

仮想空間を用いた認知的徒弟制に基づく介入指導システム

Intervening and Coaching System based on Cognitive Apprenticeship in Virtual Space

西田 任志[‡]
Takashi Nishida

原田 史子[†]
Fumiko Harada

島川 博光[†]
Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

新入社員の教育のために、OJT(On the Job Training)による業務体験が行われている。OJTでは、ベテラン社員が指導者となり、体験者である新入社員の作業の定着状態に応じ、最初のうちは手取り足取り教え、作業が定着するにつれて誤りのみ指摘する指導を行う。そのため、体験者は業務内容を着実に習得できる。しかし、時間と手間をかけて指導者は体験者を教えなければならないという問題がある。一方、近年では体験者の作業状態に応じて説明を変化させる電子マニュアルが提案されている。これによって、指導者の時間や手間がかかるといった問題は解決されているが、電子マニュアルはテキストや図といったようなドキュメントベースで説明されており、作業を定着させにくい。作業の定着率を向上させるためには、体験者に、マニュアルを読ませるだけでなく、自ら主体となって作業を体験させることが重要である。

本研究では、指導者がかける時間や手間による問題点を解決すると同時に、作業内容の定着率を向上させる、3次元仮想空間内の体験者への指導手法を提案する。本論文では、OJTでの指導方法で導入されている認知的徒弟制 [1] における Coaching と Scaffolding の段階での指導に着目し、体験者の作業状態を過去の履歴から推定し、それに応じて指導方法を切り替えるシステムを提案する。Coaching による指導では、指導者が体験者に手取り足取りでいねいに指導する。Scaffolding による指導では、指導者が体験者に作業の誤っている点のみを指導する。提案手法の有用性を検証するため、ガソリンスタンドにおけるタイヤ交換業務を仮想空間上に実装した。本システムによるタイヤ交換業務体験の前後で、体験者にタイヤ交換業務の作業手順の知識を調査し、それらと比較する実験を実施し、考察した。実験により、タイヤ交換の経験が少ない体験者ほどいねいな指導が行われ、タイヤ交換の経験が多いほど指導する頻度は少ないという結果となった。

2. 作業指導の現状

2.1 作業指導

ある作業において、作業者に対して指導するさいの一般的な方法には、OJT(On the Job Training) とマニュアルによる指導の2種類がある。OJTによる指導は、企業での研修に用いられており、最終的に体験者ひとりで業務をこなすことができるように導く指導方法である。OJTによる指導では、指導者が体験者の作業状態に合わせて指導し、実際に体験者に作業をさせることで、体験者の作業に対する理解が深まるため、学習が効率的なものとなる。しかし、この指導方法では、指導者に対して、指導に時間と手間などの人的コストがかかるといった問

題がある。一方、マニュアルによる指導は、体験者が作業の手順を詳しく説明しているマニュアルを読み、学習していく方法である。この指導方法では指導者が必要でないため人的コストはかからないが、作業を体験する体験者の知識の度合いや作業状態に合わせた説明ができず、すべての体験者に画一的な指導が与えられるといった問題がある。以上より、体験者の知識の度合いや作業状態に合わせた指導ができ、かつ、最小の人的コストで実現できる指導方法が求められている。

2.2 認知的徒弟制

OJTによる指導では、最初は指導者が主体となって指導し、最終的に体験者が単独で作業できるようにする。これは認知的徒弟制 [1] に基づいた指導方法である。認知的徒弟制とは、Collins らによって示された社会的構成主義の学習に関するモデルである。認知的徒弟制は、学習面において、指導者が体験者に対して効率的に教えることができる学習モデルであり、大きく分けて以下の4段階からなる。

1. Modeling: 指導者が模範を示し、体験者はそれを見て真似る。
2. Coaching: 指導者が手取り足取り指導し、助言する。
3. Scaffolding: 体験者に単独で作業させ、できない点だけをフォローする。
4. Fading: 指導者は、体験者にひとりでできるよう導く。

この学習モデルでは、初めに介入頻度の高い Modeling や Coaching といった指導者主体の学習で始まり、徐々に Scaffolding, Fading といった介入頻度の低い体験者主体の学習となっていく。指導者による介入頻度を高いものから段階的に低くして、指導していくことによって体験者を独り立ちさせることができる。このような移行は学習者に学習内容を定着させるうえで有効とされている。

2.3 既存研究

マニュアルを用いた指導方法では、すべての体験者に対して画一的な内容の指導しかできないため、体験者の知識の度合いや作業状態に合わせた指導ができない。アクティブマニュアル [2] は、体験者の作業状態に応じてマニュアルを表示することで、体験者へよりよい指導を行うことを目的としている。作業動作認識に基づく作業支援システムに関する研究 [3] では、計算機が人の動作を認識することで体験者に効率的かつ効果的に指導できるよう取り組まれている。これらの手法では、体験者の作業状態に合わせたマニュアル表示は実現できているが、図や文章といったドキュメントベースの指導方法であるため、実際に体験することに比べて、作業内容の定着率が低くなる。また、仮想空間内での指導を行うシステムとして3次元仮想空間を用いた英会話教室 [4] や、次世代教育システム [5] などがある。仮想空間を用いること

[†]立命館大学情報理工学部

[‡]立命館大学大学院理工学研究科

によって、指導者や体験者が現場を訪れる必要がなくなるという物理的距離に関する問題は解決されている。ゆえに、これらのシステムは体験者の作業状態に合わせた指導が可能となるが、指導者が仮想空間にログインし、指導する必要があるため OJT と同様の人的コストが軽減できていない。

3. 認知的徒弟制に基づいた介入指導システム

3.1 介入指導システムの概要

体験者に作業を体験させながら、作業状態に応じた指導を行うためには、介入指導するための人的コストがかかる。これを軽減させるにはシステムが自動的に介入指導を行う仕組みが必要である。本論文では、指導者がかける時間やコストによる問題点を解決すると同時に、作業内容の定着率を向上させることを目指す。そこで、体験者に仮想空間内で作業を体験させ、作業の状態によって指導方法を自動的に切り替える、認知的徒弟制の Coaching, Scaffolding 段階に着目した介入指導システムを実現する。本システムの概要を図 1 に示す。認知的徒弟制において、指導者主体となる Coaching と、体験者主体となる Scaffolding の段階の間では主体となる対象が変化する。これら 2 つの段階に着目することによって、指導者が体験者に介入する度合いを変化させて指導することができる。本システムは体験者が作業を一度誤ったが正しくできるようになったか、または誤り続けているかを監視し、注意のみの指導である Scaffolding で指導するのか、詳しい説明を示す Coaching で指導するのかを動的に選定する。Scaffolding では体験者ができない点だけをフォローするため、注意のみの指導をし、Coaching では体験者に手取り足取り指導するため、作業の誤っている箇所を具体的に指導する。指導方法が選定されると、仮想空間内の指導キャラクタや指導ダイアログを用いて体験者に指導する。ここでは、Scaffolding による指導が行われる状態を Scaffolding 状態、Coaching による指導が行われる状態を Coaching 状態と呼ぶ。このシステムによって体験者の作業状態に合わせて、適切な指導を自動で実現することができる。

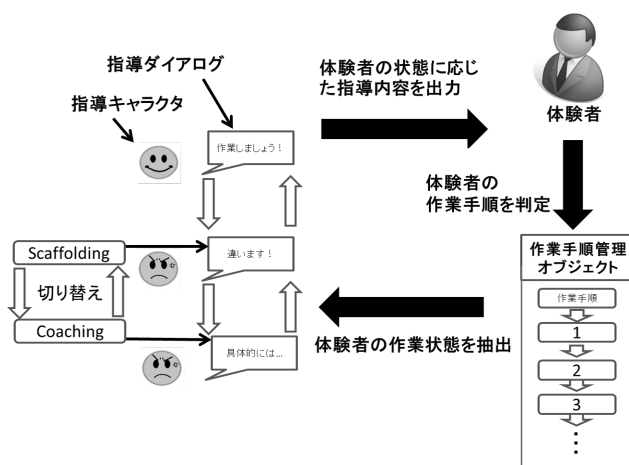


図 1: 介入指導システムの概要

3.2 作業工程の設定

本手法では、体験者は操作手順の決められた一連の作業を行い、指導を受ける。例えばガソリンスタンドにおけるタイヤ交換業務の一連の作業 [6] はいくつかの工程からなり、各工程はいくつかの作業手順をもつ。各作業手順は、定まった仮想空間の操作の集めで定義される。体験者は定められた操作を最初から始め、正しい手順で最後まで行うことで体験を修了したとみなされる。体験者がある作業手順で誤ったときに、現在 Scaffolding 状態であればシステムは Coaching による指導を行う。体験者が指導通りに作業をこなすことができた場合、体験者に誤った作業手順を含む作業工程を最初から再体験させる。

タイヤ交換業務において例を挙げると、準備工程の工具を持つという作業手順を誤ると、準備工程の最初であるジャッキアップから再体験することになる。作業工程内の作業内容数は業務内容によって異なる。本研究では各作業工程内の作業内容数は 2 工程とした。作業時間が長すぎても知識の定着率が低く、また短すぎても再体験するには短期記憶として業務内容を記憶してしまう可能性があるためである。

3.3 指導方法の動的な選定

本手法による指導は、初めからすべての作業を詳細に教えるものではない。本手法により実現されるのは、実務経験のような体験者主体の体験中心型の職業訓練である。体験者がどの作業をしているか、当該作業内の操作が正しいかをシステムは観測している。体験者の状態に応じて、Scaffolding による指導と Coaching による指導を切り替えて介入指導を行う。一連の作業開始時は、体験者の作業状態を測るために体験者主体である Scaffolding 状態とする。体験者が最初にある作業で誤ると、本システムは体験者に誤っていることのみを知らせる Scaffolding として指導する。Scaffolding による指導ではなぜ誤っているかわからないため、体験者はどの箇所が誤っているかを考える。体験者が誤っている箇所がわかり、作業を正しく進めることができた場合、次の作業手順に進むことができる。体験者が誤っている箇所がわからず、さらに同じ作業を誤ると、Coaching 状態となり Coaching による指導に切り替わる。このように体験者が当該作業を何回誤ったかを本システムは監視し、それに応じて指導方法を切り替える。

本手法では Coaching による指導をした後、誤った作業が含まれる工程の最初に戻り再体験させる。作業工程全体を再体験としてやり直させることによって、誤った作業に関連する作業について、定着しやすくなると考えられる。再体験で、体験者が作業を誤った場合、Coaching による指導が行われる。一方、再体験において体験者が誤った作業工程内の作業を正しく作業通りこなすことができたとき、Scaffolding 状態になる。そして体験者は作業手順内の次の作業工程に移り、違う作業工程において、体験者が作業を誤ったとき Scaffolding による指導が行われる。このように、体験者の作業状態に合わせて Scaffolding 状態、Coaching 状態を切り替える。

3.4 指導内容の出力方法

Scaffolding による指導は、体験者が作業で誤ったさいに、体験者の作業内容が正しい作業手順とは異なってい

るといふ事実のみを体験者に通知する指導である。一方、Coachingによる指導は、体験者が誤った作業内容の具体的な箇所と、なぜ誤っているかを体験者に通知する指導である。

指導には、指導キャラクタ、指導ダイアログ、介入オブジェクトの3つのオブジェクトを用いる。指導キャラクタは、体験者が作業を誤ったさいに表情を変化させることで、誤りを通知する。例えば、作業が正しく進んでいるときはにこやかな表情であるが、作業を誤ると怒った表情となる。このように正しいか誤っているかといった2段階の表情の変化によって体験者を指導することにより、体験者は当該作業が正しいのか、あるいは誤っているのかを判断することができる。指導ダイアログは、体験者にScaffolding状態やCoaching状態における各指導内容を表示する。例えば、十字レンチを取得すべき作業において、Scaffolding状態のときにモンキーレンチを取得したさいには、「それではナットを外すことができません。」といった内容が指導ダイアログ上に表示される。一方、Coaching状態のときにモンキーレンチを取得したさいには、「モンキーレンチではナットを外すための十分な力(トルク)をかけることができません。」といった内容が指導ダイアログ上に表示される。これによって、体験者にどういった箇所が誤っているのかをテキスト出力として、通知することができる。また、作業内容が複雑なときや、指導ダイアログだけでは指導することが困難であるときに、半透明のオブジェクトを用いて正しい作業手順で実際に作業することを体験者に見せながら指導する。この半透明のオブジェクトを介入オブジェクトと呼ぶ。体験者の作業状態に応じて文章だけでなく、作業の実例を明示することによって、体験者に視覚的な指導を行うことができ、作業の定着率が向上するものと考えられる。なお、介入オブジェクトは体験者に具体的に指導するという点から、Coachingによる指導であると考えられる。ゆえに、介入オブジェクトはCoachingによる指導のときのみを使用する。

4. 提案手法の有用性の評価

4.1 実験項目

本手法によって、体験者の知識の度合いによって体験者各々に合わせた指導ができているかということと、介入オブジェクトによるCoachingの指導は有用であるかということについて実現できているかを評価するため、本システムを用いた実験を実施した。実験用の作業として、ガソリンスタンドにおけるタイヤ交換業務を用いた。そのイメージ画面を図2に示す。

被験者は20代～40代の男女13名である。13名の被験者の内、過去にタイヤ交換を経験した回数別の人数は、0回が7名、1回～3回が4名、4回以上が2名であった。

4.2 実験内容

初めにタイヤ交換業務についての作業手順をアンケート調査した。アンケート内容は、作業の各項目についての知識を書かせる設問である。次に、本システムによるタイヤ交換業務体験を実施した後、再びタイヤ交換業務についての作業手順、指導キャラクタの指示はわかりやすいものであったかどうかについての4段階評価と本システムについての自由記述式によるアンケート調査を実施

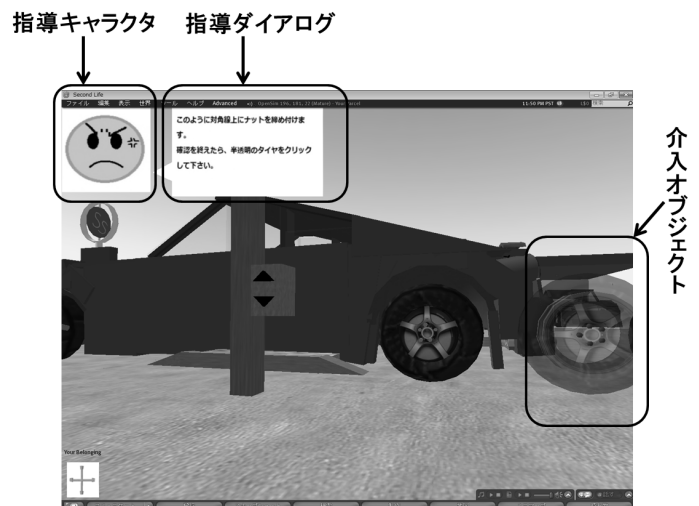


図2: 介入指導システムイメージ画面

した。これにより、タイヤ交換業務における各工程の知識量が体験の前後でどのくらい変化したかを検証する。また、「ナットを締める」作業でのCoachingによる指導では介入オブジェクトを用いた。タイヤ交換業務内の「工具を持つ」作業でのCoachingによる指導では介入オブジェクトを用いなかった。この2工程での体験者の知識の定着率を比較することで、介入オブジェクトの有用性を検証する。

4.3 実験結果

体験者のタイヤ交換経験回数別に、体験前と体験後のタイヤ交換業務の決められた各工程を回答した項目数を調査した結果を図3に示す。被験者ごとにScaffoldingによる介入指導を受けた回数と、Coachingによる介入指導を受けた回数を、タイヤ交換経験回数別に示したものを表1に示す。次に、指導キャラクタの指示がわかりやすいものであったかどうかについて、非常にわかりやすかった、わかりやすかった、わかりにくかった、非常にわかりにくかったの4段階で被験者13名に評価してもらった。その結果、上記4段階評価の順に7名、5名、1名、0名となった。また、本システムの自由記述によるアンケート結果を以下に一覧で示す。

- はじめに正解を教えずに体験者自身に考えさせ、一度考えさせてから次に詳しく説明するという、最初にやらせているのが良い。
- 一度考えさせてから次に詳しく説明するところがよかった。
- 初めに正解を教えずに考えさせるところがよい。
- 自分に考えさせる点がよかった。
- 最初は、ただ間違っていることしか教えないようにする点がよかった。
- 間違えたときに、すぐに反応があったのがよかった。
- タイヤ交換をしたことがなかったので、すべての手順が初めてだったが、理解できた。
- 指導されたとき、ダイアログボックスの位置が現在作業している位置から離れているため、説明が変わったということ自体わかりにくい。

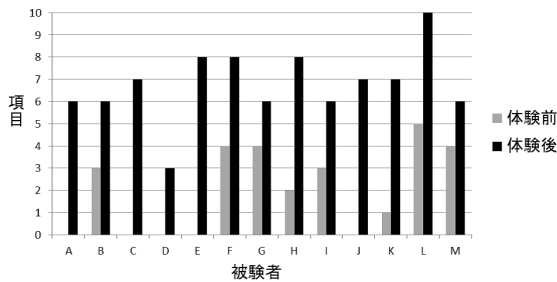


図 3: 被験者ごとの回答した項目数

表 1: 一人あたりの介入指導を受けた回数

タイヤ交換回数経歴	0回	1~3回	4回以上
Scaffolding	0.57	1	1
Coaching	1.43	1	0

5. 評価・考察

図 3 に示した結果より、本システムによってすべての体験者の知識は上昇していることがわかる。被験者 D はタイヤ交換業務についての詳しい知識をもっていなかったが、偶然作業がうまく進み、本システムによる指導を受けなかったことがわかる。そのため、体験後の知識があまり伸びていない。このことから、本システムは、体験者が偶然うまく作業を進めることができた場合、適切な介入指導を行うことができずに体験者の知識が増加しない状態で終わることがあるといえる。しかし、偶然作業がうまく進むことは今回の実験で 13 名中 1 名であったので、それが生じる確率は低く、本システムは実用性があるといえる。また、表 1 に示した結果より、過去にタイヤ交換経験回数が多い体験者ほど Coaching による介入指導回数は少なく Scaffolding による介入指導回数は多いことがわかる。つまり、過去にタイヤ交換経験回数が少ない体験者ほど Coaching による介入指導回数が多く、Scaffolding による介入指導回数は少ない。このことから、本システムは業務内容に関する初心者に対しては詳しい説明、上級者に対しては、注意のみを与えることができた。その結果、体験者の作業状態に応じた適切な指導方法であるといえる。

実験では、工具を選択する点においては介入オブジェクトを用いていない。一方で、ナットを対角線上に締めつける点においては介入オブジェクトを用いた。これらと比較し、体験後の業務内容知識を調査した結果、13 名中での作業手順知識定着数は前者については 4 名であったのに対し、後者では 11 名となった。このことから、介入オブジェクトを用いることは体験者にとって、業務内容の定着に役立っているといえる。

指導キャラクタの指示はわかりやすいものであったかどうかについてのアンケート結果は、約 54% の体験者が最高評価である「非常にわかり易かった」であった。しかし、約 46% の体験者がそうではないと回答している。本システムの自由記述によるアンケート結果より、指導されたさい、説明の位置がわかりにくいという意見があったことから、介入指導の表示方法を人間工学に基づいたものにするか改善できるものとする。また、本システムの自由記述によるアンケート結果一覧に示したように、

作業を誤ったときに最初から具体的に指導せずに、体験者に一度考えさせる点が良いという意見が多数得られた。これらの意見から、Scaffolding 状態から指導するという体験者主体の指導が有用であると言える。作業を誤ったときにすぐに本システムの反応がすぐにあった点が良いという意見からは、体験者の状態に応じて迅速に指導方法を切り替えて指導することができていることがわかる。タイヤ交換の経験がまったくない体験者から、どのように作業を行うか理解できたという意見がある。これにより、本システムは特に経験の少ない体験者にとって有用性が高いと言える。

6. おわりに

本論文では、体験に基づく作業指導時における指導者の時間やコストによる問題点を解決し、体験者の作業内容の定着率を向上させるために、認知的徒弟制の Coaching, Scaffolding の段階を体験者の作業状態に合わせて切り替えて、仮想空間上で介入指導するシステムを提案した。介入指導のため、体験者が扱うオブジェクトとは別の、仮想空間内に一時的に現れるオブジェクトで操作法を具体的に示す介入オブジェクトを本システムはもつ。

本手法の有用性を検証するため、タイヤ交換業務を仮想空間に実装し、作業経験回数別に体験者にとってふさわしい指導方法であったかどうかを、作業手順に関する知識量を実験前後で比較することで検証した。また、介入オブジェクトを用いた指導と通常のオブジェクトのみを用いた指導を比較して、作業内容の定着率を検証した。その結果、体験者の作業状態に合わせた介入指導を実施できた点と、介入オブジェクトを用いたことにより作業手順の定着率が向上した点が証明された。本手法により、介入指導を自動化でき、各々の体験者にとってふさわしい介入指導を実施することができた。

今後は、体験者にとって使いやすい作業指導にするため、ユーザビリティの高いシステムとなるよう改良を施し、本システムの有効性を高めたいと考えている。

参考文献

- [1] Collins, A.: Cognitive apprenticeship, The Cambridge Handbook of the Learning Sciences, R. Keith Sawyer (Ed.), Cambridge University Press, (2006).
- [2] 内藤 広志, 佐藤 衛, 松山 洋一, 山下 真司, 柵木 孝一著: アクティブマニュアルデータベース Hydra-II 概要とデータモデル, 情報処理学会第 46 回全国大会, pp.4-195-4-196(1993).
- [3] Toshitake Tateno.: Interactive System of Work Support in Consideration of Worker Competency, JSME International Journal Series C, Vol.49, No.2, pp.576-582, (2006).
- [4] 鈴木 右文, 3次元仮想空間チャットシステムによる英語授業の施行, 九州大学言語文化研究院, pp.105-125, (2008).
- [5] 堀ノ内 健太, 3次元仮想空間を利用した次世代教育システム, NRI システムズ関西, pp.16-17, (2000).
- [6] だれでもできるタイヤ交換, <http://park14.wakwak.com/chiro/tire/full.htm>