

## 2 機種の協働ロボット導入マニュアルへの機能分解木技術の適用 と非専門家向けマニュアル作成方法論の検討

### Investigation on Manuals for Non-Experts Based on Functional Decomposition Tree Technology for the Installation of the Two Types of Collaborative Robots

平岡 あおい<sup>1</sup>      山口 知彦<sup>2</sup>      \* 笹嶋 宗彦<sup>1</sup>  
Aoi Hiraoka<sup>1</sup>      Tomohiko Yamaguchi<sup>2</sup>      Munehiko Sasajima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 兵庫県立大学 <sup>2</sup> iCOM 技研株式会社  
<sup>1</sup> University of Hyogo <sup>2</sup> iCOM Robotics Inc.

**Abstract:** The authors are studying electronic manuals for non-experts using functional decomposition trees in order to promote the use of collaborative robots, and have created manuals for non-experts using two types of collaborative robots, confirming that non-experts can perform tasks with the same accuracy as experts. Based on the findings, we are also investigating a methodology that enables experts themselves to create manuals for non-experts. This paper describes the process of manual prototyping and the comparison of manuals for two models of collaborative robots.

## 1 はじめに

本研究の目的は、協働ロボットの作業マニュアルをモチーフとして、知識を持たない非専門家でも作業を行うことができるマニュアルを機能分解木を用いて作成すること、ならびに、そのようなマニュアルの作成方法を考案することである。

協働ロボットとは、比較的小型なロボットで、変種変量生産が可能なロボットであり、中小企業をはじめとした、製造現場の人手不足を解決する方法の一つとされている。しかし、協働ロボット等の産業用ロボットを扱うには、専用プログラムの知識やティーチングといった専門的スキルを持った人材がいないと導入が難しく [1]、現場への普及が進んでいないのが現状である。

そこで、筆者らは、協働ロボットの普及を目指して、専門家の持つ専門的知識、いわゆる暗黙知を盛り込んだ、協働ロボットを導入する企業(非専門家)が自力で作業を行うことを可能にする電子マニュアルを作成する研究を行っている。このマニュアル作成には、作業手順を構造化できる、機能分解木技術を用いている。先行研究 [2] では、荷積み作業を行うロボットである「パレタイザー X」を題材として、非専門家向けマニュアルを作成した。そのマニュアルを用いて評価実験を行ったところ、非専門家でも専門家と同等の精度で、作業を実施できることが確認できた。

一方で、こうした非専門家マニュアルの作成には、膨大なコストがかかることも判明した。先行研究 [2] では、マニュアルに明記されていない暗黙知を専門家へのインタビューで明らかにしたり、それを非専門家にも分かる動画などの形でマニュアルに取り入れたりする必要がある、それらの作業のために、1 年以上を要した。また、協働ロボットには、パレタイザー X の他にも多くの種類があり、新機種が出るたびに、それだけの時間をかけて、我々のような知識エンジニアがマニュアルを作り続けることは現実的ではない。

つまり、非専門家向けマニュアルを実用化するには、その作成作業自体のコストを下げ、専門家自身が、非専門家向けマニュアルを作ることができるような方法論が必要である。本研究に関連する研究の 1 つとして、マニュアルにあるべき構成要素を検討した、三波らの研究 [3] がある。これはマニュアルの見せ方に関する研究であり、マニュアルに入れるべき要素についての研究ではない。その他にもマニュアルに関する先行研究について、筆者らが調べた限りでは、望ましいマニュアルコンテンツと、その構成方法、すなわち、マニュアル作成方法論と呼ぶべきものについての研究はない。

筆者らは、先行研究 [2] で、知識エンジニアではなくても非専門家向けマニュアルを作成することができる方法論を検討し、パレタイザー X のマニュアル作成で得られた知見から、マニュアル構築ガイドラインを作成した。このガイドラインは 1 機種の協働ロボットの知見から作成したものであり、他の協働ロボットの機

\*連絡先：兵庫県立大学社会情報学部社会情報科学科  
〒 651-2197 兵庫県神戸市西区学園西町 8 丁目 2-1  
E-mail: ad23i059@guh.u-hyogo.ac.jp

種にも適用するために、一般性を高める必要がある。

そこで、さらなるマニュアル作成の知見を得るために、別機種の協働ロボットとして、溶接作業を行うロボットを対象としてマニュアル作成を行った。溶接は、専門テクニックや知識が必要とされる高度なタスクである。しかし、近年、溶接を行うことができる職人が不足し始めている。その問題を解決する一つの有効な方法として、職人ではない非専門家が、溶接を行う協働ロボットを使うことで溶接作業を行えるようにすることが挙げられる。本研究で扱う溶接ロボット「i ArcWeld S」は、溶接条件を適切に設定すれば、溶接に関する知識や特別なテクニックがない人でも、パネル操作をするだけで、簡単に溶接作業を実施することが可能である。しかし、非専門家は、溶接トーチを動かす速度などの溶接条件の設定ができない。また、溶接は、溶接対象の金属の材質や厚み、その日の気温等から、溶接の仕上がりが変化し、その仕上がりを見て溶接条件を試行錯誤して決定する必要があるが、非専門家は試行錯誤をどのように行えばよいかの知識がないため実施できない。

そこで本論文では、非専門家向けマニュアル構築方法論の一般化を目的として、溶接の専門家の協力のもと、専門家が持つ暗黙知を引き出し、非専門家が溶接ロボットを用いて溶接作業を実施できるようなマニュアルを、機能分解木技術を用いて作成したことについて報告する。試作した溶接作業向けマニュアルを用いて評価実験を行った後、マニュアル構築ガイドラインの改善を行った。例えば、専門家のノウハウをマニュアルのみで表現すると手順が多くなりすぎて、手順の見落としにつながるものが分かったため、コアトレーニングという非専門家向けの事前講習をマニュアルと組み合わせて実施しても良い、という項目をガイドラインに追加した。

## 2 研究全体の方針

まず、研究チームで、協働ロボットで作業を行うための非専門家向け電子マニュアルを作成する。作成方法に関しては3節で紹介する。作成ができた後、そのマニュアルで作業が行えるかどうか確認するために、非専門家を被験者としたマニュアル評価実験を数回行う。その際に、実験ごとに実験条件を変更することで、マニュアルの改善をしていく。実験に関しては5節で説明する。マニュアル評価実験が一通り終わったら、変更した実験条件の中で、作業の成功に影響したものを分析し、それらを一般化して分類した後、その分類をもとに非専門家向けマニュアル構築ガイドラインを検討する。ガイドラインを作成した後に、今度は別の機種でマニュアル作成をすることで、ガイドラインの一般

性を高める。これを繰り返すことで、マニュアル構築ガイドラインの作成を行うが、本研究では、2機種の協働ロボットでのマニュアル作成を行い、その知見からマニュアル構築ガイドラインを作成した。そして、そのマニュアル構築ガイドラインを用いて、専門家を被験者としたガイドライン評価実験を行う。その後、実験とガイドラインの改善を繰り返すことで、マニュアル構築ガイドラインが完成する。マニュアル構築ガイドラインや、ガイドライン評価実験に関しては、6節で述べる。

## 3 電子マニュアルとその作成方法

本研究チームでは、機能分解木技術を用いて、協働ロボットを扱うための非専門家向け電子マニュアルを作成した。本節では、機能分解木の概要と、マニュアルの作成方法について説明する。

### 3.1 機能分解木の概要

機能分解とは、実現したい機能や目的を、それを達成できる部分機能の列に展開することをいい、それを木の形で表現したものを機能分解木という [4]。

本研究では、機能分解木の作成にあたり、所属研究室で開発された「FWT エディタ」を用いている。FWT エディタでは、通常の作業手順、場合分けを表す方式、作業実施時の前提条件やリスクとリスクの回避方法、複数手順から実行する手順を選択する際の適用条件を記述することができる。これらを用いて、通常の作業手順を部分行為に機能分解することで階層的に記述する。機能分解木でのマニュアルの書き方を説明するために、機能分解木でマニュアルを記述した一部を図1に示す。この図では、説明用に四角や丸囲み文字を追加しているが、本来の機能分解木にはない。図1のオレンジ色の四角で囲まれた作業を分解する際は、オレンジ色の①～④のように、オレンジ色の四角で囲まれた作業を達成するための作業を、左から順に記述する。さらに、水色の四角で囲まれた作業を分解する際は、もう1つ下の階層に、水色の①～④のように、作業を左から順に記述する。また、このFWT エディタでは、必要に応じて、各ノードに画像や動画、URL をリンクさせることもできる。

### 3.2 専門家からの暗黙知獲得の難しさ

専門家から暗黙知を獲得することは困難である。本研究でいう「暗黙知」とは、暗黙的な知識や技能の中で、専門家しかできない特殊なテクニックではなく、内容や方法を見たり聞いたりすれば誰でも理解可能な知識のことをいう。そのような簡単な知識や技能を引き

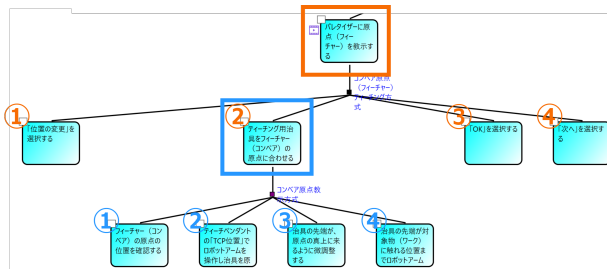


図 1: 機能分解木で記述されたマニュアル (一部)

出すのが何故難しいのか、理由は大きく3つある。1つ目は、専門家の保有している知識の多さである。専門家は、その分野において、知識を多く保有しており、状況に応じて適切に使い分けができる。しかし、それゆえに、なにも準備せずに、いざ作業をマニュアルに書き出すとなると、専門家はどこから書き始めてよいのか分からず、作業が進まなくなる。2つ目は、専門家自身が暗黙知を正確に認識していないことである。専門家が持つ暗黙知は、これまでの経験や現場での工夫などの積み重ねから、自然に獲得されたものが多く、専門家自身が認識していないものも多い。このため、何も支援がない状況で、専門家自身が認識していない暗黙知を記述することは困難である。3つ目は、専門家の暗黙知をアウトプットしたことがないからである。専門家は暗黙知を無意識的に活用しており、それを他者に説明するために言語化する経験がほとんどない。その結果、自分が自然に行っている作業手順や考え方を、明確に他者に教えることが苦手といわれている。

専門家の暗黙知を獲得し保存する方法としては、専門家による作業過程を動画で記録する方法が考えられる。しかし、単に作業過程を撮影しただけでは、知識がない非専門家が理解することが難しく、専門家の暗黙知を伝えることが難しいことが分かっている [5]。

機能分解木を用いてマニュアル作成を行うことで、専門家から暗黙知を獲得することが可能になる。何故なら、作業手順を構造化することで、作業どうしの関係性が視覚的になり、どの作業が曖昧なのか、すなわちどの作業が暗黙知となっているのかが分かりやすくなるからである。以上の理由から、本研究では、機能分解木を用いてマニュアル作成を行う。

### 3.3 電子マニュアルの作成方法

ここでは、非専門家向けマニュアルの作成の手順について説明する。はじめに、現場で使用されている専門家向けマニュアルを、そのまま機能分解木で記述する。次に、専門家が使用する作業マニュアルに書かれている作業行為を実際の作業現場で見学し、専門家から作業行為の説明を受ける。その聞き出した作業の詳細を、筆者らの手で機能分解し、最初に作った機能分解木に追加・修正を行う。機能分解木を作っていく中で、曖昧な箇所が出てきたら、専門家に質問して、ノードを追加する。これを繰り返すことで、機能分解木を完成させ、FWT エディタの機能により、機能分解木の形からマニュアルの形に変換する。

また、作成したマニュアルには、文字の説明を補う、画像や動画もリンクしている。作業内容を文字で説明しただけのマニュアルでは、用語の意味が分からないために作業内容が分かりにくいものがあったり、手順が正しく実行されたのか確認できなかったりするために、非専門家向けマニュアルには適していない。そのため、注目すべきポイントにフォーカスした撮影をした画像や動画を、マニュアルにリンクすることで、文字の説明を補うことができる。この補完動画は、作業単位で撮影して編集を行った、1本あたり30秒~4分の動画である。

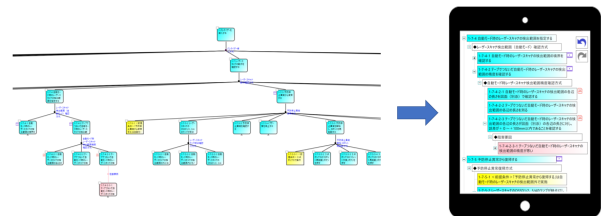


図 2: 機能分解木をマニュアルの形にするイメージ図

## 4 マニュアル作成方針

最初に、我々研究チームが考える、非専門家向けマニュアルの定義について述べる。また、マニュアル作成の対象とした2機種の協働ロボットの種類や、マニュアルの作成方針等を比較したものを表1に示し、4.2節以降で説明する。

### 4.1 非専門家向けマニュアルの定義

我々が目指している非専門家向けマニュアルは、非専門家自身がマニュアルを見て作業をスムーズに行うことができるマニュアルである。その作成において最も重要なのは、マニュアルを参照して作業する非専門家の安全を確保することである。作業についての知識があまりない非専門家は、危険性やしてはいけない行為が分からず、怪我や事故に巻き込まれる可能性が大いにある。そこで、非専門家向けマニュアルを作成する際には、作業に潜む危険性や、必ずしなければならない行為、もしくはしてはならない行為を記述し、作業者が安全に作業できるようにしなければならない。その上で、作業者が専門的知識や経験を持たなくても、マニュアルを参照することで作業をスムーズに行うことができるマニュアルであることが必要と考える。

また、作業マニュアルは、効率的な作業の実現を目指すものでなければならない。マニュアルを見た作業者が作業内容について悩んでしまったり、間違っただけをしてしまったりするのは、作業を進めるのに非効率である。しかし、マニュアル利用者は知識のない非専門家なので、思わぬ行動をとったり、マニュアルを読み間違えたりして、作業が思うように進まない、もしくは作業が実施できない可能性がある。そこで、非専門家向けマニュアルは、マニュアルを読んだり、添付されている動画や画像を見たりすることで作業内容を理解し、作業者が正しく作業を実施できて、かつ、あまり迷わずスムーズに作業を進めることができるようなマニュアルを目指すべきであると考えている。

先行研究、ならびに本研究では、この定義をもとに非専門家向けマニュアルの作成を行った。また、対象とした協働ロボットのタスクや作業の特徴などによって、その協働ロボットの作業に合ったマニュアルとなるよう、マニュアルの作成方針を変えて作成を行った。

## 4.2 先行研究：パレタイザー X

先行研究 [2] で扱った「パレタイザー X」というロボットは、共同研究先である iCOM 技研株式会社で開発された協働ロボットで、ベルトコンベアで流れてきた荷物をアームで持ち上げ、パレットという板に荷積みするタスクを行う。このロボットを現場で使用する前には、他の協働ロボットと同様にロボットを使える状態にする導入作業を行うが、この作業の中には、専門知識を要する作業がいくつか存在する。そこで、先行研究 [2] では、パレタイザー X の導入作業をマニュアル作成対象とし、専門家が持つ導入作業についての暗黙知を盛り込んだ、事前知識のない非専門家自身が導入作業を実施できるようなマニュアルを作成した。この導入作業は一度完了したら手戻りがない作業であり、マニュアルを最初から順に進めていけば作業が完了する。

また、共同研究先では、コアトレーニングという、協働ロボットを導入する人向けの事前講習を実施している。コアトレーニングでは、協働ロボット全機種共通の知識を2日間にわたって教育する。コアトレーニングには、個別の協働ロボットに関する内容は含まれておらず、先行研究では、マニュアルにパレタイザー X に関する知識を盛り込む必要があった。

表 1: 先行研究と本研究との比較表

	パレタイザー X (1 機種目)	溶接ロボット (2 機種目)
協働ロボットタスク	荷積み	溶接
マニュアル利用者	事前知識のない非専門家	
マニュアルの種類	導入作業	溶接作業
作業の特徴	手戻りが少ない	試行錯誤が必要
コアトレーニング	全機種共通知識	溶接に特化

## 4.3 本研究：溶接ロボット

現在研究で扱っている溶接ロボット「i ArcWeld S」は、パレタイザー X と同様、iCOM 技研株式会社で開発された協働ロボットで、金属を溶接するタスクを行う。パレタイザー X と違って導入作業は簡単であり、かつ、溶接作業のための操作自体は簡単であるが、溶接作業では、溶接トーチから出る電流の大きさや、動かす速度などの溶接条件を適切に設定する必要がある。こうした溶接条件は、溶接する金属の種類や厚さや、作業を行う環境の気温などに影響を受けるため、その設定には試行錯誤が伴う。溶接の知識がない非専門家にとってこれは非常に難しい。そこで、溶接ロボットを用いた溶接作業をマニュアル対象作業とし、非専門家自身が試行錯誤しながら溶接条件を設定し、溶接作業を成功させられるようなものを目指してマニュアル作成を行った。本研究では、はじめに、種類がいくつか存在する溶接作業の中から、比較的簡単とされる、TIG 溶接の直線溶接を対象とした。

溶接作業中に発生する試行錯誤については、判断の目安となる情報を加えることで対応した。マニュアルに目安表や画像を添付することで、非専門家でも判断できるようにした。試行錯誤して溶接条件を設定するといっても、知識がない非専門家は、最初どれくらいの数値にすればよいのかの目安も分からない。そこで、共同研究先から提供された、図 3 の左側にある、溶接条件に関する目安表をマニュアルに添付した。この目安表には、金属の種類や、板厚、溶接の向きごとに目安となる溶接速度や溶接電流の値が記載されている。非専門家はこの表を目安に数値設定をする。設定ができた後、その設定で溶接を行い、自分で溶接した物と、マニュアルに添付している溶接が成功した写真とを見比べて、溶接が成功しているかを判断する。もし、失敗していると判断した場合は、マニュアルの該当手順に戻り、失敗した原因に応じて溶接条件を調整し、再度溶接を行う。上記のように試行錯誤を手順化することで、非専門家でも溶接作業を実施できるようにした。

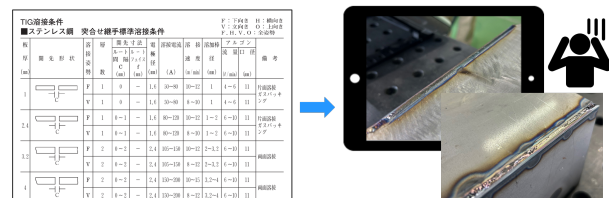


図 3: 溶接条件を試行錯誤するイメージ図

また、溶接ロボットのコアトレーニングは、溶接の内容に特化させたものにした。コアトレーニングの受講自体はパレタイザー X でも同様ののだが、前述した通り、全機種共通知識を教えるものだったため、マニュアルにパレタイザー X 固有の知識を取り込む必要があっ



たため、作成したマニュアルの手順数が膨大となった。先行研究 [2] では、手順数が膨大になると、マニュアルを読み飛ばす失敗が起きることが分かった。そこで、溶接ロボットのコアトレーニングでは、溶接作業に特化した内容にした。協働ロボットを扱う上で必要な知識はもちろん、溶接方法や溶接の仕上がりの方など溶接に関する知識や、溶接ロボットのソフトウェアについての操作説明など、溶接ロボットを扱う人に絞った内容とした。この事前講習で教わる知識についてはマニュアルから除き、説明が煩雑化してマニュアルが膨大になることを防ぐことを狙いとした。さらに、パレタイザー X のコアトレーニングには、全機種共通知識を広く教えるため、2 日間にわたって実施していたが、溶接に特化したコアトレーニングは、内容を絞ったことで、約 2 時間という短時間で溶接の知識を教えることができるというメリットもある。

## 5 マニュアル評価実験

筆者らが作成した非専門家向けマニュアルを使用して、非専門家を被験者とした、パレタイザー X と溶接ロボット、それぞれ数回実験を実施した。実験は、毎回少しずつ実験条件を変えて行い、それらの変更点が、被験者の作業実施にどう影響したかについて、比較し、分類した。本節では、それぞれの実験の実施概要や、各実験での主な変更点や分類について述べる。

### 5.1 全体の実験実施概要

ここでは、先行研究、ならびに本研究で行った評価実験で、共通している実施概要について説明する。

被験者は、事前知識がない非専門家とし、我々が作成したマニュアルを参照しながら、協働ロボットの作業を実施する。マニュアルは、Microsoft 社の Surface Go 3 のタブレットに表示した。

実験では、実験開始直前に被験者に対して、実験の実施概要と電子マニュアルの操作方法などについて、A4 の紙を数枚配布し、教示を行った。実験中は、我々研究チームが立ち合い、ビデオカメラ 2 台で作業の様子を撮影記録した。また、実験の全ての工程について、被験者が作業を行っている付近に専門家を配置し、被験者に何らかの危険が予知された場合には、安全確保を最優先として実験に介入することとした。もし、被験者が間違った行動をしていると分かったとしても、被験者に危険が及ぶ可能性やロボットが壊れる可能性がある場合を除いて、作業手順に関する指示や指導は行わないようにした。さらに、作業中に不明点が生じた場合は、被験者の好きなタイミングで何度でも、zoom による専門家の遠隔支援が受けられることとした。被

験者は、web カメラで現場の様子を見せながら、zoom を通じて、専門家に質問することができる。実験後には、被験者インタビューを実施した。

作業は、マニュアルと遠隔支援によって、作業を終えることができたかどうかで評価を行った。遠隔支援に関係なく、必要な精度を達成して手順を完了をしていた場合は、正しく作業手順を完了したとみなした。逆に、必要な精度を達成せずに手順を完了した場合や、手順を読み飛ばしていたり、未完了のまま中断したりした場合は、作業が失敗したと評価した。

インタビュー、作業評価までが終わった後に、各実験で行った実験条件の変更点の中で、作業の成功に影響した要因を分析し、それらを一般化して分類した。

### 5.2 先行研究：パレタイザー X

先行研究であるパレタイザー X の非専門家向けマニュアルの評価実験は、予備実験 1 回と本実験 5 回の計 6 回実施した。ここでは、先行研究での実験の実施概要と、その結果について簡潔に述べる。詳しくは [2] や [6] を参照されたい。

予備実験では、本研究チーム 2 名が、非専門家向けマニュアルを参照しながら、パレタイザー X の導入作業を実施し、実験実施に関する安全確認と、作成した非専門家向けマニュアルの確認を行った。

本実験では、パレタイザー X の導入作業の中でも主要な作業である、「レーザースキャナの動作を確認する」「電気信号の入出力を確認する」「ティーチングを実施する」の 3 つの作業を実験タスクとした。対象作業のマニュアル手順数は 894 手順である (全実験終了時点)。各実験で被験者は 2 名とし、2 名 1 組で実験タスクに取り組ませた。

毎回の実験で、マニュアル内容等の実験条件を変更し、マニュアルや実験環境の改善を行った。その結果として、非専門家自身が、マニュアルと遠隔支援を使用することで、パレタイザー X の導入作業を行うことができることを確認した。

また、作業の成功に影響を及ぼした変更点を分析し、分類をした結果、8 つの分類をすることができた。その 1 つに「多角的な表現」がある。協働ロボットの導入作業においてティーチングという作業では、ロボットアームが稼働するにあたって基準となる位置を、誤差を数 mm 以内におさめることが要求される。そこで、ティーチングが要求する精度が誤差が数 mm 以内であるということ、文字だけではなく、図で多角的に表現することで、ティーチングの精度を改善できた。これを一般化すると、作業の成功を直接表現するパラメータとそれにかかわる作業については、マニュアルで多角的に表現すること、となり、ガイドラインの 1 つとしている。

### 5.3 本研究：溶接ロボット

本研究の溶接ロボットマニュアル評価実験は、予備実験1回と本実験2回の計3回実施した。ここでは、実験の実施概要に加えて、作業成功に有効だった変更点の例を説明する。

#### 5.3.1 予備実験

本実験を行う前に、実験タスクの確認と、作成した非専門家向けマニュアルの最終確認のために、マニュアルを作成した筆者が、実際に、溶接ロボットマニュアルを用いて、溶接作業を行った。筆者は、専門家の作業風景を見学したことはあったが、実際に作業するのはこの時が初めてであった。作業した結果、溶接を成功させることができたが、マニュアルに改善すべき点が見られたので、本実験に向けて修正を行った。

#### 5.3.2 本実験実施概要

本実験では、溶接ロボットや溶接機の電源を投入し、溶接作業を行い、電源を落とすまでの、溶接ロボットを使用する一連の作業を実験タスクとした。また、溶接は、初心者でも実施しやすい、角継手の片引きをすることとした。本稿執筆時点で、マニュアル手順数は104手順である。1回の実験につき、被験者を2名募集し、約2時間の専門家(iCOM 技研スタッフ)によるコアトレーニングを受講した後、マニュアルを参照しながら、1名ずつ溶接作業を実施させた。さらに、溶接作業では、失明や火傷する恐れがあるので、溶接面や手袋を使用するよう、実験前に説明した。

#### 5.3.3 実験結果

第1回と第2回の実験結果を表2、3に示す。被験者4名とも、間違えて作業完了させたり、作業を読み飛ばしてしまったり、などのいわゆる作業失敗をすることなく、すべての手順を正しく完了させることができた。このことより、溶接に特化したコアトレーニングとマニュアルによって、非専門家自身が溶接ロボットで溶接作業を実施できることを確認した。また、第1回実験からコアトレーニングやマニュアル内容を改善したことで、第2回実験の方が遠隔支援の回数が減少していることが分かった。しかし、第2回の方が短縮されると予想していた所要時間については、第1回実験と大きな差は見られなかった。これは、被験者の性格によるものではないかと考えている。被験者Bは、マニュアルに添付されている動画を一通り視聴してから作業していたので、所要時間が長くなった。それに対し、被験者AやDは、作業中に分からないことがあった時だけ動画を視聴していたため、所要時間が短い結果と

なった。慎重な作業者があまり頻繁に動画を参照しなくても済むように、コアトレーニングと作業時に視聴する動画をなるべく同じようにして安心させる方法や、動画を効率よく視聴できるように分割の仕方を工夫するなどの方法を考えている。

表 2: 第1回評価実験結果

被験者	正しく作業完了		作業失敗	所要時間
	遠隔なし	遠隔あり		
A	90 手順	2 手順	-	1 時間 6 分
B	83 手順	9 手順	-	1 時間 58 分

表 3: 第2回評価実験結果

被験者	正しく作業完了		作業失敗	所要時間
	遠隔なし	遠隔あり		
C	104 手順	-	-	1 時間 36 分
D	102 手順	2 手順	-	1 時間 10 分

#### 5.3.4 第1回評価実験からの変更点

第1回実験で被験者が作業進行に詰まったり、遠隔支援を利用したりした手順を抽出し、第2回に向けてコアトレーニングやマニュアルの内容を変更した。第2回実験終了後、作業の成功に影響した変更点を分析し、それらを一般化して分類した。溶接ロボットマニュアル評価実験で得た分類と、それに対する変更点の例を表4に示す。以下では、主な分類を2つ紹介する。

##### 分類「コアトレーニング」

まず、1つ目は、「コアトレーニング」である。iCOM 技研株式会社では、今まで協働ロボット全般知識を教えるコアトレーニングしか実施したことがなく、とある作業に特化した内容で実施するのは初の試みであった。そのため、第1回実験時のコアトレーニングは、アームの動かし方やロボットの設定方法など、協働ロボット全般知識について説明を約55分、溶接ソフトの使い方や溶接ロボットでのティーチング方法など、溶接ロボットの知識についての説明を約47分で実施した。その結果、被験者がコアトレーニングで習った内容を使わずに作業したり、習った内容を遠隔支援で質問したりすることが起こった。また、第1回実験後の被験者インタビューで「コアトレーニングと実際の作業とのギャップがあり、作業中に戸惑った」という声があがった。

この結果を受けて、第2回実験では、溶接に関する内容を増やし、協働ロボット全般知識についての説明を約38分、溶接ロボットの知識についての説明を約1時間3分で実施した。また、コアトレーニングの最後に溶接ロボットを直接見学する時間を約15分設けた。その結果、被験者は、マニュアルには記載していない、コアトレーニングで習った知識を活かして作業した。第2回実験後の被験者インタビューでは「時間配分に関しての不満はなく、不要な知識もなかったと感じる」という意見が出た。

表 4: 分類とそれに対する変更点の例

分類	効果があった変更点の例
具体的な指示	動画の字幕に書いてある内容をマニュアルにも記載する (設定をどう確認するのか等)
作業手順	仮止めの順番や溶接トーチの角度をマニュアルで指定
リンクコンテンツ	画面の中で確認すべき箇所を、動画や画像で四角で強調表示
配布資料	目安表の中で、今回使用するロボットにおいて不要となる部分を削除
コアトレーニング	溶接に関する内容の割合を多くし、溶接ロボットを見学する時間を設けた

このことから、このコアトレーニング内容の変更点は作業成功に影響したと判断し、分類「コアトレーニング」とした。

#### 分類「具体的な指示」

2つ目は、「具体的な指示」である。第1回実験時のマニュアルは、コアトレーニングや添付動画の内容はあまり詳しく記載せず、作業の粒度を粗めに作成した。しかし、それが原因で、被験者が具体的な作業内容を理解できず、遠隔支援を何回も利用することとなった、また、作業内容を把握するために、毎回動画を視聴する必要が出てくるため、余計に作業時間を要してしまうことが分かった。

そこで、第2回実験時のマニュアルでは、動画の字幕に書いてある作業、言い換えれば、字幕に埋め込むことでマニュアルから除いていた手順を、マニュアルにも作業手順として記載するようにした。その分手順数が増えてしまったが、結果として、マニュアルの粒度が小さくより適切な大きさとなり、被験者が作業内容を理解できるようになって、被験者自身のみで作業を達成することができた。

このことから、この作業の粒度を適切な細かさにするという変更点は作業成功に影響したと判断し、分類「具体的な指示」とした。

## 6 マニュアル構築ガイドラインとその評価実験

前節で述べた実験に基づいて、専門家自身が、非専門家向けマニュアルを作成できるような、マニュアル構築ガイドラインを、先行研究で作成したものから改善した。本節では、そのガイドラインの紹介と、ガイドラインの評価実験の実施概要の説明を行う。

### 6.1 マニュアル構築ガイドライン案

下記に、作業を成功に導くようなマニュアルを機能分解木で構築するためのガイドラインを示す。ガイドラインの各項目の後の括弧内には、そのガイドラインの根拠となった、変更点の分類を示している。このガイドラインは、協働ロボットマニュアルをモチーフとして作成したが、対象は協働ロボットマニュアルに限

らず、作業マニュアル全般に使われることを想定している。また、マニュアルの作成手順を記載しているのではなく、非専門家向けマニュアルを作成する上での心得のようなものを表している。なお、このガイドライン利用者は、機能分解木を用いて、作業手順を表現することは出来るものとする。

#### マニュアル構築のガイドライン案：

1. 非専門家向けマニュアルは、作業者の安全を守るのとは大前提として、その上で、非専門家自身がマニュアルを見て作業をスムーズに行うことができるマニュアルを目指す。
2. 作業マニュアルは、1回目は危険回避、2回目は機能的な問題、3回目以降は分かりにくい言葉の追記など、機能分解木を用いて数回試作するものである。被験者による利用実験を複数回行うことでさらに改善を行うこと。
3. 作業者の安全を守るための手順と、専門家と非専門家間で定義が異なる言葉については必ず書く。(マニュアルコンテンツ)
4. 指示の粒度は荒すぎず細かすぎず、適切な細かさにする。実験を行い、被験者が迷った手順については、指示の粒度を小さく、具体的に示す。(具体的な指示)
5. 作業をより行いやすくする手順についても、記載を心がける。(作業手順)
6. 作業を達成する方法が複数あり、どの方法でもよい場合、非専門家が迷わないよう、「どちらでもよい」という曖昧な表現は避け、どれか1つの方法を推奨する。(作業手順)
7. 作業全体の精度を決定づけるような重要な作業については、マニュアルの指示を多角的にする。(多角的な表現)
8. その作業で考えられるエラーや、その手順を実施しなかった場合に起こる不具合は、阻害要因としてマニュアルに示す。(阻害要因の提示)
9. 文面だけで説明しにくい作業は動画や画像コンテンツで説明を補う。その際、マニュアルの内容と相違がないよう心がける。特に注目すべき箇所は強調する。(リンクコンテンツ)
10. 作業を行うために必要な、部品の名称や基礎的な作業の仕方など周辺知識についての資料は、マニュアルもしくはマニュアルに付属させるドキュ

メントに含める。なお、ドキュメントは作業に必要な情報のみが載っているものにする。特に注目すべき箇所は強調する。(配布資料)

11. 作業をスムーズにすることが見込めるのであれば、マニュアル周辺機器についても指示をする。(タブレット周辺機器)
12. 初期の実験で、マニュアルが見つらい、読みづらいなどの課題が明らかになった場合は、マニュアルのインタフェースそのものを変更する可能性を考える。(タブレットインタフェース)
13. 現場のマニュアルが常に正しいとは限らない。実験を重ねて、現場マニュアルの誤りが発覚した場合には、マニュアルそのものを修正するとともに、現場にフィードバックする。(マニュアルコンテンツ)
14. マニュアルを補う目的でコアトレーニングを実施してもよい。コアトレーニング(事前講習)を行う場合、実施する予定の作業に即した内容にする。座学だけでは伝わりにくい場合、実際に作業しながら説明を行う。(コアトレーニング)

## 6.2 ガイドライン評価実験

上記で示したガイドラインを用いて、専門家に、非専門家向けのマニュアルを作成させる、マニュアル構築ガイドラインの評価実験を現在実施している。その実験の実施概要について説明する。

被験者はiCOM 技研株式会社スタッフ1名で、溶接コアトレーニングの講師を担当している人である。この被験者に、マニュアル構築ガイドラインを参照しながら、機能分解木を用いて、溶接コアトレーニング実施のマニュアルを作成してもらう。作成するマニュアルの仮定としては、マニュアル利用者は溶接ロボットの知識はあるが、コアトレーニングの講師をしたことがない非専門家を想定し、マニュアルを見て、溶接コアトレーニングを最後まで実施することができるものである。被験者に2週間程度で作成を依頼しており、作成終了後、評価をする予定である。

## 7 おわりに

本研究では、機能分解木を用いたマニュアル構築ガイドラインの一般化を目的として、2機種目となる溶接作業を行う協働ロボットの非専門家向けマニュアルの試作を行った。1機種目のパレタイザー X のマニュアルと違い、コアトレーニングを溶接に特化した内容にしたり、溶接条件を試行錯誤する手順をマニュアルに反映させたりした。その結果、計3回のマニュアル評価実験から、溶接コアトレーニングとマニュアルで、非専門家でも溶接作業が実施できることを確認した。ま

た、実験を行う中で、実験条件を変更し、作業の成功に影響した変更点を分類した。その分類をもとに、先行研究で作成したマニュアル構築ガイドラインを改善した。

今後は、マニュアル構築ガイドラインの評価実験として、専門家がガイドラインを参照しながら作成したマニュアルを、我々が見て、コアトレーニングが実施できそうかどうかでマニュアルの評価を行う予定である。その後、被験者にインタビューを実施し、マニュアルの評価と合わせて、ガイドラインの有効性を確認したいと考えている。

また、このガイドラインは、機能分解木が記述できることを前提としているが、機能分解木の作成方法に関しては、未だにあまり手順化されておらず、機能分解木を利用したことがない人にとっては、マニュアルどころか、そもそも機能分解木を作成することが難しい。そこで、本研究チームでは、機能分解木構築ガイドラインも検討している。これと本研究のガイドラインを組み合わせることで、専門家が簡単に非専門家向けマニュアルを作成できると考える。

## 参考文献

- [1] 一般社団法人日本ロボット工業会, ロボット産業ビジョン 2050 Ver.0, [https://www.jara.jp/publications/img/vision/visionver0\\_booklet.pdf](https://www.jara.jp/publications/img/vision/visionver0_booklet.pdf), (2023年5月刊行)
- [2] 平岡あおい, 他, 機能分解木を用いたマニュアル作成方法論についての一検討-非専門家による協働ロボット導入作業の適用事例-, 第37回人工知能学会全国大会予稿集, 3R1-GS-3-05, 2023
- [3] 三波千穂美, 他, マニュアルの構成要素から見た高齢者向け携帯電話マニュアルの現状と課題: 高齢者の身体・心理的特性から想定される問題への対応に関して, 情報メディア研究, 12巻, 1号, pp.14-27, 2013
- [4] 来村徳信, 他, オントロジーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計支援における利用, 人工知能学会論文誌, 17巻, 1号, 2002
- [5] 笹嶋宗彦, 知識工学の手法を用いた協働ロボット導入支援の試み, 人工知能学会誌, Vol.37, No.3, pp.292-298, 2022
- [6] 松本健汰, 他, 協働ロボットの遠隔での非専門家による構築を実現するための専門家ノウハウの収集とマニュアル化の検討, 第36回人工知能学会全国大会予稿集, 4M3-GS-3-02, 2022