

修士論文

指導現場で生じるインタラクションに基づいた
大規模言語モデルによる熟練者の知識構造化支援
ー 社交ダンスを例として ー

石井 遼太郎

主指導教員 西村 拓一

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
(知識科学)

令和7年3月

Abstract

技能継承は高齢化社会の重要課題である。従来、技能継承は主に教科書やマニュアルを通じて行われてきた。しかし、これらの文書だけでは熟練技能者が長年の経験から獲得した暗黙知や微妙なコツを十分に伝えきれないという問題がある。この問題を解決するために熟練者の暗黙知を様々な角度から抽出可能な知識構造化という手法がある。本研究では、大規模言語モデル (LLM) を活用し、チャット履歴を自動解析して新たな技能要素を抽出し、知識構造化を支援するシステムを提案する。本システムは既存の動作モデルに対し、どの時点で手順やコツを追加・修正すべきかを提案する。これにより、熟練者の経験に基づく動作の技能を効率的に表出化し、学習者の技能習得を促進することが期待される。本研究では社交ダンスを例として大規模言語モデルの可能性を検証する。

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	関連研究	4
2.1	”知識”とその抽出に関する研究	4
2.2	指導現場に着目した研究	7
2.3	LLM を活用したナレッジマネジメントシステムの研究	8
第 3 章	提案手法	9
3.1	提案手法の概要	9
3.2	提案手法の仕組み	10
第 4 章	実験	12
第 5 章	結果	13
第 6 章	考察	14
第 7 章	まとめ	15
付録 A	資料	18

目次

3.1	提案手法の全体像	11
-----	--------------------	----

表目次

4.1	表のキャプション	12
-----	--------------------	----

第1章 はじめに

- 技能伝承の必要性 -

熟練技能者の高齢化や後継者不足が深刻化する中、長年培われてきた技能の存続が危ぶまれている。労働政策研究・研修機構の調査によれば、2020年の時点で調査対象の企業のうち技能継承を重要だと考えている企業が95%に達している。しかしながら、技能者の人材育成や能力開発の取り組みがうまくいっていると認識している企業は約55%にとどまっている[1]。このような状況から、技能伝承を実現するための取り組みが求められている。ここで技能について考えてみると、ある目的を達成するためには、それをどのように行うかを理解していること（わかる）と、実際に行えること（できる）の両方が必要となる。このことから本研究では、技能を、理解と、それを実行に移すための実践的能力から構成される実践的な能力として定義する。なお、実践的能力には身体的な動作制御から認知的な処理能力まで含まれる。このような技能を次世代に伝えていく営みが技能伝承である。

- 技能伝承の全体像 -

技能伝承を実現するためには、熟練技能者の持つ理解を明確化し、それを体系的に整理した上で、育成対象の人材が実践を通じて習得し、さらにその経験を通じて新たな気づきを得るという循環的なプロセスが重要である。本研究では、このような技能の理解に関わる部分を「知識」と表現する。これには明示的に説明可能な作業手順から、経験に基づく暗黙的な判断基準まで含まれる。

- 自律的な知識抽出の必要性 -

この循環的なプロセスの中でも、熟練技能者の持つ知識を明確化し体系的に整理する段階は、その後の技能伝承活動の基盤となる重要な要素である。この知識抽出の方法について、Tatiana らは研究者と熟練技能者の関係性に基づいて、研究者主導型、協働型、熟練技能者主導型の3つに分類している[2]。このうち熟練技能者主導型（Expert-leading）は、

技能伝承を必要とする現場に比べて研究者の数が限られている現状を考慮すると、持続可能性の観点で優位性を持つと考えられる。

- 知識発現 -

「Expert-leading」に分類される知識抽出手法として、西村らが提案した”知識発現”[3]がある。この手法ではまず、既存のマニュアルから手順を構造的に記述したプロセス知識を作成する。次に、作成したプロセス知識をベースとして現場の従業員が具体的な事例の紐付けと議論を行うことで、プロセス知識を改良しながら知識を抽出していく。この手法は現場が自律的に知識を抽出できる一方で、未経験者の理解、知識記述の限界、記述漏れ、ワークショップ形式に起因する時間的制約、情報システム化に向けた課題など、いくつかの実践的な課題が存在する。

- 提案手法の全体像 -

本研究の目的は、技能伝承の現場において、熟練技能者の持つ知識を継続的に抽出・共有できる持続可能な仕組みを確立することである。本研究では、西村らの研究[3]で用いられたプロセス知識をベースにしながら、技能伝承の現場における指導者と学習者の対話ログ、多量なオープンデータから構成された大規模言語モデル (LLM) を組み合わせることで、より実践的な知識の抽出手法を提案する。具体的には技能の指導現場に着目する。まず、技能継承の対象となる動作のベースとなる知識モデル (動作知識) を作成しておく。次に、指導現場における、熟練技能者、すなわち指導者と学習者のやりとりを収集する。次に指導現場で収集した情報を LLM が解析し既存の動作知識の改良点を生成し提案する。そして LLM による改良提案を受けた指導者が最終的に動作知識を改良する。

- 先行研究と提案手法の対応 -

これらの要素の組み合わせにより、先行研究で指摘された未経験者の理解に関する課題や知識記述の限界、記述漏れのリスクなどに対して、複合的なアプローチが可能となる。例えば、指導現場での対話収集により未経験者の視点を取り入れることができ、また LLM の活用により収集した対話から新たな知見を抽出することで、知識記述の幅を広げることができる。

- 具体的な検証内容 -

本研究では、社交ダンスの指導現場を対象として提案手法の有効性を検証した。具体的には、ダンススタジオの指導者 2 名と学習者 13 名の協力のもと、3 週間にわたってオンラ

イン指導システムを用いた指導内容の収集を行った。また、収集したデータを LLM に解析させ、生成された改良点の提案について指導者から評価を得た。さらに、これらの結果を踏まえて指導者がプロセス知識を改良する過程についても検証を行った。

- 論文の構成 -

本稿は以下のように構成される。第 2 章では関連研究について述べ、本研究の立場を明らかにする。第 3 章では提案手法について、その理論的背景と具体的な実現方法を詳述する。第 4 章では実験システムの構築とそのための予備検証について説明する。第 5 章ではダンススタジオでの実証実験とその結果について述べる。第 6 章では考察を行い、最後に第 7 章でまとめと今後の展望を述べる。

第 2 章 関連研究

2.1 “知識”とその抽出に関する研究

- 対象とする「知識」のスコーピング -

ポランニーは「我々は語れる以上のことを知っている (We know more than we can tell)」と述べ、本質的に言語化できない知識の存在を指摘した [4]。このような言語化できない知識は、技能伝承において特に重要な課題となる。

野中・竹内が提唱した SECI モデルでは、知識を暗黙知と形式知という 2 つの形態で捉え、それらの相互変換による知識創造のプロセスを説明している [5]。このモデルでは、暗黙知から形式知への変換（表出化）、形式知同士の組み合わせ（連結化）、形式知の実践を通じた暗黙知化（内面化）、そして経験の共有による暗黙知の伝達（共同化）という 4 つのフェーズを通じて知識が発展していくとされる。

本研究では、技能伝承を持続的に実現可能なものとするため、まず形式知化が可能な領域において知識抽出の手法を確立することを目指す。本質的に言語化できない知識は、定量的なデータ計測による分析や、直接的な経験の共有による伝達が必要となるが、形式知化が可能な知識は、言語や図表による表現を通じて時間や場所の制約を超えた伝達が可能となる。具体的には、熟練技能者の持つ暗黙知を形式知として明示化し（表出化）、それを体系的に整理する（連結化）プロセスに着目する。これらのプロセスは、その後の技能習得や新たな知識創造の土台となる。

- 抽出手法の分類 -

Tatiana らは、SECI モデルのような知識の循環的プロセスにおける「知識を明確化し、体系的に整理する」段階に着目し、知識抽出手法を研究者と熟練技能者の関係性に基づいて 3 つに分類している [2]。「Analyst-leading」は、研究者が主体となって熟練技能者から知識を引き出す手法である。具体的には、研究者が熟練技能者にインタビューやアン

ケートを行うことで知識を抽出する。この手法は熟練技能者の明示的な知識を効率よく引き出せる一方で、抽出できる知識が表層的であったり、効果的なインタビューのためには長年の訓練と経験が必要であるといった課題がある。「Expert-Analyst Collaborating」は、研究者と熟練技能者が協働して知識を抽出する手法である。具体的には、ロールプレイングゲームやバーバルプロトコルなどを通じて両者が体験を共有しながら知識を抽出する。この手法は熟練技能者が持つ本質的な知識を抽出できる一方で、体験共有の場の準備や、研究者が現場の専門知識を理解する必要があるなど、多大な労力を必要とする。「Expert-leading」は、熟練技能者が主体となって自ら知識を抽出する手法である。具体的には、ストーリーテリングやブレインストーミングなどを通じて知識を抽出する。この手法は研究者の介入コストが低い一方で、抽出された知識が体系的にまとまりづらく、また熟練技能者自身が知識の言語化に苦勞するという課題がある。

- 知識発現 -

このうち Expert-leading に分類される代表的な手法として、第 1 章でも述べた、西村らの”知識発現”[3] がある。この手法では、プロセス知識をベースとして現場の従業員が具体的な事例の紐付けと議論を行うことで、知識を抽出していく。しかし、以下のような実践的な課題が明らかになっている。

1. 未経験者の理解に関する課題

構造化されたプロセス知識の背景知識を持たない場合、その内容を読み解くことが困難である可能性がアンケート結果から示唆されている。

2. 記述できる知識の限界に関する課題

ワークショップ参加者間の議論のみで知識を抽出するため、参加者が意識的に想起できる知識の総量以上のものは記述できず、熟練技能者が無意識のうちに実践している暗黙的な知識を十分に引き出せない可能性がアンケート結果から示唆されている。

3. 記述漏れに関する課題

系統立てた記述により自然言語の自由記述に比べて記述漏れに気づきやすいものの、完全な解決には至っていない。

4. ワークショップ形式に起因する課題

ワークショップという限られた時間と場所での議論では、実際の業務で直面する様々な状況を網羅的に想起することが難しく、また参加者の時間的負担も大きいいため、継続的な知識抽出活動の実施が困難である。

5. 情報システム化に向けた課題

知識抽出活動を効率的に実施し継続的に改善していくためには情報システムによる支援が必要であるが、事例とプロセス知識との関連性を直感的に表現できる UI の実現や、より効果的な知識想起を促す知識モデルの設計など、実用化に向けた技術的な課題が残されている。

これらの課題に対し、本研究では指導現場に着目することと LLM を活用することで複合的な解決アプローチを提案する。

まず、未経験者の理解に関する課題に対しては、指導現場での学習者からの質問や反応を通じて、未経験者が理解しづらい点を直接的に把握できる。また LLM が収集した対話から理解を妨げる要因を分析し、より理解しやすい形での知識の表現を提案することができる。

知識記述の限界に対しては、指導現場での予期せぬ質問が熟練技能者の無意識の知識を引き出すきっかけとなり、さらに LLM が収集した対話から新たな知見を抽出することで、知識記述の幅を広げることができる。

記述漏れの課題に対しては、LLM が収集された対話を分析することで、体系的な観点から漏れている知識を指摘できる可能性がある。また、指導現場という実践の場での継続的な対話収集により、様々な状況における知識を網羅的に収集できる。

ワークショップ形式に起因する課題に対しては、指導現場という日常的な文脈で知識抽出を行うことで、時間的制約や想起の困難さを軽減できる。

最後に情報システム化に向けた課題に対しては、LLM を活用することで、収集した対話から知識モデルの改良点を自動的に提案できる可能性がある。

- その場その場での記録 -

知識抽出に関する他の研究として、内平ら [6] は、日常的なつぶやきを音声情報として収集し知識を獲得する手法を提案している。この手法の特徴は、業務中の気づきや閃きをその場で自然に収集できる点にあり、知識抽出をより日常的な活動として実現している。

本研究も同様に、指導現場という自然な文脈での即時的な知識抽出を目指す、さらに

LLM を活用することで収集した知識の分析と体系化を行う点に新規性がある。また、内平らの提案する手法と本研究は、どちらも日常的な活動の中で自然に知識を収集するという点で共通しており、これらを組み合わせることでより包括的な知識抽出システムを実現できる可能性がある。例えば、指導現場での気づきを音声情報として収集しながら、指導内容を LLM で分析・体系化するといった相補的な活用が考えられる。

2.2 指導現場に着目した研究

これまで指導現場で生じるインタラクションに関する研究も行われてきた。Moore[7] は、教育における相互作用を学習者-コンテンツ間、学習者-指導者間、学習者間の 3 つに分類し、特に学習者-指導者間の相互作用において、指導者は自身の経験に基づいて学習者の理解を促進させることを指摘している。この知見は、指導現場における相互作用が、熟練者の持つ知識を表出させる機会となる可能性を示唆している。

広瀬・深澤 [8] は、指導における言語使用について、科学言語（直示的な表現）とわざ言語（比喩的な表現）という観点から理論的な分析を行っている。特に、指導場面における対話的状况では、発話者が想定する「現実」を学習者と共有することの重要性を指摘している。ただし、この研究は理論的な枠組みの提示に留まっており、実際の指導現場での言語使用を通じた知識抽出については検討されていない。

佐伯ら [9] は、指導者の成長プロセスに着目し、経験と省察を通じて指導力が向上していく過程を分析している。この研究は指導者の経験が言語化される過程を示唆しているが、指導現場でのインタラクションを通じた知識抽出という観点からの分析は行われていない。

これらの先行研究は、指導者の知識や経験に関する重要な知見を提供している一方で、実際の指導現場でのインタラクションを通じて熟練者の知識を抽出する方法については十分な検討がなされていない。特に、学習者との相互作用の中で熟練者がどのように自身の知識を表出させ、それをどのように抽出できるのかについては、さらなる検討が必要である。本研究では、これまでの研究で十分に検討されてこなかった指導現場でのインタラクションに着目し、そこから熟練者の持つ知識を抽出する方法を明らかにすることを目指す。

2.3 LLM を活用したナレッジマネジメントシステムの研究

近年, LLM の発展により様々な知的活動への活用が研究されている. 大きく分けると, (1) 創造性支援ツール (CST) としての活用, (2) LLM の性能向上に関する研究, (3) 知識ベース構築への活用という 3 つの方向性がある.

創造性支援ツール (CST) としての活用について, 田中らはマルチエージェントのアプローチを提案している [10]. この手法では, 異なる役割を持つ LLM エージェントが対話的にアイデアを生成することで, 単一のエージェントでは得られない多様な発想を引き出すことができる. また, 尾崎らは LLM に反論文を生成させることで, 議論における批判的思考を補完する手法を提案している [11]. これらの研究から, LLM を適切に活用することで発散的思考や収束的思考の支援, さらに認知バイアスの軽減などの効果が期待できることが示唆されている.

LLM の性能向上に関して, Welz らや Lewis らは外部知識ベースを活用することで, LLM が生成するコンテンツの事実性を向上させる手法を提案している [12, 13]. これらの研究は, LLM と既存の構造化された知識を組み合わせることの有効性を示している.

知識ベース構築への活用においては, Shen と Lin [14] は, LLM を搭載した個人用知識アシスタント (K-assistant) を提案している. このシステムでは, 自然言語処理, 理解, 推論の機能を組み合わせることで, 実践コミュニティ (CoP) のメンバー間の知識活動を支援する. 特に, 暗黙知から形式知への変換プロセスを促進する点で, 従来の知識抽出手法とは異なるアプローチを取っている. また, 鶴飼らは LLM を使用して知識ベースそのものを構築する手法を提案している [15] が, 現状の LLM の性能では知識ベースをゼロから生成することは困難であり, 人間の専門知識による検証や修正が必要とされている.

これらの先行研究に対し, 本研究の新規性は以下の点にある. 第一に, 従来研究の多くが LLM の性能向上や汎用的な知識ベースの構築を目指していたのに対し, 本研究は熟練技能者特有の知識抽出に焦点を当てている. 第二に, LLM を知識抽出の補助ツールとして位置づけ, 人間と LLM が相互に補完し合いながら知識を抽出・構造化するプロセスを提案している. 特に, 指導現場での対話分析を通じて, 熟練者が持つまだ言語化されていない知識を, LLM を活用して体系的に抽出・整理する点は, これまでにない新しいアプローチである.

第 3 章 提案手法

3.1 提案手法の概要

本研究は、技能伝承の現場において、熟練技能者の持つ知識を継続的に抽出・共有できる持続可能な仕組みを確立することを目指す。これは、SECI モデルにおける「表出化」と「連結化」のプロセスに焦点を当て、特に形式知化が可能な領域での知識抽出手法の確立を意味する。

「知識発現」[3] をはじめとする従来の知識抽出手法では、日常的な活動として知識抽出を継続的に行うことが困難であった。本研究ではこの課題に対し、技能の指導現場に着目し、LLM を活用した複合的なアプローチを提案する。

具体的には、以下の 3 つの要素を組み合わせることで、日常的な知識抽出の仕組みを実現する：

1. 知識の基盤：西村らの研究で提案されたプロセス知識の考え方を基礎とし、知識工学の手法を用いて体系的に整理する
2. 指導現場での対話収集：指導者と学習者の自然なやりとりから、まだ言語化されていない知識を抽出する
3. LLM を用いた支援：収集した対話を分析し、基盤となる知識の改良点を提案する

これにより、日常的な指導活動の中で知識を抽出しながら、LLM による分析支援のもと、熟練技能者が知識を整理・構造化することが可能となる。なおこれ以降、本稿では技能伝承の文脈において熟練技能者を指導者と表記する。以下、提案手法の詳細について説明する。

3.2 提案手法の仕組み

本提案手法の全体像を図 3.1 に示す。先述の通り、指導現場での日常的なインタラクションを通じて知識を抽出・構造化する。

まず、指導対象となる技能についてのベースとなるプロセス知識を作成する。これは教科書や既存のマニュアルなどの形式知をもとに、指導者の協力を得ながら構築する。このベースとなるプロセス知識は、以降の知識抽出・構造化の土台となる。

次に、指導者の発言を自動的にロギングする。これには指導内容だけでなく、学習者の理解度に応じた補足説明や、予期せぬ質問への応答なども含まれる。同様に、学習者からの質問や感想といった応答も自動的に記録する。これらの対話ログは、指導現場での暗黙的な知識のやり取りを捉える重要な情報源となる。

収集された対話ログは、既存のプロセス知識と併せて LLM によって解析される。LLM は対話の文脈を理解し、現在のプロセス知識に不足している要素や、より詳細な説明が必要な箇所を特定する。そして、これらの分析結果に基づいて、プロセス知識の改良点を指導者に提案する。

指導者は LLM からの提案を参考に、プロセス知識を改良することができる。ただし、この改良は LLM からの提案に限定されず、指導者が日々の指導の中で気づいた点があれば、随時プロセス知識を更新することも可能である。

一方、学習者もプロセス知識を参照することで、指導内容への理解を深めることができる。これは単なる知識の参照に留まらず、学習者からの新たな質問や気づきを生み出すきっかけともなり、さらなる知識の抽出・構造化のサイクルにつながっていく。

このように、提案手法は指導現場での自然なやりとりを起点として、LLM による支援のもと、継続的に知識を抽出・構造化していく仕組みを実現する。

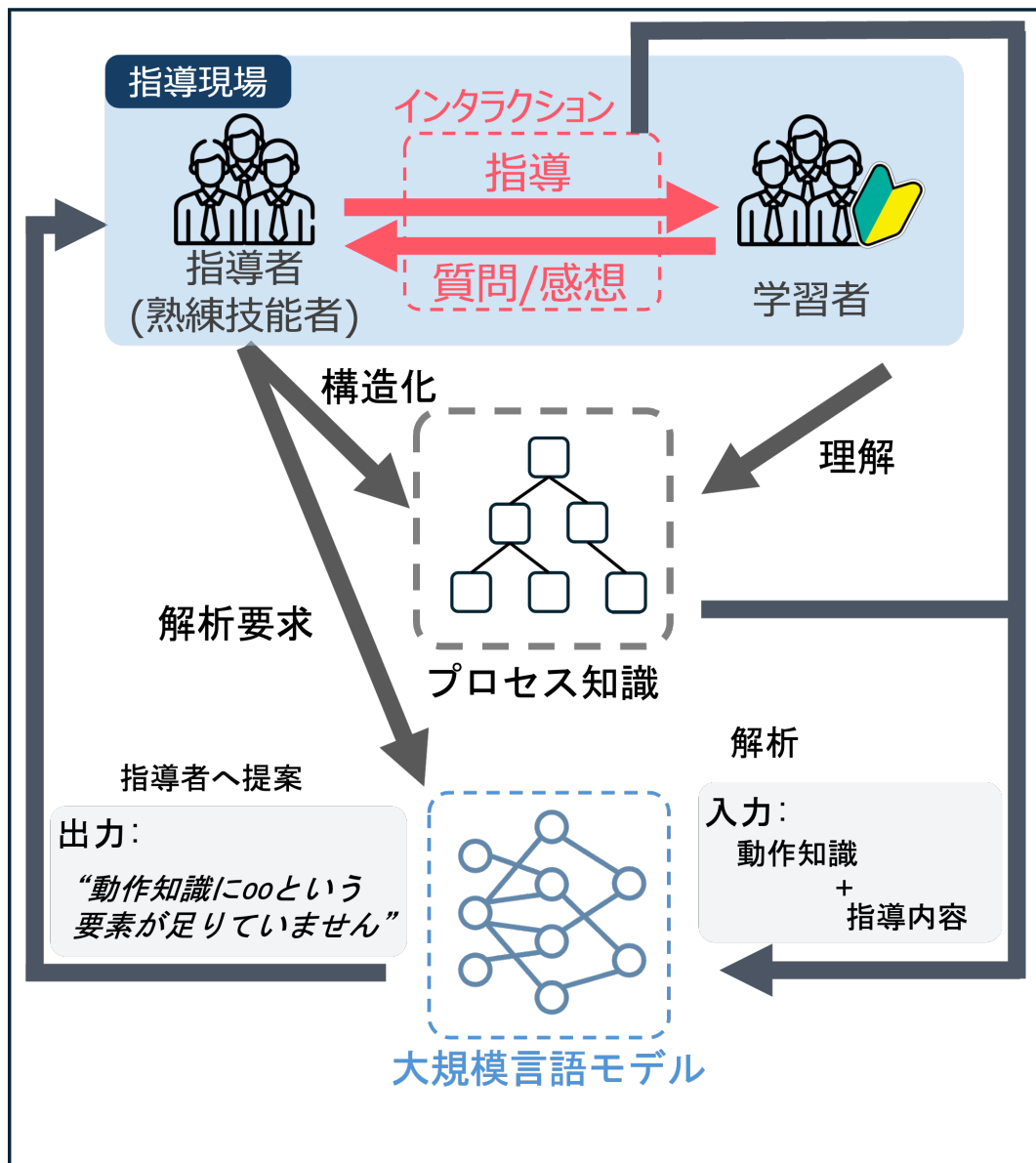


図 3.1: 提案手法の全体像

第 4 章 実験

表 4.1 が示すように...

	a	b
1	0.25	0.33
2	0.75	0.66

表 4.1: 表のキャプション

第 5 章 結果

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

第6章 考察

・暗黙知を暗黙知のまま伝えること．形式知化する必要性．・手続き知識の問題点．・オンライン指導の文化の醸成

第7章 まとめ

参考文献

- [1] 独立行政法人 労働政策研究・研修機構. ものづくり産業における技能継承の現状と課題に関する調査. <https://www.jil.go.jp/institute/research/2020/194.html>, 2020. (最終閲覧日:2024 年 10 月 25 日).
- [2] Tatiana Gavrilova, Tatiana Andreeva. Knowledge elicitation techniques in a knowledge management context. *Journal of Knowledge Management*, 16(4):523–537, 2012.
- [3] 西村 悟史, 大谷 博, 畠山 直人ら. 現場主体の知識発現方法の提案. 人工知能学会論文誌, 32(4):C–G95–1–15, 2017.
- [4] Michael Polanyi. *The Tacit Dimension*. University of Chicago Press, Chicago, 1966.
- [5] 野中 郁次郎, 竹内 弘高. 知識創造企業. 東洋経済新報社, 1996. 梅本勝博 訳.
- [6] 内平 直志, 西村 拓一. 現場で表出する人間の気づきや潜在知識のデジタル化: Human centric デジタルツインへの提言. <http://hdl.handle.net/10119/18532>, 2022. (最終閲覧日:2024 年 10 月 25 日).
- [7] Michael Grahme Moore. Three types of interaction. *American Journal of Distance Education*, 3(2):1–7, 1989.
- [8] 広瀬 健一, 深澤 浩洋. スポーツにおける言語論再考. 体育・スポーツ哲学研究, 1 号 (40 巻):53–62, 2018.
- [9] 佐伯 悦彦, 中村 康則, 向後 千春. 救急医療現場における看護 ojt 指導者の成長プロセス. 日本教育工学会論文誌, Suppl. 号 (41 巻):49–52, 2017.
- [10] 田中 孝明, 大坪 舜, 伊藤 孝太郎ら. LLM マルチエージェントを用いたアイディエーション応用とアイデア評価手法に関する研究. 人工知能学会全国大会論文集, JSAI2024(38):4G3GS205, 2024.
- [11] 尾崎大晟, 中川智皓, 内藤昭一ら. LLM による前提生成ステップを用いた反論の攻撃

- 力向上手法. 人工知能学会全国大会論文集, SAI2024(38):3F1GS1004, 2024.
- [12] L. Welz, C. Lanquillon. Enhancing large language models through external domain knowledge. *Artificial Intelligence in HCI*, 14736:125–146, 2024.
- [13] Patrick Lewis, Ethan Perez, Aleksandra Piktus et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive nlp tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 2020.
- [14] Wen-Cheng Shen, Fu-Ren Lin. The design of ai-enabled experience-based knowledge management system to facilitate knowing and doing in communities of practice. *Knowledge Management in Organisations*, 2152:292–303, 2024.
- [15] 鵜飼孝典. LLM を利用したイベント中心ナレッジグラフにおけるイベント予測. 人工知能学会第二種研究会資料, 2023(SWO-061):08–, 2023.

付録 A 資料

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX