

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：20104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700903

研究課題名(和文)機能分割と機能追加によるLMS開発サイクルモデルの構築

研究課題名(英文)Construction of the Development Cycle Model of a Learning Management System through Division and Addition of Functions

研究代表者

石川 貴彦 (ISHIKAWA, TAKAHIKO)

名寄市立大学・保健福祉学部・准教授

研究者番号：50422001

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：学習支援システム(LMS)の機能を洗練し、再び高機能なLMSとして再運用できるためのLMS開発サイクルモデルを構築した。開発したLMS Managerを用いて、LMSに搭載されている学習機能を自動で分割し、格納データの精緻化も同時に進めて、独立した部品として扱える方法を提案した。そして、得られた複数の部品からユーザが必要とする部品だけを選定し、LMS Installerを用いて自動でLMSを再構築する方法も提案した。このようにして、LMS Managerで機能分割を行い、LMS Installerで機能追加を行うことを繰り返しながら、学習機能の洗練を図っていくサイクルモデルを実現した。

研究成果の概要(英文)：We constructed the development cycle model of a learning management system (LMS) to refine its learning support function and then to re-operate it as a high-functioning LMS. Furthermore, we proposed a method for enabling the LMS manager developed in this study to perform its functions independently according to different tasks. This method uses the LMS manager to automatically divide the learning function installed on the existing LMS and to improve the stored data used by the divided functions simultaneously. Moreover, we also proposed a method for selecting only those parts that users need from multiple parts taken from the LMS manager and then allowing the LMS installer to automatically reconstruct the LMS. Thus, we were able to create a cycle model that aims at refining the learning function by dividing the functions with the LMS manager and then by repeatedly adding functions via the LMS installer.

研究分野：教育工学

キーワード：LMS eラーニング Web システム開発 CGI データベース

1. 研究開始当初の背景

学習支援システム(LMS)の代表例として Moodle があり、放送大学学園「ICT 活用教育の推進に関する調査研究」委託業務成果報告書(2011)によると、日本の大学における Moodle 利用率は 43%と高いシェアを誇っている。Moodle はプラットフォーム上に、モジュールと呼ばれる特定の学習機能を追加して eラーニングを運用するという、機能追加型の LMS と位置づけられる。

しかしながら、ユーザが想定する eラーニング環境と合致しないモジュールがしばしば存在し、ニーズに応えるモジュールを発見することが困難な状況にある。もし望んだモジュールを発見できたとしても、ユーザにとっては不要な機能も含まれている場合があり、その余分さが操作の複雑さや LMS 管理の見通しの悪化を招く。

このような学習機能の追加に伴う管理の複雑さの比例的増大という状況は、機能追加型 LMS の大きな課題である。申請者が 2001 年から独自開発を続けてきた大規模 LMS (ファイル数: 約 200) も、様々な学習機能の追加によってシステム全体が大規模になり、開発した本人しかシステムを管理できない状況に直面している。したがって、学習機能の追加による多機能化だけでなく、同時に学習機能の適切な分割による洗練化も進めて、ユーザが管理しやすい範囲で、想定する eラーニング環境に合致できるような LMS を開発・洗練するための枠組みが望まれる。

2. 研究の目的

本研究は、LMS 全体を単独運用可能な個々の学習機能に分割(機能分割)し、分割された機能を洗練して再び LMS の部品として統合(機能追加)することで、システムの改善を機能単位で進めながら、全体を再構成できる LMS 開発サイクルモデルの構築を目的とした。つまり、システムの分割 洗練 再構成(追加) 分割を繰り返すことで、ユーザが思い描く環境に一致する学習機能の構築、および純正部品としての提供と、操作の複雑さが伴わないシステム管理を同時に実現することを目指した研究である。

3. 研究の方法

前述した独自開発 LMS を用いて、まずは手作業で学習機能を分割し、理想となる部品を定義することから始めた。そして、機能を構成する CGI プログラムとデータベースが理想の部品になるためには、どのような情報を含めるべきで、それをどう表すかという「表現形」を決めた。この学習機能の表現形を定義するという準備の後に、サイクルモデルについて、大規模 LMS の学習機能単位への分割化、分割した機能の洗練、機能を再構成し LMS として再運用できるための方法の検討 という 3 つのフェーズに分けて研究を進めた。

(1) サイクルモデル検討のための準備

実験用 LMS の構築

モデルを検討・実験するための Web サーバを構築した。OS は Windows Web Server 2008 R2 (Web サービスのアプリケーションである IIS 7.5 を含む)、データベースは SQL Server 2008 R2 Web、CGI エンジンには赤間ら(1997)によって開発された ETI という S 式記述の処理系(インタープリタ)を用いた。

機能の表現形の決定

本 LMS の全ての構成要素は、1 つの処理を 1 括りの括弧(S 式)で表現した「アトム」で記述し、HTML、CGI、SQL をアトム表現で統一して ETI で処理するようにした。そうすることで、ソースコード解析の容易化や、各言語を使い分けるといった開発に関わる負担の軽減をもたらす、サイクルモデル検討の準備を整えた。例えば LMS の送信ボタンは、アトムで以下のように表す。

```
(form:begin "submit.eti")
  (form:hidden "id" *id)
  (form:hidden "passwd" *pass)
  (td "center")
  (form:submit "送信" "button" )
  (/td)
(form:end)
```

また、LMS のデータベース構造は、テーブル、外部キー、SQL 実行権限(ロール)、ビュー、ストアドプロシージャなどの情報が不可欠である。これらもまた、以下のアトム列で定義した。ちなみに、上から順にテーブルのデザイン、外部テーブルとのリレーションおよび実行権限を表している。

```
(table "TABLE" (("ID" "int identity" 3 0 () PK)
  ("NAME" "nvarchar" 10 0 () ()))
(foreign-key "TABLE"
  (("ID" ("OTHER_TABLE" "ID"))))
(power "TABLE" (("public_user" ("Select"))))
```

(2) 大規模 LMS の学習機能単位への分割化

表現形を決めた後、分割の方法について検討した。具体的には、LMS 内の CGI ファイルをソースコード解析し、その中に含まれる form:begin アトムを検索することによって、リンク先ファイル(submit.eti)のパスを求めた。これを芋づる式に辿っていくと、LMS 全体のリンクマップが得られ、そこから単独運用可能な 1 つの機能を切り出していく。データベースについても、リンクマップ上に存在する CGI ファイルをソースコード解析して sql:send アトムを見つけ出し、アトムの引数に記述された SQL 文から DB テーブルを取り出した。そして、テーブル情報からさらに SQL 文を発行し、アクセス権限や外部キーなど、関連するデータベース情報を取得して表現形で表した。

(3) 分割した機能の洗練

CGI ファイルは、開発途中で生じた冗長なコードを含むことがあり、どこかのタイミングで除去しない限り残存する。この場合、システム全体を見渡して逐一修正するよりも、分割した機能の範囲に限定した方が作業しやすく、前述したリンクマップを手がかりにすることで、機能内のリンク切れなどを容易に修正できる。

データベースについては、構造だけでなく格納データ(レコード)も洗練すると、純正部品の提供を考慮するうえでは望ましい。レコードは ID を主キーとし、連番でレコードが追加されるケースが多い。そして、レコードを削除する際、連番で付与された ID は削除されると欠番になってデータベース構造の劣化が進み、管理の煩わしさやパフォーマンスの低下をもたらす。欠番のない状態でレコードを精緻化する方法として、各テーブルの新旧 ID 対照表を作成し、その対照表を基に ID を書き換えることを考えた。対照表の表現には配列を用い、{() 1 () 2 3 () 4}のように記述する。この場合、() は欠番を意味する。配列のインデックス番号を旧 ID とし、配列の要素を新 ID とすれば、ID[0]=()、ID[1]=1、ID[2]=()、ID[3]=2... となって、新旧 ID の対照関係を表すことができる。

(4) 機能を再構成し LMS として再運用できるための方法の検討

用いる学習機能をアトム列で記述し、それを 1 つのファイルにまとめて実行することで LMS を再構成する方法を検討した。

ファイルは、データベースの構造を再構築する dat ファイルと、構築したデータベーステーブルにレコードを挿入する etc ファイルの 2 種類を定義した。例えば、学習機能を追加する際に、既存データを引き継ぐ場合は、dat ファイルを実行した後、続けて etc ファイルを実行すると、新 LMS にこれまでの機能が移行したことになる。dat ファイルのみを実行した場合は、新 LMS には機能だけが追加され新規で使用することになる。このように、必要な学習機能について既存データの流用の可否を含めて選択できることで、ユーザに機能の使用法の柔軟性を与えた。

4. 研究成果

(1) LMS の運用・管理・開発を簡便かつ一体的に行う WISE 環境の構築

LMS を運用するには、OS のインストール、Web サーバおよびデータベースサーバの構築、PHP 等の処理系のインストール、CGI プログラミングなどが前提となり、複雑な工程が多岐にわたる。これらを一体化したパッケージに LAMP 環境があり、オープンソースとして提供されているため、LMS 構築時の導入頻度は高い。しかし、CUI ベースの環境であることから、UNIX 系サーバの管理に長けたユーザでないと設定は難しく、他にも、

LMS がバージョンアップすると、既存の LAMP 環境はサポート外になるケースが多い。したがって、Moodle は最新版にすると、LAMP の不備から不安定になりやすいが、それを恐れて旧バージョンを使用し続けると、バグやセキュリティの脆弱性が生じる。

本研究では、WISE と名付けた独自の環境を構築し、そこで全てのシステムが動作するように設計した。この WISE 環境は、3. 研究の方法(1)- で示したソフトウェア構成の頭文字(下線部参照)をつないだものである。

W、I、S の 3 つは Microsoft 社の製品で、いずれも GUI が充実しているため、普段ユーザが使用しているであろう Windows と違和感なく扱える点が採用した理由である。そして SQL Server には、Transact-SQL と呼ばれる独自拡張された組み込みの SQL 関数が用意されており、複雑なデータベースアクセスも容易に処理できるという利点がある。OS が有償であるという不利はあるものの、IIS は OS に付帯し、SQL Server は Express という無償のバージョンが提供されているので、OS 以外にソフトウェアのコストはかからない。このように若干のコストを投じて、GUI での直感的な操作と拡張機能、アップデートのしやすさが保証されるのであれば、CUI ベースのオープンソース環境よりも操作の簡便性は向上する。

そして、WISE 環境の大きな利点は、ETI で CGI を処理することである。それは LMS の実行プログラムとしてのファイルという側面と、ソースコード解析の対象としてのデータという側面の二面性を持つということである。例えば、表 1 のような表組みを LMS 上に提示することを考える。

表 1 LMS 上の表組み例

1	佐藤太郎
2	鈴木花子
3	高橋次郎
4	田中正子

その場合、一般的に CGI で用いられる PHP 言語で記述すると、以下のようになる。

```
<?php
    $srv = "localhost";
    $id = "user";
    $passwd = "xxxxx";
    $dbn = "db1";
    $sql = "SELECT * FROM db1";
    $db = mysql_connect($srv,$id,$passwd);
    mysql_select_db($dbn,$db);
    $rs = mysql_query($sql,$db);
    $num = mysql_num_fields($rs);
    print("<TABLE border='1'>");
    while($row = mysql_fetch_array($rs)) {
        print("<TR>");
        for($j=0; $j<$num; $j++) {
```

```

print("<TD>".mb_convert_encoding($row[$j],
"SJIS","EUC-JP")."</TD>");
}
print("</TR>");
}
print("</TABLE>");
mysql_free_result($rs);
mysql_close($db);
?>

```

これを ETI で記述する場合は、アトム置き換え関係を矢印でつないだ「ルール」を書き、これらルールの集合が1つの CGI プログラムとなる。

```

R1 (main),
  ((get "id" *id), (get "passwd" *pass))
  → (sendSQL *id *pass
      "SELECT * FROM db1;"
      (SQL_C_SLONG SQL_C_WCHAR) *data),
      (table ((border "1"))),
      (displayTable *data),
      (/table).
R2 (displayTable ((*num *name): *X))
  → (tr, (td (*num *name)), (/tr),
      (displayTable *X).
R3 (displayTable ( )) → .

```

R1 ルールは、main 実行すると直前の Web ページから送られた ID とパスワードを取得し、次に db1 から番号と氏名のデータを取得して、テーブル内にデータを表示するという動きになる。displayTable アトムは R2、R3 ルールでさらに定義する。R2 は番号と氏名のデータを取得した場合、先頭のデータ（表1の番号1と佐藤太郎）を1行目に表示して、残りのデータを *X として再帰する。そして再び R2 を適用して、2行目以降のデータ（鈴木花子以降）を表示するという動きになる。データを全て表示し終えた場合は、残りのデータ *X には何もないので、R3 を適用して実行が終了する。

プログラムをルールで書くことのメリットは、R1~3のルールが全て独立して実行できるという点である。最初に R1 のみを作成し ETI で実行すると、(displayTable *data) を処理するアトムがないので、そこで実行が止まり、(displayTable *data) 以降の残存アトムを結果として返す。プログラムはこのアトムを見て、次に displayTable アトムを処理するルール (R2) を作成し再実行する。すると何もない場合のルールがないので実行が止まり、今度は R3 を作成する。このようにルール作成と実行を繰り返して、逐次的に1つのプログラムを完成させることができるので、ユーザが独自に LMS の学習機能を作成する場合でも、スモールステップでプログラミングが行える。これは搾り出し法と呼ばれる ETI 特有のプログラミング手法であり、シス

テム構築の簡便性を、本研究はプログラミングの段階から考慮している。PHP の場合は While 文や for 文を用いた一まとまりのコードになるので、ETI のようなスモールステップ性はない。

また、ソースコード解析について、ルールは以下のように書くこともできる。なお、ETI で自動変換することも可能である。

```

R1 (Rule (main)
  (get "id" *id) (get "passwd" *pass)
  : (sendSQL *id *pass
      "SELECT * FROM db1;"
      (SQL_C_SLONG SQL_C_WCHAR) *data)
  (table ((border "1")))
  (displayTable *data),
  (/table))

```

この形式で表すと、ルールのパターンは以下のア~エの4つしかなく、機能を分割するために必要な CGI や DB テーブルのパスを含むアトムは、ア・ウの (*C1!*X) と、ア・イの (*B1!*Y) にしか存在しないので、パターンマッチングによってアトムの各要素を解析すれば容易に検出でき、リンクマップを作成できる。PHP 等を解析する場合は、コードを文字列として解析するので、パーサの作成やパスの検出は ETI よりも難しくなる。

```

ア (Rule *H (*C1!*X) : (*B1!*Y))
イ (Rule *H : (*B1!*Y))
ウ (Rule *H (*C1!*X) : )
エ (Rule *H : )

```

(2) LMS 開発サイクルモデルの構築 モデルのフレームワーク

モデルは、機能分割を担当する「LMS マネージャー」と、機能追加を担当する「LMS インストーラー」の2つで構成した(図1)。

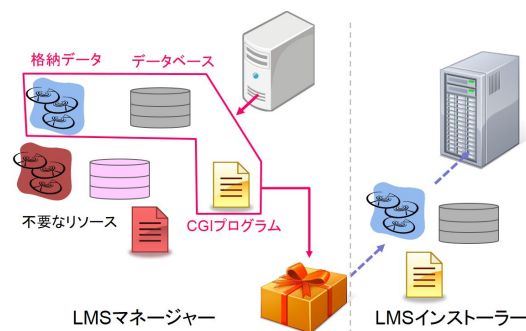


図1 開発モデルのフレームワーク

LMS マネージャーは、ユーザが使用したい学習機能を指定すると、開発済の既存 LMS から必要な CGI やデータベース、格納データだけを抽出し部品化する。LMS の学習機能はプログラムが試行錯誤しながら開発・検証していく場合が多く、その過程で生じた不要な CGI ファイルやテストデータが蓄積しや

すい。ここでは、ユーザの要求に応じた必要なリソースだけで部品が構成されるので、自身を取り組む教育方法の範囲内に収まるように LMS のスケールを狭めて、機能を扱うことができる。

LMS インストーラーは、マネージャーから取得した機能を追加し、関連するデータベースの作成やアクセス権限の付与、情報登録を一括して自動でインストールする。そのため、IIS や SQL Server の管理ツールを開いて操作することは、初期設定以外にはない。

このように、ユーザは LMS マネージャーを用いて既存 LMS から必要な学習機能を分割し、LMS インストーラーを用いて、新規サーバに必要な学習機能だけを追加する。この 2 サイクルの作業のみでシステム構築できることが、本研究で実現したサイクルモデルのフレームワークである。

LMS マネージャーの開発

学習機能の分割は、LMS 内で現在使用中かどうかをリンクマップから自動で判定し、使用中と認定された CGI だけを含める。図 2 は各 CGI とデータベースのリンクマップを表したものであり、CGI1 を解析すると CGI2 と DB1 にリンクしていることを検出し、CGI2 と DB1 が使用中と判定する。同様に CGI2 からは CGI1、CGI3、DB2 が、CGI3 からは CGI2、DB3 が導かれ、各 CGI で検出されたリンクを集約し重複を除くと、1 機能のまとまりが一覧として得られる。例えば、システムの改良のために CGI2 をコピー・温存し作業するケースがあるが、CGI2-copy は他のどの CGI からも参照されていないので不使用と判定し、機能には含まない。

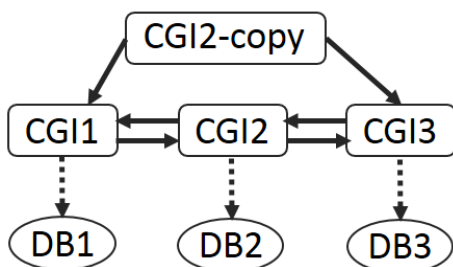


図 2 CGI・データベースのリンクマップ

その後、一覧から使用中のデータベースを参照し、格納データを取得する。このときデータは、3. 研究の方法(3)で示した新旧 ID 対照表を適用して欠番の除去が行われる。したがって、パッケージには CGI1~3 の各ファイルと関連する画像ファイル一式、DB1~3 を構築するためのデータベース情報および格納データが収められる。図 3 はマネージャーの実行画面であり、既存 LMS から動画配信機能(movie)を分割している様子である。

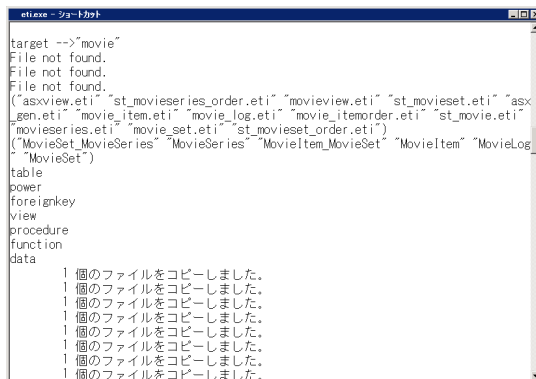


図 3 マネージャーの実行画面

実行結果は、以下の ?- から始まるスクリプトを生成し dat ファイルに書き出す。

```

// DB テーブル
?- (table "MovieSeries"
    ("id" "smallint identity" 5 0 () PK)
    ("name" "nvarchar" 50 0 () ())
    ("lectureID" "smallint" 5 0 () ())
    ("visible" "nchar" 1 0 "('T')") ())).
  
```

格納データについては、SQL の insert 文を引数としたスクリプトが生成され、dat ファイルとは別にデータ群だけの etc ファイルを書き出す。

LMS インストーラーの開発

学習機能の追加は、追加する機能をスクリプトで以下のように記述し、LMS インストーラーで実行する。

```

?- (include "movie.dat"), (include "movie.etc").
  
```

動画配信機能の追加では、dat ファイルによってデータベースを構築し、さらに etc ファイルを用いて、これまで既存サーバに登録されていた格納データを、構築したデータベースに追加する。これは、動画配信機能を設置し、過去に登録したデータを引き続き用いることを表している。

(3) 操作マニュアルの整備

一般的な IT スキルを持つ教師が、簡便かつ円滑に LMS を構築できるようにするため、操作マニュアルを作成した。マニュアルの内容は、WISE 環境の構築、LMS インストーラーの操作、LMS 本体の操作の 3 つで構成し、全 20 ページからなる。マニュアルのページ数が増えて、ユーザに負担感を与えないようにするため、LMS マネージャーの操作については記述を設けず、あらかじめ用意した基本機能を扱わせるようにした。

操作マニュアルを用いて新規に LMS を構築する検証実験を 1 名に対して行った。被験者は文書作成やインターネット操作は一通り行えるが、ネットワークやサーバ管理、データベースに関する知識はあまり有してい

ない。この者を一般的な IT スキルを持つユーザと見立てて、簡便かつ円滑に構築できるかどうかを検証した。その結果、2時間弱で Web サーバの立ち上げから LMS の構築・運用に至ることができ、その間のつまずきやトラブルは生じなかった。また、構築した LMS に不具合もなかった。これは本研究が目的の 1 つとした簡便性を満たしたと言える。

今後の展望は、ETI による実装上の優位点やシステム構築の簡便性を、開発環境のさらなる整備や、LMS 開発の具体例から示していくことで、多くのユーザが自由自在に扱える e-Learning 環境を実現していきたいと考えている。

<引用文献>

放送大学学園、平成 21 年度・22 年度先導的¹大学改革推進委託事業「ICT 活用教育の推進に関する調査研究」委託業務成果報告書、2011

赤間清、繁田良則、宮本衛市、論理プログラムの等価変換による問題解決の枠組、人工知能学会誌、Vol.12、No.2、1997、pp.266 - 275

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

石川 貴彦、教師の授業力量の形成を支援する教職 e-Learning システムの開発と実践、日本 e-Learning 学会誌、査読有、Vol.14、2014、pp.34 - 41
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020181655>

石川 貴彦、LMS の機能拡張による教育方法の変化、教育システム情報学会研究報告、査読無、Vol.27、No.6、2013、pp.39 - 44
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019609636>

石川 貴彦、マイクロティーチングにおける受講者と SA の評価コメントの比較、日本教育工学会論文誌、査読有、Vol.36、Suppl、2012、pp.197 - 200
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009596252>

[学会発表](計 10 件)

石川 貴彦、e-Learning を簡便に構築するためのサポートシステムの開発、日本 e-Learning 学会第 17 回学術講演会、2015 年 2 月 27 日～2015 年 2 月 28 日、産業技術大学院大学(東京都・品川区)

石川 貴彦、LMS の学習機能の洗練を支援する LMS マネージャーの開発、大学 ICT 推進協議会 2014 年度年次大会、2014 年 12 月 10 日～2012 年 12 月 12 日、TKP ガーデンシティ仙台(宮城県・仙台市)

石川 貴彦、教職実践演習における模擬

授業の相互評価の活用例、日本教育工学会第 30 回全国大会、2014 年 9 月 19 日～2013 年 9 月 21 日、岐阜大学(岐阜県・岐阜市)

石川 貴彦、学生の評価コメントと支持数のギャップ分析、教育システム情報学会第 39 回全国大会、2014 年 9 月 10 日～2014 年 9 月 12 日、和歌山大学(和歌山県・和歌山市)

石川 貴彦、赤間 清、LMS インターフェースの簡易作成装置の開発、大学 ICT 推進協議会 2013 年度年次大会、2013 年 12 月 18 日～2012 年 12 月 20 日、幕張メッセ国際会議場(千葉県・千葉市)

石川 貴彦、赤間 清、シラバス提示とプリント配布のみの小規模 e-Learning、日本教育工学会第 29 回全国大会、2013 年 9 月 20 日～2013 年 9 月 23 日、秋田大学(秋田県・秋田市)

石川 貴彦、ソーシャルボタンの評価から見た大学生のコメントの分析、教育システム情報学会第 38 回全国大会、2013 年 9 月 2 日～2013 年 9 月 4 日、金沢大学(石川県・金沢市)

石川 貴彦、赤間 清、LMS の拡張を補助する動作検証機能、大学 ICT 推進協議会 2012 年度年次大会、2012 年 12 月 17 日～2012 年 12 月 19 日、神戸国際会議場(兵庫県・神戸市)

石川 貴彦、赤間 清、LMS 開発におけるデータベース表現、日本教育工学会第 28 回全国大会、2012 年 9 月 15 日～2012 年 9 月 17 日、長崎大学(長崎県・長崎市)

石川 貴彦、e-Learning 環境の設定が学習者の要望に与える影響、教育システム情報学会第 37 回全国大会、2012 年 8 月 22 日～2012 年 8 月 24 日、千葉工業大学(千葉県・習志野市)

[その他]

ホームページ等
<http://www4.nayoro.ac.jp/>
WISE 環境で構築した学習支援システム

6. 研究組織

(1) 研究代表者

石川 貴彦 (ISHIKAWA, Takahiko)
名寄市立大学・保健福祉学部・准教授
研究者番号： 50422001