

統合型ドリルシェル「ドリル工房」の知的技能への対応

Application of Intellectual Skills for an Integrated Drill Shell “Drill-Factory”

市川 尚^{*,***} 高橋 暁子^{**,**} 鈴木 克明^{***}
Hisashi Ichikawa^{*,***} Akiko Takahashi^{**,**} Katsuaki Suzuki^{***}

岩手県立大学^{*} アイフェース^{**} 熊本大学^{***}
Iwate Prefectural University^{*}
iface^{**}
Kumamoto University^{***}

〈あらまし〉 筆者らは、これまでに統合型ドリルシェル「ドリル工房」の開発を行ってきた。本システムは、ドリルの作成だけでなくダウンロードやドリルの仕組みに関する学習も可能となっている。言語情報のみに対応したドリルシェルであったが、インストラクショナルデザインにおいて知的技能のドリルの制御方法もいくつか提案されている。そこで本研究では、知的技能への対応を検討し、下位ドリル群という制御方法の実装を試みた。具体的には、知的技能の階層構造に基づいてドリル群を形成し、ドリルの結果に応じて、上位や下位目標へと自動的に移動するようにした。

〈キーワード〉 CAI 遠隔教育 ドリルシェル インストラクショナルデザイン

1. はじめに

e ラーニングで提供される教材の1つにドリル型教材がある。ドリルは主に学習内容の練習のために用いられ、よくクイズという形で、テキストや映像教材と一緒に提供されている。

ドリルの役割は主にガニエの9教授事象(ガニエほか 2007)の練習(事象6)とフィードバック(事象7)に相当し、学習する内容に関する導入や説明(事象5以前の事象)を済ませてからの利用が想定される。ドリルの仕組みはテストとほぼ同様であるが、テストは診断や能力測定などの目的であるのに対し、ドリルは練習目的であるため、特に問題に不正解した場合に再出題の制御を行う点などが大きく異なる。

これまでにインストラクショナルデザイン(ID)の研究によって、ドリルを効果的にするためのドリル設計ガイドラインがいくつか提供されてきた(Salisbury 1988, Alessi and Trollip 2001, 鈴木 1989)が、日本ではほとんど普及していない。既存のオーサリングツールにはドリルテンプレートが付属し、LMS(Learning Management System)の多くはクイズを利用できるが、単にユーザの

回答を要求し、フィードバックを行うものが多く、練習を支援するための工夫については、あまり配慮されていない。一方で、知的CAIのような高度の制御モデルはもとより、項目反応理論やバグモデルなどを適用しなくても、かなり単純な制御でも相応の効果があると言われている(鈴木 1998)。

そこで筆者らは、IDに基づく方略を備えたドリルを簡単に作成でき、ドリルの仕組みの学習も可能とする統合型ドリルシェル「ドリル工房」の開発を行ってきた(Ichikawa et al. 2007)。ドリル工房は言語情報のみの対応であったが、本研究においては、知的技能への対応を検討し、下位ドリル群という制御方法についての実装を試みた。

2. 知的技能のドリル

2.1. 知的技能とは

知的技能はガニエの学習成果の5分類の1つであり(ガニエほか 2007)、何かを実行する能力(手続き的知識)を意味する。対照的なものとして言語情報があり、覚えたことをそのまま再生することが要求される(宣言的知識)。言語情報は主に暗記となるが、知的技能は、未知の問題に学んだ内容を適用でき

ることが要求される。知的技能は、その技能を身につけるための、より基礎的な下位目標の達成が前提条件となるような階層構造で整理できるとされ、学習課題分析には階層分析手法が用いられる。

知的技能には下位分類として、2つのものが異なるかどうかを判断できるようになる「弁別」、具体物の物理的な特性や属性を同定できるようになる「具体的概念」、物理的な属性ではなく定義で分類できるようになる「定義された概念」、規則を適用できるようになる「ルール」、複雑なルールの生成と使用ができるようになる「問題解決（高次のルール）」がある。これらは、問題解決の前提条件がルール、ルールの前提条件が定義された概念というように、それぞれが次の技能習得の前提条件となっている。

また、言語情報と知的技能には、学習成果に本質的な差異があることから、学習を達成するための条件も異なり、教授方略（ここでは特に練習方略）も異なる。さらに知的技能の下位分類それぞれでも学習の条件が異なることから、その効果的な練習方略も異なると考えられる。

2.2. 先行研究

知的技能のドリルについては、鈴木（1989）が知的技能の効果的なドリルのメカニズムについて、言語情報と対比しながら説明している。また、これまでの先行研究では、階層構造に着目した目標間の移動、知的技能の下位分類に関する方略、未知の問題の出題という3つの観点の主に取り上げられてきた。

2.2.1. 階層構造への対応

知的技能は階層構造となるため、ある目標が達成できなければ、1つ下の階層に戻ることや、目標を達成後は上位の階層に進むなど、学習の系列が明確である。こういった階層構造に着目し、ドリルの結果によって、上位・下位の階層（目標）に移動するような仕組みが提案されてきた。

Salisbury（1988）は知的技能の階層性に着目したドリルの制御方法として下位ドリル群を提案した。許・繁樹（1990）は、中学2

年生の式の計算を対象領域として、階層構造や項目反応理論を利用して、どの難易度の問題を出題するかを決定するドリル型 CAI を試作した。また、ドリルではないが、高橋ほか（2006）が開発している課題分析図に基づく e ラーニングシステムでは、階層分析図を学習項目の選択に利用しており、各項目についてドリルを配置していくことでも、近い内容を実現することができると考えられる。

2.2.2. 下位分類に関する方略

知的技能の下位分類（主に概念）に関するドリルの制御方法やシステムが提案されてきた。Salisbury（1988）は、適応型概念学習ドリルとして、ある項目がどの概念の事例かを正しく答えられた場合、次の項目は他の概念の事例からランダムに選択されるが、間違った場合、次の項目は間違っただけの概念の例が選択されるという制御方法を紹介している。

山本ほか（2004）は、次元分けとサブドリル構造（本稿の下位ドリル群と同義）を用いた、知的技能のための概念学習ドリルシエルの開発を行っている。次元分けの4つの値と階層構造をもとに、出題を制御している。

また、藤原ほか（2005）は、情報処理入門科目におけるオンライン個別学習システムのドリル機能として、アルゴリズムに状態前進型ドリルを採用している。知的技能への適用とは特に明示されていないが、状態前進型ドリルも知的技能に応用できるとされている（鈴木 1989）。

2.2.3. 未知の問題の出題

知的技能は、言語情報のような暗記ではないため、常に未知の問題を出題する必要がある。つまり、同じ練習問題を2回出題して2度目に正しく答えられたとしても、知的技能が習得されたのか、丸暗記したために答えられたのかを見分けることが難しいからである（鈴木 1989）。このためには、十分な問題数を準備することが必要である。

また、複数の問題を自動生成するという方法もある。問題文の一部を変数として設定することで、ランダムな生成が可能とするようなシステムが提案されており、例えば数値計

算に代表される知的技能のルールの適用などにおいては、この方法も有効であると考えられる。不破ほか(2003)のドリル型CAIシステムにおいては、問題文を乱数により毎回変えて提示するようになっている。さらにプログラム作成といった問題解決のレベルの出題や自動判定も行われており、知的技能のドリルにとって参考になる部分が多いと考えられる。

2.3. 本研究と先行研究の関連

上記のように知的技能に対応したシステムは、開発者が意図したかどうかに関わらず、これまでもいくつか開発されてきたが、知的技能の特徴をきちんと捉え、練習の方略を検討している事例は非常に少ない。また、現状で一般に利用可能な、知的技能の方略を備えたドリルシェルは存在していない。そこで本研究は、知的技能への対応の足がかりとして、Salisbury(1988)で提案されている下位ドリル群を実装することとした。

3. ドリル工房とは

3.1. システムの概要

本システム「ドリル工房」については、Ichikawa et al.(2007)で報告しているが、その時点ではプロトタイプであったため、その後に行った大幅な変更も含めて、まずシステムの内容について述べる。

本システムは、あらかじめIDに基づく制御方法を組み込んだドリルシェルであり、ドリルやIDについてよく知らないユーザーであっても、問題と正誤の選択肢等を登録しさえすれば、効果的なドリルを作成できることを目指している。また、本システムはドリルを簡単に作成・提供できるようにしているだけでなく、ドリルの制御方法(アルゴリズム)自体を学ぶことができるようになっている。本システムの構成を図1に示す。

ドリルは言語情報のみ対応している。提供している機能は、編集(作る)、実行(実行する)、ダウンロード(持ち帰る)、学習(学ぶ)の4種類である。作成者は本システムでドリルを学習・作成し、作成したドリルを自分のローカル環境(ネットワーク有り無しのどち

らでも)にダウンロードして設置する。

対象ユーザは、ドリルの作成者(ドリルの学習も含む)と、作成者が設置したドリルを利用する学習者が想定される。本システムは、Apache, PHP, MySQL, Adobe Flashによって構築した。Flashは、ダウンロード時の実行ファイルとして利用している。

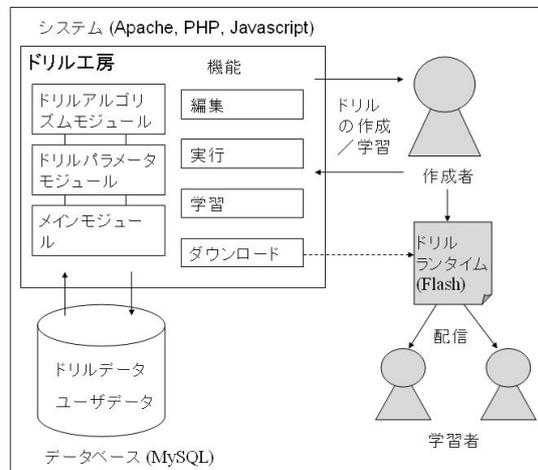


図1 システム構成図

3.2. システムの機能

3.2.1. 編集機能

編集機能は、新しいドリルの作成や、既存のドリルの編集を行う。アイテムの追加や削除もここで行う。ドリルは、必要最小限の情報を登録するだけで動くように配慮した。多くのパラメータはデフォルトで設定されており、ユーザが要求しない限りは表示されない。編集機能は、ドリル作成と問題の編集の2つの機能から構成されている。

ドリル作成においては、ユーザはドリルのタイトルを入力し、さらにドリルの形式として「共通問題文形式」か「個別問題文形式」を選択する。共通問題文形式は、問題と解答が1対1の対応になっているものであり、各アイテムについて共通の問題文を設定し、選択肢は他のアイテムの解答を利用することができる形式である(図2)。個別問題文形式は、個々のアイテムについて、問題文と選択肢の両方を設定するものであり、問題文と選択肢をひとまとめにして作成・提供する形式である。また、問題をCSVファイルから一括登録することや、ドリルの文字色や背景色を変更

することも可能となっている。

3.2.2. 実行機能

実行機能は、ユーザによって作成されたドリルを実行することができる。実行機能は、普通モードと可視化モードの2種類のモードから構成され（可視化モードは後述する学習機能で詳細を述べる）、実行画面において常時切り替えが可能となっている。ドリルを実行すると、システムは問題を表示し、ユーザが回答を入力し、その回答が正解か不正解であったかと、不正解の場合は正答をフィードバックする。その際に事前に設定されていれば、解説も合わせて表示する。

ドリルの実行については、実行前に、項目間隔変動型 (Alessi and Trollip 2001) などの制御方法や、合格基準（同じ問題に何回正解することで合格とみなすかの回数）、出題形式（再認の多肢選択か、再生の記述）といった複数のパラメータを設定することができる。制御方法は、構成要素のスイッチをオンオフすることによって、その動きをカスタマイズすることもできる。

3.2.3. 学習機能

学習機能は、ドリルの制御方法に関する説明と、ドリルの内部プロセスの可視化を行う。可視化は、アイテムの順番や状態の一覧を表示し、ユーザが回答すごとに、状態を更新していく。また、プロセスを戻って動きを振り返ることも可能である。可視化モードには、ドリル実行時にいつでも切り替えることができる。可視化モードの画面を図3に示す。説明については、ドリルの基本的な仕組みを学ぶ教材や、ドリルの各制御方法を比較できるように、フローチャートや長所と短所などを提示している。

3.2.4. ダウンロード機能

ダウンロード機能は、ユーザが作成したドリルをローカル環境に持ち帰り、ネットワークのあるなしに関わらず、ユーザが提供するeラーニングに利用することができる。ユーザはダウンロード前に、新規に制御方法やパラメータを設定するか、過去にドリルを実行

した記録一覧から設定を選択することができる。ダウンロードされるファイルには、実行プログラムと設定ファイル（XMLでアルゴリズムやパラメータや各アイテムの情報を記述）が含まれる。また、LMS上に載せることでドリルの進行状態を保存できるようにSCORM1.2に対応させている。

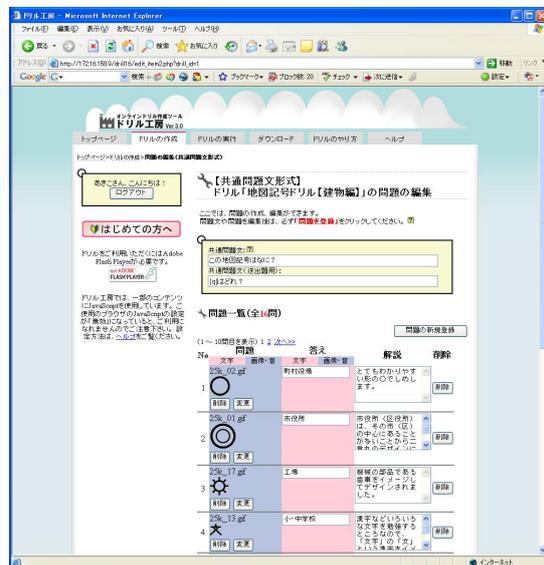


図2 問題の編集画面（共通問題文形式）



図3 可視化モード

4. 知的技能への対応

4.1. 下位ドリル群

ドリル工房の知的技能への対応として、Salisbury (1988) で提案されている下位ドリル群 (Subdrill Grouping) の実装を試みた。

下位ドリル群は、関連する知的技能をドリル群として複数用意し、到達目標のドリルでつまづいた場合に、つまづきの原因となっている当該の下位目標のドリル群に自動的に移行する方法である。ある学習目標にむかって練習のでき具合に応じて徐々に難しいドリル群へと移動していく場合にも応用可能である（鈴木 1988）。

知的技能で提案されている制御方法の中で最初に下位ドリル群を取り上げた理由としては、知的技能にとって特徴的な階層構造を利用していたことの他に、現状のシステムとの親和性も考慮した。Salisbury (1988) は、1つのドリル内に様々な下位目標の内容を統合するよりも、下位ドリル群のように下位ドリルを組み合わせる用いる手法の方が簡単であるとしており、現状のシステムの枠組みにドリル間の制御を追加することで、比較的容易に実装できると考えられたからである。

4.2. 下位ドリル群の実装

下位ドリル群の手法を用いるときは、下位ドリル間の上位下位の関係を表示することが重要である (Salisbury 1988)。そこで、階層分析図を GUI のエディタにより作成することにした。ドリルの作成画面において、知的技能のドリル作成を選択すると、階層構造エディタが表示される (図 4)。エディタでは、各目標 (1つの箱) を作成し、それに対応したドリルを関連づける。さらに各目標の上下を線でつなぐことにより、階層構造を表現する。1つのドリルを表す箱は自由に移動可能であり、箱の下部から下位へ、箱の上部から上位へ線を延ばしてリンクを貼ることになる。関連づけるドリルは既存のものを選択するか、新規に作成することになる。

ドリルを関連づけた後で、ドリル間を自動的に移動する条件として合格基準と不合格基準 (便宜上このように呼ぶ) を設定する。合格基準には、異なる種類の問題に適用できた回数 (例えば 5 回連続) や、正解と誤答の比率によって行う。不合格基準は逆に間違った回数や、正誤の比率となる。

ドリルの移動については、下位目標が 2 つ以上あった場合には、現状では特に履歴は参

照せず、任意の 1 つを選択するが、その練習が合格だった場合は、上位に戻るのではなく、同レベルにある他の目標に移動する。

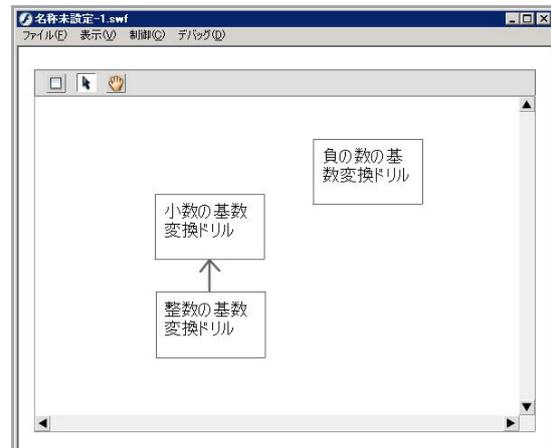


図4 階層構造エディタ (開発中)

4.3. その他の変更

ドリルの編集機能では、最初に言語情報か知的技能かの選択を行うようにし、知的技能を選択した場合は、個別問題文形式のみとした。共通問題文形式は問題と答えが 1 対 1 の対応となっており、言語情報のみにしか利用できないからである。

各ドリル内の制御方法は、新たに知的技能専用のもは設けずに、言語情報のものをそのまま用いることにした。本来であれば、例えば概念用のドリルには専用の制御方法を用いた方が効果的と考えられるが、今回はそこまでは含めないことにした。

フィードバックについては、言語情報のようにただ正解を提示するだけでなく、概念のドリルであれば定義や特徴を、ルールのドリルであれば、ルールやその正しい応用例のように、より意味のある形で行う必要がある (Salisbury 1988)。よって、各問題の解説入力欄を広げるだけでなく、共通フィードバックの欄を設け、ルールなどを記述できるようにした。さらにドリルでの学習の結果として上位や下位に移動することになった場合は、その旨をフィードバック時に通知するようにした (図 5)。

また、ドリル実行時においても、階層アイコンを常に表示し、いつでも階層図を参照できるようにした。可視化モードでも同様に、

現在どの下位ドリルにいるのかの位置を表示するようにした。

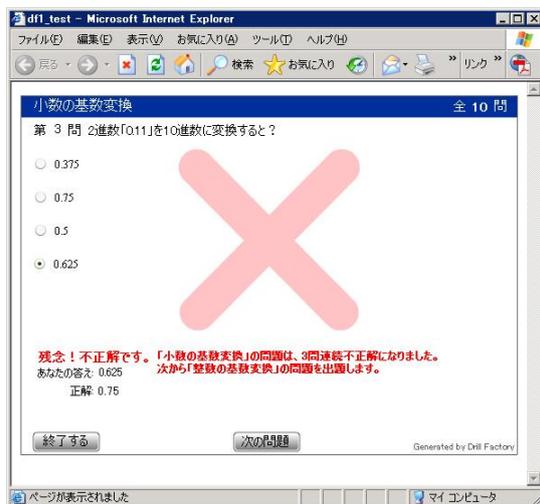


図5 フィードバック（開発中）

5. おわりに

本研究では、筆者らが開発してきた言語情報用の統合型ドリルシェル「ドリル工房」について、知的技能への対応を検討し、下位ドリル群の実装を試みた。

今後の課題は、下位ドリル群以外の知的技能の制御方法として、例えば適応型概念学習ドリルの実装などが考えられる。また、問題文に変数を埋め込めるようにして、問題を自動生成することも検討していきたい。さらに、ユーザが実際に作成できるかを評価していく必要もある。

なお、現在のシステムは、<http://ichi.et.soft.iwate-pu.ac.jp/df/> で試験的に公開している（ただし、本研究の知的技能への対応は、公開版には反映していない）。

注記：本研究は、文部科学省科学研究費補助金若手研究(B)「インストラクショナルデザインの自動化を指向した教材シェルの開発」課題番号 19700644 の一部である。

参考文献

Alessi, S.M. and Trollip, S.R.(2001) *Multi-media for learning*, Allyn and Bacon, Massachusetts.

藤原康宏, 大西仁, 永岡慶三 (2005) 情報処理入門科目におけるオンライン個別学習システムを利用した授業実践とその効果. 日本教育工学会論文誌, 29(Suppl.) : 109-112

不破泰, 中村八束, 山崎浩, 大下眞二郎 (2003) Web を用いた CAI システムによる大学講義の高度化とその評価. 教育システム情報学会誌, 20(1) : 27-38

ガニエ, ウエイジャー, ゴラス, ケラー (著), 鈴木克明, 岩崎信 (監訳) (2007) *インストラクショナルデザインの原理*. 北大路書房

Ichikawa, H., Takahashi, A., Sato, S., Kamata, T., & Suzuki, K. (2007). Development of an Integrated Drill Shell "Drill-Factory". ITHET 2007, 13A3-2 (Paper No.134)

鈴木克明 (1989) テレビ番組による外国語教育を補うドリル型 CAI の構築について. 放送教育研究, 17 : 21-37

鈴木克明 (1998) HyperCard 上のドリル教材作成支援ツールの開発研究～教材設計モデルを用いた評価と使い易さの評価をもとに～. 日本教育工学雑誌, 22(1) : 43-55

Salisbury D.F.(1988). Effective drill and practice strategies. In D.H. Jonassen (Ed.), *Instructional designs for micro-computer courseware*. LEA.

高橋暁子, 市川 尚, 阿部昭博, 鈴木克明 (2006) 「課題分析図に基づく自己管理学習支援型 e ラーニングシステムの開発. 日本教育工学会第 22 回講演論文集 : 255-256

許紅, 繁桝算男 (1990) 項目反応理論と教授内容の階層的構造表現による問題項目の提示順序の最適化. 日本教育工学雑誌, 14(2) : 73-80

山本雅之, 藤原康宏, 鈴木克明, 赤堀侃司 (2004) 次元分けとサブドリル構造を用いた概念学習シェルの開発. 教育システム情報学会第 29 回全国大会講演論文集 : 307-308