

平成21年 4月30日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19300275

研究課題名（和文） 学習履歴データによるラーニング・エージェントを搭載した知的LMSの開発

研究課題名（英文） Intelligent LMS with an agent that learns from log data

研究代表者

植野 真臣（UENO MAOMI）

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授

研究者番号：50262316

研究成果の概要：本研究では、学習履歴ログ・データベースから、コンテンツに関する教材知識を習得して、動機づけメッセージを自動生成するエージェントを搭載した知的 LMS を開発した。本システムの特徴は以下の通りである。1) エージェントが決定木モデルにより学習者モデルを自動生成する。2) エージェントが学習者モデルおよび学習者の現在の学習履歴データを用いて、学習者の最終状態を予測する。そのためにデータベースに蓄積されるデータ量の増加に伴い、生成される学習者モデルはより正確になる。3) エージェントは学習者の学習過程をデータベース中の優秀な成績を残した学習者の学習過程と比較、分析し、学習者に適応的なメッセージを生成する。システムを使用した講義と使用しなかった講義との比較で、システムの有効性が示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,300,000	3,690,000	15,990,000
2008年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
年度			
年度			
年度			
総計	16,100,000	4,830,000	20,930,000

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，適応型教育システム，エージェント，学習履歴，データ・マイニング，決定木

1. 研究開始当初の背景

近年、膨大な学習履歴データを利用した「e-ラーニングにおけるデータ・マイニング」に関する研究が近年、国内外で盛んに行われるようになってきた。申請者も長年これらの研究を継続し、1) 詳細な学習履歴データベースの設計と開発、2) 膨大なデータベースへの様々なデータ・マイニング手法、テキスト・マイニング手法を新たに提案、開発を行い、これらの機能を有する ILMS (Intelligent Learning Management System) “SAMURAI” (図1) を開発してきた。これらの手法は、学習

者の学習状態の要約・可視化や異常学習プロセスの発見、掲示板データのテキスト・マイニングによる議論内容のキーワード抽出と表示、データ解析手法を用いた e-ラーニング・コンテンツの特性分析等の研究であり、大量の学習履歴データから個人指導やコンテンツ改善に関する有用情報の抽出に有用である。これらは、実際に、大学での e-ラーニング授業などで活用され、その有用性が実践を通して評価されている。しかし、これまでの研究における履歴データの有効利用に関する研究は、大量の学習履歴データを分析し、

その結果を直接、静的 (static) な情報として教師や学習者へ提示するというものであり、教師や学習者が手法に熟知する必要性があった。一方、最先端の情報科学のビジネス応用分野では、機械学習 (マシンラーニング) 技術を中心としたマイニング技術を Web 上で得られる顧客の履歴データに手教師、商品推薦や顧客のニーズを推論し、適応的に Web ページを選択提示するような Web Intelligence システムが近年、注目されている。これらのシステムは、膨大な顧客の Web 閲覧履歴データや顧客が提供する情報を集積して集合知として、また個人に還元する、Web2.0 における知識循環型システムの典型例でもある。また、このように動的 (dynamic) に蓄積される履歴データにより機械学習技術によって学習を行っていくサービスプログラムを一般に “ラーニング・エージェント (Learning Agent)” と呼ぶ。本研究では、ラーニング・エージェント技術を eラーニングに適用し、膨大な学習履歴データを用いて学習者の様々な活動を動的に支援する方法の開発とそれらを搭載した LMS の開発を行った。

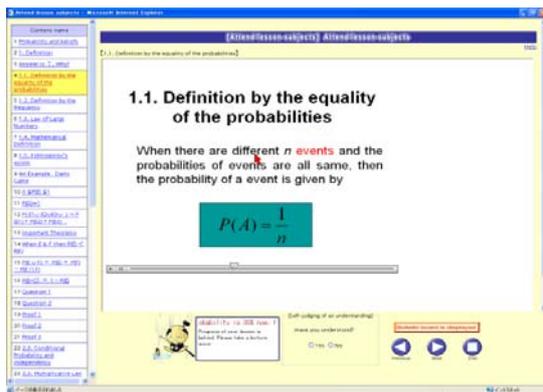


図 1 : LMS 「SAMURAI」

2. 研究の目的

本研究では、学習履歴データについて決定木学習を適用し、各学習者の途中学習プロセスから、将来の学習プロセスや結果を予測し、それらから学習者への適応的なアドバイスメッセージを生成し、エージェントにより逐次それらの情報を提示させるシステムの開発を目的とする。また、実際に大規模受講者の eラーニング授業で実施し、どの程度教師やメンターの負担を減少させたかなどの有効性を評価する。

3. 研究の方法

(1) LMS 「SAMURAI」

申請者は、「SAMURAI」と呼ばれる LMS を開発し、多くの eラーニング講義を提供してきた。LMS は、以下の機能から成る。

- コンテンツ提示システム (CPS) : 様々なコンテンツを統合し、Web ページに統合情報

を提示する。図 1 は、SAMURAI による典型的な eラーニング・コンテンツ提示を示している。コンテンツはメニュー・ボタンをクリックすることによりコンテンツ提示がされる。教師のナレーションも提示され、ナレーションと同期して、赤いポインタが自動的に移動する。コンテンツはテキスト、静止画、アニメーション、コンピュータグラフィックス、およびビデオクリップを提供する。さらに、レッスン中や完了後、学習者の理解度を評価するためにいくつかのテスト・アイテムを提供する。

- コンテンツ・データベース (CD) : 様々なメディア (テキスト, jpeg, mpeg など) から成る。教師は講義を準備作成し CD の中にコンテンツを保存する。
- 掲示板 (DB) : 学習者は DB でコンテンツについて質問をすることができる。また、学習者は、時々 DB を使用して、与えられた課題 (例えばレポート, プログラムソースなど) の学習成果を提出する。
- 学習履歴データベース (LHD) : LMS は学習者の学習過程をモニターし、LHD にログデータとしてそれらを格納する。記録データは、コンテンツ ID, 学習者 ID, 学習者が完了したトピック数, テスト・アイテム ID, DB への入力データ, 作業順序 ID (オペレーションが何をなされたか示す), 日付・時間 ID (オペレーションが開始された時間と日付), そして時間 ID (オペレーションを完了するのににかかった時間) から成る。システムは、このデータによって学習者の eラーニングでの振る舞いについて詳しく述べることができる。
- データ・マイニング・システム (DMS)

(2) 学習履歴データによる決定木を用いたエージェントの開発

① 学習者の最終状態の予測

本節の目的は、膨大な量の記録データにデータ・マイニング法を適用し、各学習者の最終状態を予測する学習者モデルを生成することである : 1) 不合格 (期末試験得点が 60 より下), 2) 放棄 (期末試験前に受講取消し), 3) 合格 (期末試験得点が 60 以上 ~ 80 未満), 4) 優秀 (期末試験得点が 80 以上)。そのため、提案するデータ・マイニング法である決定木は毎週各学習者の状態を反映する次の変数を使用する。

1. 学習者が学習したトピックの総数
2. 学習者が LMS にアクセスした回数
3. 学習者が各トピックを完了した平均コース数 (学習者が各トピックを繰り返した回数を意味する)
4. 各コースの平均学習時間 (いくつかの形式のコンテンツから成り, 90 分行われる)
5. 各トピックの理解度の平均 (各トピックに対応した質問に対するレスポンスによ

- って測定される)
- 各コース (90 分授業に対応する) の平均学習回数
 - 演習問題における回答書き直し平均
 - 掲示板への投稿
 - 各トピックの平均学習時間

全科目が 15 週で進行するため、15 の決定木が 15 週間の学習者の学習履歴データに対応して推定される。連続型変数を持っている変数は、予測効率を最大にするためにエントロピー関数を最小にする数に分類される。決定木学習アルゴリズムとして、計算コストが低く推定量が強健であると知られている、ID3 アルゴリズムを使用する。

プログラムソースは Java を使用して開発され、SAMURAI にインストールされた。決定木は常に最新の学習履歴を使用して推定される。したがって、学習者の最終状態を予測するための決定木構造は常に変化する。このアルゴリズムでは、常に全ての変数が使用される。1,344 人の学習者データから学習された決定木を、図 2 に示す。この木は 14 週の学習履歴データを使用して推定された。括弧中の 2 値は、推論が正確・不正確である場合の数を示している。例えば(408/18)は正確な推論の可能性が 408/426 であることを示している。このシステムでは、毎週の学習者状態に対応した決定木が常に構築されている。

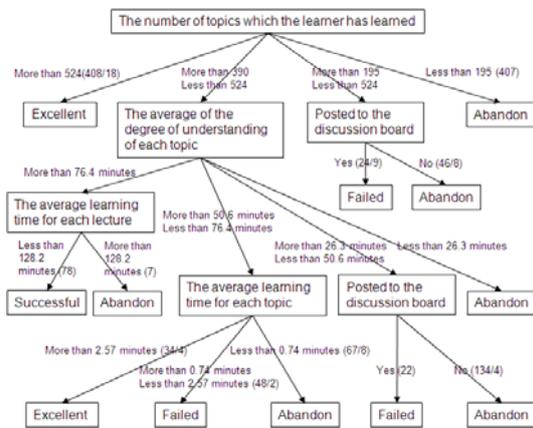


図 2：構築された決定木例

② 知的エージェント・システムの概要

知的エージェント・システムの主な目的は、以前に自動生成された学習者モデルを使用して、学習者へ最適なメッセージを提供することである。図 3 に示すように、エージェントは LMS 上に表示される。エージェントは、学習者モデルを使用して、学習者に適応的なメッセージを提供する。そして、エージェント・システムはさらに、図 4 に示すような、学習者の現在の状態に基づいた様々な行動を取る。学習者へのメッセージは以下のよう

に生成される：構築された決定木を使用して、システムは目標の学習者の将来の状態を予測する。予測された状態が「優秀」の場合、エージェントは「素晴らしい」、「絶えず最善を尽くしてください」「合格の可能性は XX% です」のようなメッセージを提供する。予測された状態が「優秀」でない場合、現在予測された状態ノードから最も接近しているものを求めて「優秀」ノードを探索する。例えば、図 2 中の決定木の一部で考えてみる(図 5 参照)。予測された状態が「不合格」の場合、最も近いノード「優秀」は図中の灰色のノードである。システムは、その最も近いノードは「優秀」と分かり、学習者の予測された状態を「優秀」に変更するオペレーションを決定する。この場合、「各トピックの平均学習時間」が検知される。システムは予測された将来の状態や、決定木によって推定された合格可能性を伴ったメッセージ、および表 1 のメッセージを供給する。



図 3：知的エージェント・システム(メッセージはフレーム中で移動して示される)



図 4：エージェントの様々な行動

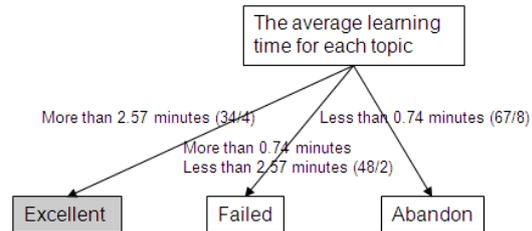


図 5：図 2 中の決定木の一部

表 1：検出された変数に対応したメッセージ

変数	メッセージ
学習者が学習したトピックの総数	1. 学習ペースが遅れています。もっとたくさんのコンテンツを学習してください。 2. 学習ペースが少し遅いですね。もう少しペースを上げて学習して

	みてください
学習者が LMS にアクセスした回数	3. あまり熱心に学習していないように見えます。もっとアクセス回数を増やしましょう。
学習者が各トピックを完了した平均コース数 (90 分授業に対応する)	4. これまでのコンテンツを忘れてしまいましたか？これまでのコンテンツをもう一度確認してみてください。
各コース (90 分授業に対応する)の平均学習時間	5. すごく早くコンテンツを終わらせてますね。もっと、各コンテンツに時間をかけて学習してください。
各トピックの理解度の平均 (コンテンツに対応した項目への正答率)	6. コンテンツは少し難しすぎましたか？もう一度最初からコンテンツを勉強しなおしてみましょう。 7. もし、コンテンツで分からないところがあれば、積極的に掲示板へ質問していきましょう。
各コース (90 分授業に対応する)の平均学習回数	8. コースへの取り組みに真実みを感じられませんか。もっとアクセスして、じっくり時間をかけて学習してください。
演習問題における回答書き直し平均	9. あなたの知識はまだきっちり定着していないように見られます。もう一度、最初から受講しなおしてみてください。
掲示板への投稿	10. 学習は学生間でこそ行われるべきものです。みんなでする学習はより意義が深まります。さあ、電子掲示板へアクセスしてあなたの意見や成果を投稿してみましょう。もちろん、質問でもいいですよ。
各トピックの平均学習時間	11. きっちり講義や演習を受けていますか？一つ一つのコンテンツもっと時間をかけて丁寧に取り組んでやりましょう。

③メッセージ生成アルゴリズム

図 6 は知的エージェント・システムでメッセージを生成するアルゴリズムを示している。アルゴリズムでは、最初にシステムは、学習者の将来の状態を予測する、そして、それが「優秀」なら補足的なメッセージを学習者に送る、そうでなければ、システムは派生ノードに「優秀」ノードがある先行節を探索する。予測状態ノードの先行節で、「優秀」を備えた派生ノードがあるノードを見つける場合、表 1 によるノード変数に対応するメッセージを生成する。ノード変数に対応するいくつかのメッセージがある場合、乱数を使用してメッセージを選択する。次に、システムは、ノードから「優秀」ノードまで経路を作り、ピックアップされたノードに対応するメッセージを生成する、ノード・セットをピックアップする。このアルゴリズムは Java を使用して、「SAMURAI」へインストールされる。このシステムは、学習者へ 2,048 パターンの適応するメッセージを作ることができる。したがって、多様な学習者状態にそれが適応して一致すると期待される。

```

Predict a learner's future status "Prof_status" from his/her learning histories data.
1. Let DIFF be a set of different explaining variables between the target learner and the past "Excellent" learners.
2. Let Prof_status be a predicted learner's future status node (1.Failed, 2.Abandon, 3.Successful, 4.Excellent)
3. Let Anz be the j-th previous node from the future status node (j=1: parent, j=2: grandparent, ..., j=number of the ancestor nodes: Root node).
4. Let Desc be the set of descendant nodes of the Anz.
Input domain: (time, learner's learning history data)
Output: complement messages
if "Excellent" ∈ Prof_status
then
return complement messages.
else
for (i=number of the ancestor nodes of the future status node) do
if "Excellent" ∈ Desc of Anz
then
Search the shortest path V from the Anz to "Excellent" node.
Append the nodes set except for "Excellent" node which the path V includes to the DIFF variables.
end if
end for
return the messages corresponding to the DIFF variables.
end if

```

図 6：メッセージ生成アルゴリズム

表 3：システムがある講義と無い講義の比較

	エージェント・システムあり	エージェント・システム無し
授業名	Information & Communication Technology	Information & Communication Technology
学生	学部生(3・4年)	学部生(3・4年)
学習場所	各学生の家	各学生の家
単位	2	2
学生数	74	92
期間	2003年4月10日-7月31日	2004年4月10日-7月31日
講義を放棄した学生数	14(18.9%)	49(53.2%)
最終試験得点	平均: 93.26 分散: 43.2 (n=60)	平均: 78.74 分散: 215.24 (n=43)
P-値	1.33E-07	
合計学習時間	平均: 1045.13 分散: 71721.8(n=60)	平均: 801.88 分散: 65426.9(n=43)
P-値	1.25E-05	
レッスンの平均進捗度	平均: 0.93 分散: 0.64(n=60)	平均: 0.84 分散: 2.03 (n=43)
2 平均の統計的識別検定の P-値	0.00031	
掲示板での投稿総数	714	928

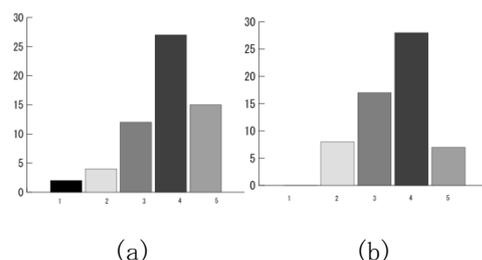


図 8：授業アンケートの結果
(a) システムあり, (b) システム無し

(3) システム評価

1 学期間エージェント・システムがある講義と、エージェント・システムが無い講義との比較により評価を行った。エージェント・システムの決定木は 1,344 人の学習者履歴を使用して学習された。2 つの e ラーニング講義の詳細は表 2 にまとめる。結果は、エージェント・システムがある LMS の場合には放棄

した学生数がはるかに少なかった。さらに、最終試験得点、学習時間データ、および学習データの進捗度は、エージェント・システムが学習を著しく増強したことを示している。また、次の2つの質問を学習者に行った。

- A. eラーニングを増強するシステム機能を、どう評価しますか？ (1.非常に貧弱, 2.貧弱, 3.普通, 4.よい, 5.非常によい)
- B. エージェント・システムからのメッセージの妥当性を、どう評価しますか？ (1.非常に悪い, 2.悪い, 3.普通, 4.よい, 5.非常によい)

結果を図8に示す。結果は、システムが学習を増強するのに有効で、メッセージが学習者の状態に肯定的な効果があることを示した。

予測的な学習者の将来状態の提示と、適応的なメッセージの提示は、必要な学習ペースを維持するのを助ける。その結果、学習者が予測された将来の状態に到達するまで、学習を進歩することができる。

4. 研究成果

本研究は、知的エージェントが学習履歴データおよびデータ・マイニング技術を使用して、学習者へ有効な適応的なメッセージを提供するLMSを開発した。このシステムのユニークな特徴は以下の通りである：

- エージェントは、決定木モデルの適用により学習者モデルを自動生成する。
- エージェントは学習者モデルおよびその人の現在の学習履歴データを使用して、学習者の最終状態(1.不合格, 2.放棄, 3.合格, 4.優秀)を予測する。データベースに蓄積されるデータ量の増加に伴い、生成される学習者モデルはより正確になる。
- エージェントは学習者の学習過程をデータベース中の優れた学習者の学習過程と比較し、学習者の学習過程を分析し、学習者に適応的なメッセージを生成する。

本研究は、1学期間、実際のeラーニング講義において、開発したLMSとエージェント・システムが無いLMSとで比較した。結果は、講義を放棄した学生数が、エージェント・システムのないLMSの場合より著しく少なく、さらに、最終試験の平均点が、エージェント・システムがないLMSの場合の最終試験平均点よりかなり高いことを示した。いくつかの学習者へのアンケートおよびインタビューは、エージェント・システムが学習動機を増強し、学習者が必要な学習ペースを維持する助けになったことを示した。したがって、結果は、エージェント・システムが学習者のeラーニングの動機づけを維持するのに非常に有効であることを示した。

さらに、実用上での重要な注意点は、私達は調査せずに、自動構築されたツリー構造を

使用するべきでないということである。なぜなら、eラーニングの促進に熱心でない教師がいる場合、自動構築されたツリー構造が有効ではないためである。例えば、そのような教師は熟考せずに全ての学生に最終結果で「優秀」を与えてしまい、構築されたツリー構造は、どんな学生でも「優秀」と予測し示してしまうだろう。構築されたツリー構造が無効であると思えば、無効な構造の代わりに図2のような典型的な構造を使用する。この手続きはまた、新規科目で過去データがなく、構造がないというケースに採用される。

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 10 件)

- ① Maomi Ueno “Intelligent LMS with an agent that learns from log data”, The Journal of Information and Systems in Education, Vol. 7, No. 1, pp. 3-14, 2008. (査読有)
- ② ソムムアン・ポクポン, 植野真臣 “e テスティングにおける得点・時間予測システムの開発”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No. 9, pp. 2225-2235, 2008. (査読有)
- ③ ソムムアン・ポクポン, 植野真臣 “統合型 e テスティング・システムの開発と実践”, 日本テスト学会誌, Vol. 4, pp. 54-64, 2008. (査読有)
- ④ 植野真臣, ソムムアン・ポクポン, 岡本敏雄, 永岡慶三 “ピアアセスメントにおける評価者特性を考慮した項目反応理論”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, No. 2, pp. 377-388, 2008. (査読有)
- ⑤ 森本康彦 “e ポートフォリオの理論と実際”, 教育システム情報学会論文誌, Vol. 25, No. 2, pp. 245-263, 2008. (査読有)
- ⑥ 安藤雅洋, 植野真臣 “デュアル・チャンネル・モデルに基づく e ラーニング・マルチメディア教材におけるポイント提示の効果分析”, 日本教育工学会論文誌 32 巻, 1 号, pp. 43-56, 2008. (査読有)
- ⑦ 植野真臣 “e ラーニングにおけるデータマイニング”, 日本教育工学会論文誌, Vol. 31-3, pp. 271-283, 2007. (査読有)
- ⑧ 植野真臣 “e ラーニングにおける所要時間データの異常値オンライン検出”, 電子情報通信学会論文誌, J90-D-1, pp. 40-51, 2007. (査読有)
- ⑨ 植野真臣 “教育工学の研究最前線-学習評価の理論と応用”, 電子情報通信学会・情報・システムソサエティ誌, 11-4, pp. 6-7, 2007. (査読有)
- ⑩ 永森正仁, 安藤雅洋, ソムムアン ポクポン, 植野真臣 “携帯電話機を用いた複数ク

ラス遠隔授業実践”, 工学教育, vol. 56 no. 2
14-19, 2007. (査読有)

[学会発表] (計 8 件)

- ① Yasuhiko Morimoto, Maomi Ueno, Isao Kikukawa, Setsuo Yokoyama, Youzou Miyadera “ e-Portfolio Cell: Formal Descriptive Model for e-Portfolios”, Proc. Computers and Advanced Technology in Education (CATE 2008), September 30, 2008, Crete, Greece, pp.195-200. (査読有)
- ② Masahito Nagamori, Masaki Nagasawa, Maomi Ueno “ Webcam-Based Knowledge Management System for Special Needs Education ” , World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2008), January 30, 2008, Vienna, Austria, pp. 3500-3509. (査読有)
- ③ Masahiro Ando and Maomi Ueno “Effect of pointer presentation on multimedia e-learning materials”, World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA 2008), January 30, 2008, Vienna, Austria, pp. 5549-5559. (Outstanding Paper Award) (査読有)
- ④ Masahiro Ando and Maomi Ueno “Cognitive load reduction on multimedia e-learning materials” ,The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2008), July 1, 2008, Cantabria, Spain, pp. 268-272. (査読有)
- ⑤ Maomi Ueno, Toshio Okamoto “System for Online Detection of Aberrant Responses in E-Testing” , The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2008), July 1, 2008, Cantabria, Spain, pp. 824-828. (査読有)
- ⑥ Yasuhiko Morimoto, Maomi Ueno, Isao Kikukawa, Setsuo Yokoyama, Youzou Miyadera “ SALMS: SCORM-compliant Adaptive LMS” , Proc. the 12th World Conference on e-Learning in Corporate, Government, Healthcare, & Higher Education (E-Learn2007) , October 15, 2007, Quebec City, Canada, pp. 7287-7296. (査読有)
- ⑦ Masahito Nagamori, Masahiro Ando, Masaki Nagasawa, Songmuang Pokpong, Maomi Ueno “ Collaborative e-Learning Among Teachers Using a Web Database in Special Support Education ” , The 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, July 20, 2007, Niigata, Japan, pp. 328-329, 2007. (査

読有)

- ⑧ Masahiro Ando, Masahito Nagamori, Pokpong Songmuang, Maomi Ueno and Toshio Okamoto “An analysis using eye-mark recorder of the effectiveness of presentation methods for e-learning” , The 7th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2007), July 19, 2007, Niigata, Japan, pp. 183-185, 2007. (査読有)

[図書] (計 1 件)

- ① 植野真臣 “知識社会における eラーニング” , 培風館, 2007, 286 ページ.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植野 真臣 (UENO MAOMI)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・准教授

研究者番号: 50262316

(2) 研究分担者

岡本 敏雄 (OKAMOTO TOSIO)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・教授

研究者番号: 60125094

安間 文彦 (ANMA FUMIHIKO)

電気通信大学・大学院情報システム学研究科・助教

研究者番号: 70422574

永岡 慶三 (NAGAOKA KEIZOU)

早稲田大学・人間科学学術院・教授

研究者番号: 90127382

赤倉 貴子 (AKAKURA TAKAKO)

東京理科大学・工学部・教授

研究者番号: 80212398

生田目 康子 (NAMATAME YASUKO)

広島国際大学・社会科学部・教授

研究者番号: 30310501

森本 康彦 (MORIMOTO YASUHIKO)

富士常葉大学・環境防災学部・准教授

研究者番号: 10387532

藤原 康宏 (FUJIWARA YASUHIRO)

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・講師

研究者番号: 30305338

永森 正仁 (NAGAMORI MASAHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号: 80334697

安藤 雅洋 (ANDO MASAHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・助手

研究者番号: 00345539