

作業マニュアル作成初心者のための機能分解木構築方法論の検討

A Methodology for Constructing Functional Decomposition Trees for Beginners in Work Manual Creation

堺 貴彦¹
Takahiko Sakai¹

* 笹嶋 宗彦¹
Munehiko Sasajima¹

¹ 兵庫県立大学
¹ University of Hyogo

Abstract: Functional decomposition trees are a useful method for structurally describing work manuals, including know-how, but they are difficult for beginners to create. This study analyzed functional decomposition trees created by beginners to identify common stumbling blocks and error patterns. Based on these results, we devised “Functional Decomposition Tree Construction Guidelines” and conducted an evaluation experiment. Experimental results revealed that determining the appropriate “level of detail for tasks” to create effective manuals is difficult for beginners. Furthermore, an evaluation experiment assessed the impact of the guidelines on beginners, confirming their effectiveness.

1 はじめに

機能分解木 [1] は、作業を目的と手段の関係に基づいて階層的に整理し、作業の構造や判断基準を明示的に記述できる表現手法である。この特徴により、作業手順だけでなく作業者の暗黙知や作業を行う際の意図を含めて、整理・共有することが可能であり、作業マニュアルの作成にも活用できるとされている [2]。

筆者らの研究チームでは、協働ロボットを題材として、専門家が非専門家向けの作業マニュアルを自ら作成できるようにすることを目的とした研究を進めてきた。先行研究 [2] では、機能分解木を用いて、非専門家に作業手順を伝達するための「マニュアル構築ガイドライン」が検討され、その有効性が確認された。マニュアル構築ガイドラインは、非専門家に向けた、作業内容の説明方法や作業マニュアルを作成する上での注意点など、作業マニュアルの記述方針を定めたものである。

一方で、作業マニュアルの基盤となる機能分解木の構築方法については、具体的な手順や判断基準が十分に整理されておらず、多くの現場作業の専門家が機能分解木の初心者であるという実情に対応できていない。機能分解木は上位機能を達成するために必要な部分機能を階層的に整理し、その関係性を木構造として表現するものであり、作業の全体構造を把握するうえで有効であるが、初心者が適切な粒度や構造で記述するこ

とは容易ではない。

そこで本研究では、機能分解木の初学者を対象として、構築過程で生じる誤りやつまずきの傾向を分析し、それを踏まえて「機能分解木構築ガイドライン」を考案した [3]。さらに、ガイドラインの有効性を検証するため、2 回の評価実験を実施し、機能分解木の構築過程や作業粒度の改善に関する効果を検討した。その結果、作業の粒度に対する理解が深まり、利用者を意識した詳細な作業の記述が促される傾向が確認された。本論文では、第 1 回評価実験の結果とそれを踏まえたガイドライン改訂の内容、第 2 回評価実験の結果を報告する。

2 機能分解木について

本研究では、作業手順を階層的に記述する手法として機能分解木を用いた。本節では機能分解木について説明する。

機能分解木とは、実現したい機能を達成するために必要な部分機能を列挙し、それを木構造として表現したものである [1]。具体的には、上位機能を達成するために必要な部分機能を段階的に分解し、それぞれの関係性を明示的に示すことで、全体の機能構造を視覚的に整理する表現手法である。この木構造では、根の部分が最も上位の機能を表し、そこから枝分かれする形で部分機能を階層的に配置して表現する。

機能分解木におけるノードとは、部分機能として分解された特定の作業や機能を意味している。ノードに

*連絡先：兵庫県立大学社会情報科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: ad24z024@guh.u-hyogo.ac.jp

は、作業や機能の目的、具体的な作業内容、作業や機能が達成される条件などが記載されることが一般的である。

また、方式とは、上位機能を実現するための具体的な手段や方法を指す [1]。例えば、「木を切る」という機能を達成するためには、「のこぎりで切る」や「チェーンソーで切断する」などの異なる方式が考えられる。

適用条件とは、「作業を達成する上で満たしておくことが望ましい条件」とされている。阻害要因は、「その作業を行っている際に起きてはならないことやリスク」を記述し、その直下にリスクの解決策を記述するものである。例えば、「木を切る」という作業において、適用条件であれば「周囲の安全確認を行う」と記述し、阻害要因であれば「チェーンソーから異音がする」というリスクに対し、「作業を中断し、離れた場所でチェーンソーの点検を行う」という解決策を記述することが考えられる。

機能分解木において、ノードに記述された作業は、左から右へと進行し、その進行途中のノードに更なる下位ノードが存在する場合は、それらの作業を実施することで上位の作業が達成される。

3 初学者の作成した機能分解木の観察と考察

本研究では、2名の機能分解木初学者が作成した機能分解木を対象に、機能分解木として適切に記述できているのかを基準として観察した。

なお、本研究における「機能分解木の初学者」とは、ノードや方式といった単語は知っているが、実際に自身で機能分解木を作成した経験がない人を指す。本節では、初学者の作成した機能分解木について観察と考察を行った結果の概要を示す。詳しくは [3] を参照されたい。

3.1 学生の作成した機能分解木

学生は、簡易症状問診システムの構築のために、病院における簡易症状診断を対象として機能分解木を作成した。簡易症状診断とは、病院の受付で発熱の有無などの病状に関して質問を行い、患者の緊急性や適切な診療科を判断するための初期情報収集作業である。学生が作成した機能分解木では、作業手順が上から下に流れるフローチャートのような形式となっており、横並びのノードがすべて同一の作業内容を持つなど、下位ノードの達成によって上位ノードが達成されるという機能分解木の基本的な規則が守られていなかった。また、このテーマである「簡易症状診断」は、症状の有無を確認する性質上、場合分けが多く、機能分解木で表現するには不向きなテーマであると考えられた。

そこで筆者らの研究チームは、症状の確認と患者へ

の指示を行う作業が機能分解木で適切に記述できるかを検証することを目的として、新たに機能分解木を作成した。その結果、重複していた場合分けを統合することで、患者への指示が決定した時点で診断を終了し、指示を行うことができる構造となった。このことから、場合分けの多いテーマであっても、必要な場合分けと不必要な場合分けを整理し、必要最小限に抑えることで、機能分解木として適切に表現できることが明らかとなった。

3.2 作業の専門家が作成した機能分解木

溶接ロボットのユーザーの基礎教育を目的として、作業の専門家は「溶接コアトレーニング」を対象に機能分解木を作成した。溶接コアトレーニングとは、非専門家が溶接作業を安全かつ効率的に行うために必要な知識やスキルを学ぶ内容である。専門家は、作業の粒度を適切に設定することが最も難しく、特に想定するマニュアル利用者のスキルレベルに応じて調整が必要である点を課題として挙げた。また、適用条件（黄色ノード）は「できれば満たしておきたい条件」、阻害要因（ピンクノード）は「絶対に満たさなければならない条件」として使い分けるなど、独自の運用が見られた。さらに、方式ノードの記述ルールが不明瞭であったため、どのようにノードを分けるべきか判断に迷う場面があったと述べており、参考となる機能分解木のサンプルを提示することで、これらの課題が解決できると考えられる。

4 初学者に向けた機能分解木構築ガイドラインの検討

本研究では、初学者による機能分解木の作成で確認された課題を踏まえ、「機能分解木構築ガイドライン」を検討した [3]。このガイドラインは、初学者が疑問に感じやすい問題について記載しておくことで、適切な形式の機能分解木を作成できるようになることを目的としている。本節ではその内容について説明する。

機能分解木構築ガイドライン案：

1. 作業内容の理解に必要なノード数は作業の難易度によって変化するため、ノード（作業手順）数は必ずしも少なければ良いというわけではない。
2. 初学者が行うことを想定して可能な限り具体的に作業の（機能）分解を行う。主観的な判断で記述を省略したり粒度を大きくしたりすることは避けるべきである。（マニュアルを利用する際は自身のスキルレベルに応じて、表示する作業の抽象度や粒度を調整する）

3. 作業は左から右方向へ順になるように書かなければならない。
4. 下位ノードが全て達成されることで上位ノードが達成されなければならない。
5. 1つのノードにつき作業は1つしか入れてはならない。(手順が複合してはならない)
6. 作業を達成する上で用いる方法(原理)が異なる場合は「方式」を分ける。
7. 適用条件は1つ右の作業を達成する上で満たしておくことが望ましい条件として記述する。また、阻害要因はリスクとして「失敗の内容」を記述し、その直下に青色ノードで「解決策」を記述する。

ガイドライン第2項目のノードと粒度について述べる。ノード数については、「ノード(作業手順)数は必ずしも少ないほど良いというわけではない」とし、作業の難易度に応じた柔軟な調整が必要であると考えた。作業の難易度が高い場合には、より詳細な作業手順を示すために下位ノードを増やすことが適切であると考えた。

また、マニュアルを利用する非専門家のスキルレベルに応じて、作業手順の詳細度を調整する必要性についても検討した。専門家が作成した機能分解木では、前工程で行った作業は理解しているものとして、記述を省略することが見られた。省略された部分の作業を見ると、その記述のみでは作業の達成が難しく、前工程まで電子マニュアル上で遡り、現在行っている作業のノードと往復しながら確認する必要があった。これは結果として作業効率を悪化させるため、作業に関する記述は可能な限り詳細に行うべきであると考えられる。この点に関しては「想定される利用者の知識レベルに応じて作業について詳細な記述を省略しがちであるが、作業マニュアルとして利用するためには可能な限り詳細な記述を心がけるべきである」と考えた。

一方で、作業を詳細に記述する場合、ノード数が増加しマニュアルが膨大になってしまうという問題に関しては、初心者が下位ノードに詳細な手順を記載した内容を通じて、正確に作業を達成できるようにすると同時に、熟練者は上位ノードを中心に閲覧し、必要に応じて下位ノードを展開して読むという形式を検討した。この形式は、機能分解木が抽象度に応じて階層化されているという性質と、FWTエディタのノードをクリックすることで下位ノードを展開、収納して表示できるというインタフェース機能を利用したものである。初心者は、葉のレベルまで表示したマニュアルを参照することで詳細に作業を理解できる一方、熟練者は、下位の階層を収納して上位階層のノードのみを表

示し、必要最小限の情報のみを参照することで、迅速に作業を行うことが可能になると期待される。このことから、「マニュアルを利用する際は自身のスキルレベルに応じて、表示する作業の抽象度や粒度を調整する」という内容をガイドラインに取り入れた。すべての作業について網羅的に詳細な記述を行うと、電子マニュアルでの工程数が膨大となるため、現場で実際に使用する場合に、読み飛ばしのエラーが起きる場合があるなどの問題が先行研究[2]で報告されているが、この形式を用いることで、初心者と熟練者の両方のニーズに対応した作業マニュアルとして活用できるのではないかと考えられる。

また、機能分解木における基本原則である、「下位ノードが達成されることで上位ノードが達成しなければならない」や「1つのノードにつき作業は1つしか入れてはならない(手順が複合してはならない)」について明記した。これらは基礎的な内容ではあるが、機能分解木の構築において不可欠な要素であり、その重要性からガイドラインに取り入れるべきであると判断した。また、「作業は左から右方向へ順になるように書かなければならない」という項目については、初学者が作成した機能分解木において、上から下方向に作業が進行するフローチャート型の機能分解木が作成されたことを受けて、ガイドラインの一部として取り入れた。

さらに、方式をどのような判断基準で用いればよいのかについては、機能分解木を作成した際に、初学者から「方式の使い方がよくわからなかった」という指摘を受けた事を踏まえ、「作業を達成する上で用いる方法(原理)が異なる場合は方式を分ける」という内容をガイドライン案に取り入れた。この指針により、作業を達成する上で用いる道具や方法、原理が異なる場合には、方式を分けて記述しなければならない、ということについて、初学者が理解しやすくなると考えた。

最後に、適用条件と阻害要因に関しては、初学者が独自の解釈で利用していたことから、適用条件は「右の作業を達成する上で満たしておくことが望ましい条件」であり、阻害要因は、リスクとして「失敗の内容」を記述し、その下に青色ノードで「解決策」を記述する、という内容を新たなガイドライン項目として取り入れた。これにより初学者が適用条件と阻害要因を正しい形で利用できるのではないかと考えられる。

5 提案ガイドライン評価実験1

第1回評価実験では、学生10名に「自身の得意な作業」をテーマとして、機能分解木を作成してもらった。この際に、機能分解木構築ガイドラインを配布し、作成される機能分解木にどのような影響を与えるのかを観察した。本節では、第1回評価実験の結果の考察と得られた知見から修正を行った「機能分解木構築ガイ

ドライン第2版」について説明する。

5.1 実験概要

学生10名に対し、アルバイトの業務内容や趣味などの「自身の得意な作業」について、その作業を行ったことのない初心者には作業内容が伝わるような機能分解木を作成するというテーマを与えた。まず、機能分解木の概要および機能分解木を作成するためのツールであるFWTエディタの操作方法について説明を行った。その後、各学生に、テーマに沿った機能分解木の作成を行わせた。作成作業終了後に、「機能分解木構築ガイドライン」を学生に配布し、ガイドラインの各項目の内容について解説を行った。自身の作成した機能分解木の中で、誤った記述をしていた箇所や表現できていなかった作業について、配布したガイドラインを参考に、修正・追記作業を行わせた。その後、学生に「ガイドラインがあることで機能分解木は作成しやすくなったのか」、「ガイドラインのどのような点が機能分解木作成において役立ったのか」、「機能分解木作成においてどのような要素の理解が難しいと感じたか」についてのアンケートを実施した。実験の流れを以下に示す。

1. 機能分解木とFWTエディタの基本的な機能について説明を行う。
2. 機能分解木構築ガイドラインなしで、「自身の得意な作業（趣味・アルバイトなど）」についての機能分解木を作成してもらう。
3. 機能分解木構築ガイドラインを配布し、内容について説明を行う。
4. ガイドラインを参考にして、2.で作成した機能分解木について修正・改良を行ってもらう。
5. ガイドラインについてのアンケートに回答してもらう。

5.2 実験結果

学生10名が作成した機能分解木の分析結果およびアンケートの結果について示す。得られた結果は、作成された機能分解木の内容分析とアンケート回答の2つの観点から整理した。

学生が作成した機能分解木の内容を分析した結果、多くの学生が「1ノードにつき作業は1つしか入れてはならない」という原則を正しく適用しており、また「方式」の利用についても概ね適切に記述できていた。さらに、「適用条件」や「阻害要因」といった機能分解木特有の記述方法についても、自身のノウハウをマニュアル利用者へ伝えるために活用できている例が見られた。これらの点から、作業マニュアルとして用いる上

での機能分解木の正しい記述方法の理解に、ガイドラインの提示が一定の効果をもたらしたと考えられる。

一方で、「作業の粒度（どの程度まで作業を詳細に記述するか）」については、5名の学生の作業内容の記述が不十分であり、このままでは、マニュアルの利用者に伝わらないと考えられる箇所が多数見られた。この点は、ガイドラインに示す指針や、配布資料に記載する具体例の内容に、改善の余地があると考えられる。

アンケート結果においても同様の傾向が見られた。アンケート結果を図1に示す。

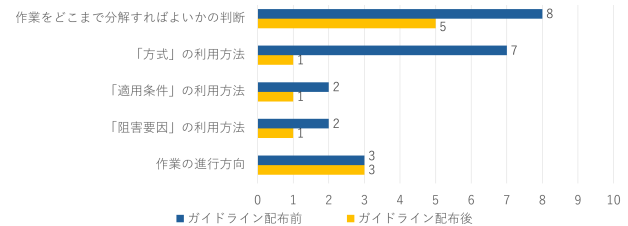


図1: 機能分解木を(ガイドラインなし/あり)で作成した際に、難しいと感じた点や理解できなかった点にすべてチェックを入れてくださいに対する回答

「方式」の利用方法（第6項目）については、図1の選択式回答で、ガイドライン配布前には7名が「難しい・理解できなかった」と回答していたが、ガイドライン配布後には1名まで減少した。また、「1つのノードに作業は1つしか入れてはならない」（第5項目）については、「複数の作業を1つのノード内に記述していたが、ガイドラインを参考にすることで間違いに気付くことができた」といった回答が記述式回答から得られた。以上のことから、ガイドラインが初学者の理解度向上に有効であることが示唆された。特に、配布資料中で正解例と誤例を比較して示したことが、理解度の向上に寄与したと考えられる。

一方、「作業の粒度」および「作業の進行方向」に関しては依然として理解が不十分であり、後者については、ガイドライン配布前後で大きな変化が見られなかった。

これらの結果を踏まえ、「機能分解木構築ガイドライン第2版」として「作業の粒度」に関する新たな指針を検討する。また、「作業の進行方向」については、より具体的な解説を配布資料に追記し、作業の進行順序を視覚的に示すことで理解の支援を行った。

5.3 機能分解木構築ガイドライン第2版

第1回評価実験の結果を踏まえ、機能分解木構築ガイドラインの内容を見直し、「機能分解木構築ガイドライン第2版」を作成した。機能分解木構築ガイドライン第2版では、主に「作業の粒度」に関する指針の明確化と、「作業の進行方向」に関する配布資料の改良を行った。

まず、「作業の粒度」(第2項目)については、「作業の粒度(どこまで詳細に説明するか)はマニュアルの試作と実験を繰り返す過程において、マニュアル作成者と利用者との間で合意を形成することで決定するべきである。」という指針へと改訂した。これは、ガイドライン第1版の第2項目における「初学者が行うことを想定して可能な限り具体的に作業(機能)の分解を行う。主観的な判断で記述を省略したり粒度を大きくしたりすることは避けるべきである。マニュアルを利用する際は、自身のスキルレベルに応じて、表示する作業の抽象度や粒度を調整する。」という内容を見直したものである。第1回評価実験の結果から、初学者にとって「可能な限り詳細に作業を記述する」という指針は抽象的であり、結果として作業内容の記述が不十分な機能分解木が多く作成された。

この結果を受け、ガイドライン第2版では、マニュアルの作成を行う作業の専門家とマニュアル利用者の双方が、どの程度まで作業を詳細に記述すべきかを議論し、合意を形成する過程を経て、適切な粒度を決定するべきであるという指針を示した。

また、配布資料の改訂として、「作業の粒度」に関しては、機能分解木上で上位ノードから下位ノードに進むにつれて、作業の粒度が「抽象的」から「具体的」へと変化することを視覚的に理解できるように、実例を追加し、解説する項目を新たに設けた。図2に配布資料に追記した内容を示す。

作業の粒度(詳細度)について

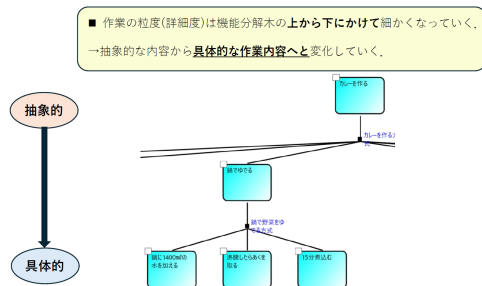


図2: 作業の粒度

さらに、「作業の進行方向」については、単にノードに番号を付与するだけでなく、作業がどのような順序で進行していくのかを具体的に示す説明を追記した。配布資料に追記した内容を図3に示す。これにより、機能分解木における作業の流れをより明確に把握できるよう配慮した。

6 提案ガイドライン評価実験2

第2回評価実験では、第1回評価実験で明らかになった課題を踏まえ、改訂したガイドライン第2版の有効

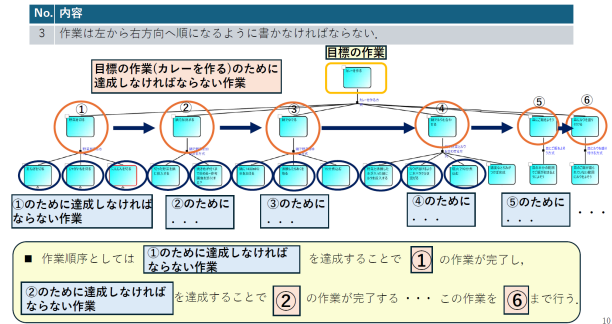


図3: 作業の進行方向

性を検証することを目的とした。特に、第1回評価実験において初心者が困難を感じていた「作業の粒度」に着目し、ガイドライン第2版に新たに追加された「作業の粒度について合意を形成する過程」をフィードバックとして位置付け、この過程が「作業の粒度」にどのような影響を及ぼすかを観察した。本節では、その詳細について説明する。

6.1 実験概要

第2回評価実験は、学生8名を対象に実施した。参加者には、第1回評価実験と同様に「自身の得意な作業」をテーマとして機能分解木を作成してもらった。第1回評価実験との主な差異は、機能分解木構築ガイドライン第2版に新たに追加した「作業の粒度(どこまで詳細に説明するか)はマニュアルの試作と実験を繰り返す過程において、マニュアル作成者と利用者との間で合意を形成することで決定するべきである。」という指針に対し、作業の初心者であるマニュアル利用者の視点から、フィードバック資料を作成し、マニュアル作成者に配布するという過程を経ることで、初心者の作成する機能分解木にどのような影響を与えるのかを観察するという点である。実験の工程としては、第1回評価実験の内容に加えて、ガイドライン配布後に作成された機能分解木に対し、研究チーム内で議論を行い、フィードバック資料を作成者に配布し、それを参考に修正・追記作業を行うという工程を追加した。

第1回評価実験と同様に、1~4の手順を実施した後、以下の手順を追加で行った。

5. 提出された機能分解木に対して、実際に作業が実施可能かどうかを基準にフィードバック資料を作成する。
6. 参加者にフィードバック資料をもとに、再度、修正・改良を行ってもらう。
7. 参加者にアンケートに回答してもらう。

6.2 実験結果

作成された機能分解木を分析した結果、多くの学生が与えられたフィードバックを参考に修正作業を行い、後述する通り、マニュアルの想定利用者が求める作業の粒度について理解を深めた様子が確認された。学生がフィードバック資料を利用し、修正・追記作業を行った機能分解木を図4に示す。

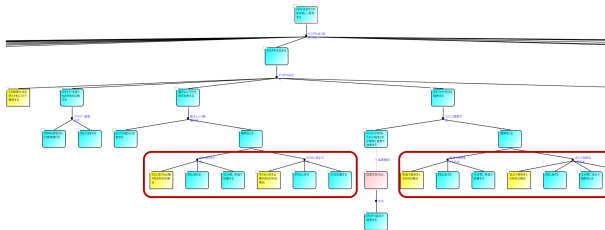


図 4: 学生が修正追記作業を行った機能分解木 (一部)

作業マニュアルの想定利用者を「対象とする作業の初心者」として意識し、作業をより詳細に記述しようとする傾向も見られた。たとえば、フィードバック資料において「粗熱をとる」という作業ノードに対し、「どのような作業を行うことで達成されるのかを具体的に記述してください」と指摘したところ、修正後の機能分解木では「ざるにあげる方式」と「ボウルに移す方式」の2種類が新たに作成され、「○分間常温で放置する」といった具体的な作業手順が追加されていた。また、「風袋を測定する」という記述に対しては、「風袋(パックのみの重さ)を測定する」と追記され、作業マニュアルとして用いる際に、ノード単体で意味が理解できるように改善されていた。このように、フィードバックを通じてマニュアル利用者が求める粒度へ近づける修正が行われていたことが確認された。

アンケート結果からは、フィードバック資料に関する意見や、新たな課題が見られた。フィードバック資料に関して、実験参加者からは、「機能分解が不十分な点を具体的に指摘してくれた点が修正・追記作業に役立った」、「修正の際に意識してほしい部分を太字にしていることで、何を意識して修正すればよいか分かりやすかった」といった意見が記述式回答から得られた。これらの結果から、フィードバック資料の内容は修正・追記作業に適した形式であったと考えられる。一方で、「適用条件」に関しては、ガイドラインには「達成が望ましい作業」と記載していたが、通常ノードの「達成すべき作業」との明確な区別が難しく感じたという意見が得られた。また、新たな課題として、「作業の中で『してはならない作業(禁止事項)』について、どのように記述すればよいかのわからなかった」といった意見も記述式回答から得られた。

6.3 考察・今後の検討

第2回評価実験を通して、ガイドライン第2版が「作業の粒度」の理解度向上に寄与する傾向が見られた。特に、フィードバックを通じて修正作業を行う過程が、マニュアル作成者にとって初心者の求める作業の粒度を理解する上で、有効な取り組みであることが示唆された。一方で、「適用条件」と「通常ノード」の違いについては、配布資料に、適切な事例を示しつつ、明確に説明する必要があることが明らかとなった。また、「してはならない作業」については、従来の機能分解木の枠組みでは直接的に表現することが難しかったため、新たな記述方法の定義が必要と考えている。

7 おわりに

本研究では、機能分解木構築ガイドライン第1版を基に、第1回評価実験の結果から得られた知見を反映し、機能分解木構築ガイドライン第2版を提案した。ガイドラインの改善では、初学者が特に理解に苦しんでいた「作業の粒度」に関する指針を中心に見直し、「作業の進行方向」については、具体例の提示や図による補足を追加することで、理解を支援する工夫を行った。第2回評価実験の結果、ガイドライン第2版の提示によって、作業の粒度に対する理解が深まり、利用者を意識した詳細な記述が促される傾向が確認された。さらに、フィードバックを通じた修正作業が、マニュアル作成者にとって利用者の視点を理解し、より適切な粒度を形成するうえで効果的であることが示唆された。

今後は、「してはならない作業(禁止事項)」などの、現在の機能分解木の記述方法では表現の難しい事象に関して、作業マニュアルとして適した記述方法を検討するとともに、初学者にとってより有用なガイドラインへと発展させることを目指したい。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 平岡 あおい, 山口 知彦, 笹嶋 宗彦, 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, 人工知能学会合同研究会 2024 インタラクティブ情報アクセスと可視化マイニング予稿集, SIG-AM-33-01, pp.1-8, 2024.
- [3] 堺 貴彦, 平岡 あおい, 山口 知彦, 笹嶋 宗彦, マニュアル作成のための初学者に向けた機能分解木構築方法論の一検討, 第 39 回人工知能学会全国大会論文集, 1L5-OS-15-03, 2025.