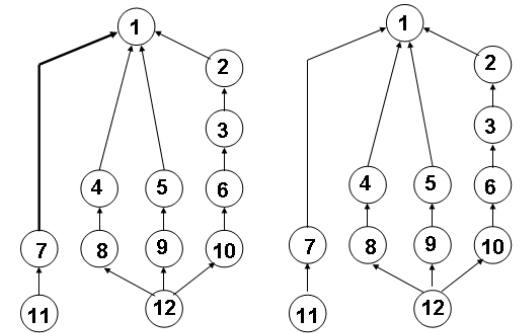
図2 ロジカルフローグラフの修正手順(1)

重要度順に修正するバグ修正アルゴリズムの例を図2と図3に示す。図2の左側は、学習者の描いたロジカルフローグラフであり、図3の右側は教授者の描いたロジカルフローグラフである。この形のロジカルフローグラフの場合まず最初の Step1 で、 $3 \rightarrow 9$ の枝を削除する。Step2 で $3 \rightarrow 2$ の枝を追加、Step3



Step 6

Step 7



Step 8

教授者のロジカルフローグラフ

図3 ロジカルフローグラフの修正手順(2)

で $7 \rightarrow 8$ の枝を削除、Step4 で $5 \rightarrow 2$ の枝を削除、Step5 で $5 \rightarrow 1$ の枝を追加、Step6 で $12 \rightarrow 9$ の枝を追加、Step7 で $12 \rightarrow 8$ の枝を追加、Step8 で $7 \rightarrow 1$ の枝を追加、という手順で修正を行なう。

(3) 学習戦略ファジィ推定法

授業の組み立てを行なう場合、学習させるための戦略、すなわち学習戦略を決めた上で課題の学習順序(学習課題系列、あるいは単に系列と呼ぶ)を決める必要がある。また、逆に、作成した系列がどのような学習戦略であったのかを推定し、想定した学習戦略通りであったか、あるいはどの程度差異があったかを考察することも重要である。学習課題間の順序関係を有向枝に対応させ教材をグラフ構造で表わしたものを教材構造グラフという。この教材構造グラフに基づいて、学習戦略を選択し学習課題の系列を作成する方法論の1つに戦略的課題系列化(STS: Strategic Task Sequencing)法がある。先に、STS法を応用し、与えられた系列がどのような学習戦略に基づいて作成されたものであるのか

を、学習戦略を表わすパラメータの帰属度関数により推定する方法論として学習戦略推定 (ESTS: Estimation method for Strategy of a Task Sequence) 法を提案した。

しかし、ESTS 法には、以下の2つの課題があった。第1点は、ESTS 法では学習戦略として系列の学習戦略に関する帰属度関数を導入しているにもかかわらず、各学習戦略の区間内における帰属度を同等に扱い、推定を行なっていたことである。そのため、学習戦略の境界が推定結果となった場合などでは、その境界を含む両方の学習戦略が推定結果となる。しかし、学習戦略の境界ではどちらの学習戦略の性質にも帰属しているとは言い難く、推定結果として不適切であった。この問題を解決するため、本研究では、ファジィ理論の概念を導入した学習戦略のファジィ推定 (FSTS) 法を提案した。この方法は、与えられた系列に対する帰属度関数をファジィ制約、学習戦略の帰属度関数をファジィ目標として記述し、推定問題をファジィ意思決定問題として捉えることによって、境界で発生する問題を解決した。

第2点は、ESTS 法では学習順序の推定の際、単一の学習戦略に基づいて学習課題を選択しているという前提で学習戦略の推定を行なっていたことである。しかし、実際の学習環境では学習途中において学習方針の転換など、学習戦略の変更が起こる。このような場合において、先行研究の推定法では適切な推定結果が得られない。例えば、学習者が学習の序盤から中盤において基礎学習を重ね、中盤から終盤においては既学習課題の応用を考慮して学習を進めた場合でも、ESTS 法では単一の学習戦略に基づき学習を進めたと判断されてしまっていた。そこで、帰属度関数値に閾値を導入し、系列から得られた帰属度関数値が閾値以下であるとき、複数の学習戦略によって系列が作成されたものと判断できるようにした。また、実験を通して提案した方法の妥当性を確認した。

図4は、基礎的な学習戦略の種類を示す。 α 軸と β 軸で、 $|\alpha|+|\beta|=1$ という制約条件のもとで、図4に示す基礎性、脈絡性、応用性、非脈絡性という学習戦略を定義している。この学習戦略の定義に従って、まず帰属度関数 $M(\mu)$ を図5に示すように定義した。しかし、図5では、学習戦略の境界である $\mu = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$ において、 $M(\mu)=0$ になり学習戦略の推定ができない。そこで、図6に示すように、4つ学習戦略の中間に、

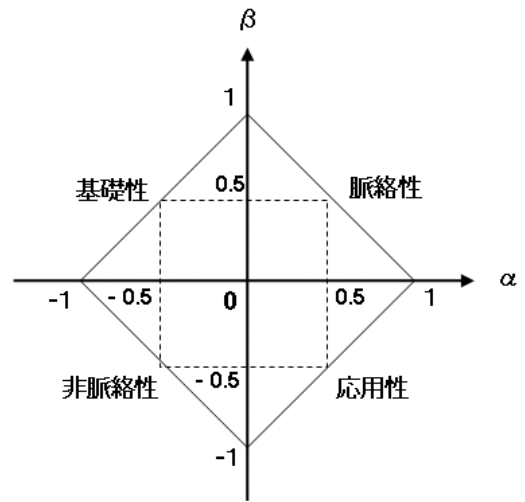


図4 学習戦略の種類

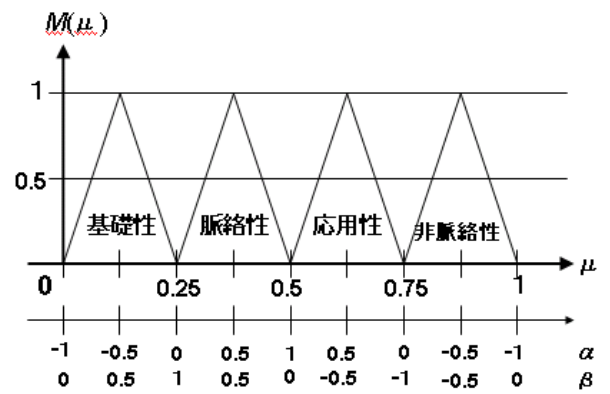


図5 学習戦略の帰属度関数

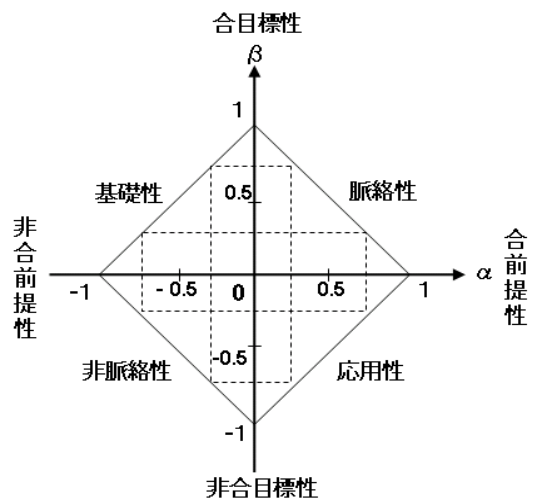


図6 学習戦略の種類の追加

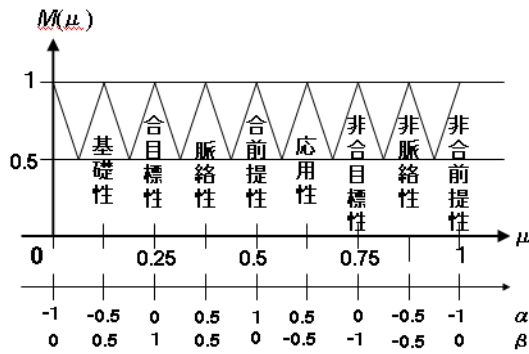


図7 学習戦略追加の帰属度関数

合前提性、合目標性、非合前提性、非合目標性の4つの学習戦略を設ける。これによって、学習戦略の帰属度関数を図7のように定義する。この結果、 $\mu = 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1$ において $M(\mu) = 1$ になり学習戦略の推定ができないという事はなくなる。

枝を辿って、課題aから課題bへ到達可能であるとき、aをbの前提課題、bをaの目標課題という。脈絡性とは、前提課題と目標課題の両方との連続性を重視して優先的に課題を選択し学習を進める戦略である。脈絡性の典型的な場合は、 $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$ のときである。基礎性とは、教材構造グラフ全体における前提課題を選択しながら学習を進める戦略である。基礎性の典型的な場合は、 $\alpha = -0.5, \beta = 0.5$ のときである。非脈絡性とは、前提課題と目標課題との連続性を重視しない課題を優先的に選択し学習を進める戦略である。非脈絡性の典型的な場合は、 $\alpha = -0.5, \beta = -0.5$ のときである。応用性とは、多くの前提課題と関連がある課題から優先的に学習を進める戦略である。応用性の典型的な場合は、 $\alpha = 0.5, \beta = -0.5$ のときである。合前提性は、脈絡性と応用性との中間的な学習戦略である。合前提性の典型的な場合は、 $\alpha = 1, \beta = 0$ のときである。合目標性は、脈絡性と基礎性との中間的な学習戦略である。合目標性の典型的な場合は、 $\alpha = 0, \beta = 1$ のときである。非合前提性は、基礎性と非脈絡性の中間的な学習戦略である。非合前提性の典型的な場合は、 $\alpha = -1, \beta = 0$ のときである。非合目標性は、非脈絡性と応用性との中間的な学習戦略である。非合目標性の典型的な場合は、 $\alpha = 0, \beta = -1$ のときである。

(4) 成果のまとめ

ロジカルフローグラフを用いて、学習者の誤理解や理解不足を修正する方法を提案し、実験による検証を通してその方法を確立することができた。また、ファジイ意思決定の概念を導入した学習戦略の推定法を提案し、実験によってその有効性を確認し複数の戦略を検出する方法を確立することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- [1] 竹谷誠, 安木伸明, 富田聡: “ロジカルフローグラフ法におけるグラフの類似度係数の特性解析”, 行動計量学論文誌, Vol.34(66) pp.49-66 (2007)., 査読有
- [2] 竹谷誠, 船橋芳雄, 中内辰哉: “戦略的課題系列化法にのっとった課題系列の戦略推定法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J90-D, No.6, pp.1509-1520 (2007), 査読有
- [3] I. Kitagaki, A. Hikita, M. Takeya, Y. Fujihara, Development of an Algorithm for Groupware Modeling for a Collaborative e-learning, International Journal of Computers, Communications, and Control, Vol.2, No.1, 66-73 (2007), 査読有
- [4] 菅野俊郎, 竹谷誠, “教育評価に利用する学習者間の関係構造分析法”, 日本教育工学会論文誌, 30, 161-164 (2007), 査読有
- [5] 富田聡, 竹谷誠: “学習指導に役立てる学習者の理解構造のバグ修正アルゴリズム” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.j92-D, No.5(2009), 査読有
- [6] 中内辰哉, 竹谷誠: “学習履歴情報とファジイ意思決定に基づく学習戦略推定法”, 日本知能情報ファジイ学会論文誌, (採録決定), 査読有

[学会発表] (計 18 件)

国際学会発表

- [1] Makoto Takeya, Masanao Kobayashi, Tatsuya Nakauchi, Ikuo Kitagaki and Keizo Nagaoka: “A navigation method dependent on individual e-learning strategies”, IADIS International Conference e-Learning 2007, e-Learning 2007 Volume 2, pp.17-21 (2007).
- [2] Makoto Takeya and Satoshi Tomita: “A Coaching Algorithm for Bug Modification on Learner’s Concept Map”, CMC International Conference Book, pp.1-4 (2008).
- [3] Satoshi Tomita and Makoto Takeya:

“The modification algorithm for bugs in learner’s structural knowledge to make use coaching”, SITE International Conference Book, pp.1281-1286(2008).

[4] Tatsuya Nakauchi and Makoto Takeya: ” A fuzzy decision-making of the individual learning strategies based on their e-learning sequence records ”, SITE International Conference Book , pp. 1233-1239 (2008).

国内学会発表

[1] 富田聡, 磯野宏秋, 杉林俊雄, 竹谷誠: “学習指導に役立てる学習者の理解構造のバグ修正アルゴリズム(Ⅲ)新提案のアルゴリズムと既存のアルゴリズムの比較考察”, 電子情報通信学会技術研究報告, ET2007-19 pp. 19-23(2007).

[2] 富田聡, 近藤秀文, 竹谷誠: “ロジカルフローテスト法から得られた学習者の理解構造の修正法”, 日本行動計量学第 35 回大会発表論文抄録集, pp. 149-152(2007).

[3] 中内辰哉, 竹谷誠: ” 学習順序情報に基づく学習戦略のファジィ推定法”, 電子情報通信学会技術研究報告(教育工学), ET2006-138, pp. 185-190 (2007).

[4] 中内辰哉, 近藤秀文, 竹谷誠: ” 学習者の学習履歴情報に基づく学習戦略のファジィ意思決定法”, 第 23 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, FA3.4, pp. 649-654(2007).

[5] 富田聡, 近藤秀文, 竹谷誠: “学習者の理解構造における誤理解の修正法”, 電子情報通信学会 2007 年ソサイエティ大会講演論文集, A-13-6 pp. 197(2007).

[6] 中内辰哉, 近藤秀文, 竹谷誠: ” 学習順序情報に基づく学習戦略のファジィ推定法(II) 学習戦略の変遷過程推定アルゴリズム”, 電子情報通信学会技術研究報告(教育工学), ET2007-18, pp. 13-18 (2007).

[7] 中内辰哉, 近藤秀文, 竹谷誠: ” 学習戦略のファジィ推定法”, 2007 ソサイエティ大会講演論文集(基礎・境界講演論文集), A-13-7, pp. 198(2007).

[8] 中内辰哉, 新川和樹, 中嶋信彰, 竹谷誠: “文章組替え問題を用いた学習者の文章構成力の測定評価法”, 日本教育工学会第 24 回全国大会講演論文集, 1a-A206-05, pp. 217-218 (2008).

[9] 中内辰哉, 中嶋信彰, 竹谷誠: “順位相関係数を用いた文章構成力の測定評価法”, 電子情報通信学会技術研究報告(教育工学), ET2008-69, pp. 65-70 (2008).

[10] 富田聡, 植田光, 中川麻衣子, 小倉智幸, 木原幸一郎, 磯野宏秋, 杉林俊雄, 近藤秀文, 竹谷誠: “機械設計授業におけるバグ修正アルゴリズムの有効性の検証”, 電子情報

通信学会 2008 年総合大会講演論文集, D-15-21 pp. 215(2008).

[11] 富田聡, 近藤秀文, 竹谷誠: “学習者の理解構造におけるバグの修正指導法の提案と評価”, 日本教育工学会第 24 回大会講演論文集, 2a-A206-06, pp. 507-508(2008).

[12] 神保智広, 富田聡, 近藤秀文, 竹谷誠: “ロジカルフローグラフを用いたグループ学習の学習効果測定と評価”, 日本教育工学会第 24 回大会, 2a-A206-07, pp. 509-510(2008).

[13] 富田聡, 神保智広, 木原幸一郎, 杉林俊雄, 竹谷誠: “機械設計授業におけるグループ学習の学習効果の検証” 電子情報通信学会技術研究報告, ET2008-26, pp23-28(2008).

[14] 神保智広, 富田聡, 近藤秀文, 竹谷誠: “ロジカルフローグラフを用いたグループ学習の学習効果と評価” 電子情報通信学会 2009 年総合大会 (2009 年 3 月発表予定) .

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹谷 誠 (TAKEYA MAKOTO)

拓殖大学・工学部・教授

研究者番号: 9 0 1 9 7 3 4 3

(2) 研究分担者

近藤秀文

拓殖大学・工学部・八王子学務非常勤講師

研究者番号: 3 0 2 8 6 9 3 4

(3) 連携研究者

なし