

Title	大規模言語モデルを活用した現場知識共有支援
Author(s)	小川, 陸
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/19765
Rights	
Description	Supervisor: 内平 直志, 先端科学技術研究科, 修士 (知識科学)

修士論文

大規模言語モデルを活用した現場知識共有支援

小川 陸

主指導教員 内平 直志

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

This study proposes and evaluates a knowledge management method utilizing Large Language Models (LLMs) to effectively share the knowledge of field workers.

While AI advancement has enabled the automation of various tasks, field operations requiring workers' experiential judgment remain challenging to automate. Particularly, the transfer of tacit knowledge from experienced workers to newcomers is a critical issue. However, effective knowledge sharing has been hindered by the difficulty of operating digital devices during physical work and the lack of common experiences among workers in different locations.

Gen-Ba knowledge refers to knowledge that exists at the boundary between tacit and explicit knowledge, which is difficult to externalize outside the actual work environment. The term "Gen" means "actual" or "real" in Japanese, while "Ba" means "field" collectively referring to the specific location where workers perform their actual tasks. This unique form of knowledge emerges and can only be captured in the actual work environment.

This research proposes two LLM-based approaches to effectively share Gen-Ba knowledge collected through a voice memo system. The first approach automates the classification and organization of awareness messages, replacing manual preparation work with LLM-based text classification. The second approach facilitates discussion by extracting related awareness messages through LLM-based similarity search, which serve as triggers for knowledge sharing.

To validate the proposed methods, experiments used data from electrical safety operations. The results demonstrated that LLM-based text classification could efficiently organize awareness messages. Furthermore, knowledge-sharing workshops utilizing similarity search confirmed that referencing related messages stimulated discussions, enabling deeper sharing of Gen-Ba knowledge in similar situations.

The academic significance of this study is that it proposed a method to support Gen-Ba knowledge sharing by selecting and presenting examples similar to those discussed in the workshop and modeled the potential expression of Gen-Ba knowledge by the proposed method. As a practical contribution, the proposed method reduces the cost

of knowledge sharing in the field and contributes to the establishment of knowledge sharing initiatives by showing a concrete method to realize effective knowledge sharing while reducing the burden on the field.

Future challenges include validation in diverse field settings, exploration of advanced AI technologies like GPT, and further research on knowledge utilization methods, such as knowledge structuring and integration with work processes.

The proposed LLM-based knowledge management approach contributes to the advancement of knowledge management as a novel methodology for knowledge transfer among field workers.

概要

本研究は、現場作業者の知識を効果的に共有するために、大規模言語モデル(LLM)を活用したナレッジマネジメント手法を提案・検証するものである。

近年、AIの発展により業務の自動化が進んでいるが、作業者の経験に基づく判断が必要な現場作業は自動化が困難である。特に、ベテラン作業者の持つ暗黙知を若手へ継承することが現場では重要な課題となっている。しかし、現場作業は状況に適した迅速な手作業や判断が優先され、それらの記録は残りにくい。加えて、屋外作業を含むため、安定した姿勢や環境でデジタル機器の操作が困難な中で度々業務が行われる。さらに、作業者ごとに作業現場が異なることで作業者間での共通した経験を得る機会が乏しい。これらをまとめると、従来のデスクワークを中心とした作業者と異なる知識共有支援手法が求められる。

本研究では、音声つぶやきシステムを用いて収集した現場知識を効果的に共有するために、LLMを活用した2つの手法を提案した。1つ目の手法は、収集した気づきメッセージの分類・整理作業の自動化である。従来は人手で行われていた作業をLLMによるテキスト分類で代替することで、準備作業の負担を軽減できる。2つ目の手法は、議論のトリガーとなる気づきメッセージと関連する気づきメッセージをLLMの類似度検索により抽出することによる、議論の活性化である。

提案手法の有効性を検証するため、電気保安業務のデータを用いて実験を行った。その結果、LLMを用いたテキスト分類により気づきメッセージの分類・整理作業の効率化が可能であることを示した。また、類似度検索を活用した知識共有ワークショップでは、関連する気づきメッセージを参照することで議論が活性化され、類似する状況の現場知識をより深める知識共有が実現できることを確認した。

本研究の学術的意義は、ワークショップにおいて議論と類似する事例を引き出し、提示することで現場知識の共有を支援する手法の提案と、提案手法による潜在的な現場知識の表出する一連の流れをモデル化した点にある。また、実務的貢献としては、現場の負担を軽減しながら効果的な知識共有を実現する手法を具体的に示したことで、現場における知識共有を取り組むコストを低減する手法であり、知識共有の取り組みに対する定着に貢献する。

本研究で提案したLLMを活用したナレッジマネジメント手法は、現場作業者の知識継承における新たなアプローチとして、今後の知識マネジメントの発展に寄与

するものである.

目次

第 1 章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的とリサーチクエスチョン	3
1.3	本論文の構成	4
1.4	本論文で扱う基本用語の定義	6
第 2 章	関連研究	10
2.1	ナレッジマネジメント	11
2.1.1	知識概念の整理	11
2.1.1.1	ナレッジマネジメントにおける知識	11
2.1.1.2	知識の種類	12
2.1.2	ナレッジマネジメントの現状と課題	14
2.1.2.1	ナレッジマネジメントシステム	15
2.1.2.2	知識共有の取り組み	17
2.2	メンテナンスにおけるナレッジマネジメント	19
2.3	自然言語処理を活用したナレッジマネジメント	21
2.3.1	自然言語処理技術について	21
2.3.2	自然言語処理を活用したナレッジマネジメント	22
2.4	現場知識の収集と活用	23
2.4.1	現場知識の共有	24
2.4.2	事例の共有	25
2.4.3	人間の気づきを用いたナレッジマネジメント	26
2.4.3.1	音声つぶやきシステム	29
2.4.4	デジタルナレッジツイン	31
2.5	先行研究のまとめ及び本研究の位置づけ	33
第 3 章	現場知識共有を支援するナレッジマネジメント手法の提案	36
3.1	現場知識共有を支援するナレッジマネジメント手法	36

3.2	本研究で取り扱う現場知識を共有する知識共有ワークショップの課題	41
3.3	知識共有ワークショップの課題に対する解決策の提案	42
3.4	まとめ	44
第 4 章	研究方法	45
4.1	概要	45
4.2	評価用データセット	46
第 5 章	知識共有ワークショップの準備段階における NLP 活用手法	48
5.1	知識共有ワークショップに伴う準備作業の課題	48
5.1.1	分類・整理作業時間の調査	48
5.1.1.1	予備調査の手順	49
5.1.1.2	調査結果	50
5.2	提案手法	51
5.2.1	提案手法の実装	52
5.2.1.1	気づきメッセージに対する前処理	53
5.2.1.2	モデルの学習	54
5.2.1.3	評価データ	55
5.2.1.4	不均衡データへの対処	55
5.3	提案手法の有効性評価実験	56
5.4	評価方法	56
5.5	評価結果	57
5.6	考察	58
5.7	まとめ	59
第 6 章	知識共有ワークショップの議論を促進する LLM の開発	60
6.1	はじめに	60
6.2	提案手法	61
6.2.1	検索処理の手順	62
6.2.2	使用する言語モデル及び手法	64
6.2.2.1	モデルのファインチューニング	65
6.3	提案手法の評価実験方法	67
6.3.1	実施概要	67

6.3.1.1	アンケートの評価方法	68
6.3.2	評価方法	68
6.4	評価結果	70
6.5	考察とまとめ	71
第7章	LLMを活用した知識共有ワークショップの実験評価	74
7.1	はじめに	74
7.2	知識共有ワークショップにおける LLM 活用	74
7.2.1	ワークショップ支援システムの実装と活用	75
7.3	評価実験方法	76
7.3.1	音声つぶやきシステムの試行	76
7.3.1.1	使用した道具	79
7.3.2	評価に用いる知識共有ワークショップの構成	80
7.3.3	提案手法を用いた知識共有ワークショップの実施	82
7.3.3.1	提案手法を用いた知識共有ワークショップの概要 [ステップ①]	83
7.3.3.2	議論する気づきメッセージの選択 [ステップ②]	84
7.3.3.3	提案手法を用いた知識共有ワークショップの議論 [ステップ③]	87
7.4	評価方法	91
7.4.1	アンケートによる評価	91
7.4.2	インタビューによる評価方法	92
7.5	評価結果	93
7.5.1	アンケート結果	93
7.5.2	インタビュー結果	98
7.5.2.1	知識共有における事前準備プロセスの評価	98
7.5.2.2	ワークショップ内で共有された具体的な知識について	100
7.5.2.3	AI 検索機能	101
7.5.2.4	AI 検索機能の改善点	103
7.6	考察	104
7.6.1	類似した状況を網羅する議論	105
7.6.2	知識創造の場	106

7.6.3	気づきメッセージに対する人間によるの評価と LLM による 評価の違い	106
7.6.4	提案手法の応用可能範囲	107
7.7	まとめ	108
第 8 章	結論	109
8.1	本研究のまとめ	109
8.2	リサーチクエスチョンへの回答	110
8.3	学術的貢献	111
8.4	実務的貢献	112
8.5	研究の限界	112
8.6	将来研究の示唆	113

図目次

1.1 本論文の章構成	5
2.1 関連研究	10
2.2 ピラミッド型 DIKW モデル	12
2.3 SECI スパイラル野中・竹内 (2020, p. 105) の図を元に著者作成	17
2.4 作業概念の形成	18
2.5 音声つぶやきシステムによる現場の気づき収集と活用	27
2.6 人間センサと人間モニタ	28
2.7 デジタルツイン概要	31
2.8 デジタルナレッジツイン	33
3.1 (再掲) 音声つぶやきシステムによる現場の気づき収集と活用	37
3.2 (再掲) デジタルナレッジツイン	38
3.3 本研究で提案するナレッジマネジメント手法の概要	39
3.4 NLP 活用した現場知識の共有手法ナレッジマネジメント手法の実装	43
4.1 本研究の概要	46
5.1 提案する準備段階における課題を軽減する NLP の活用手法	52
5.2 気づきメッセージを分類する処理方法	53
5.3 カテゴリーごとの Accuracy Score	58
6.1 提案する類似する気づきメッセージの抽出手法	61
6.2 LLM を活用した類似する気づきメッセージ検索の概要	62
6.3 本試行のファインチューニングの概要	66
6.4 TSDAE	67
7.1 提案する関連する気づきメッセージを活用した現場知識の共有手法	75
7.2 気づきメッセージの分類・検索機能を有したワークショップサポート ツール	76
7.3 気づきメッセージ報告書の事例	78
7.4 プランターとデバイス (Flower Care) の写真 (筆者が撮影)	80
7.5 体験学習型のプログラム 堀・加藤 (2008) を参考に筆者が描画	82
7.6 サポートツールの気づきメッセージの検索表示画面	84

7.7 試行したバジル栽培ワークショップで表出した会話の流れ	90
7.8 Q の設問に対するアンケートの結果	94
7.9 Q2 の設問に対するアンケートの結果	94
7.10 Q3 の設問に対するアンケートの結果	95
7.11 Q4 の設問に対するアンケートの結果	95
7.12 Q5 の設問に対するアンケートの結果	96
7.13 Q5-1 の設問に対するアンケートの結果	96
7.14 Q5-2 の設問に対するアンケートの結果	97
7.15 Q6 の設問に対するアンケートの結果	97
7.16 気づきメッセージを基にした議論の概念モデル	105

表目次

2.1 野中・竹内 (2020, p.101) による暗黙知と形式知	13
2.2 メンテナンス戦略	24
2.3 音声つぶやきシステムを活用した人間の気づき研究事例	30
2.4 研究のポイントと先行研究との関係	35
4.1 データコレクションの概要	46
4.2 音声つぶやきシステムの先行研究との比較	47
5.1 時間研究の実施概要	49
5.2 電気保安業務を対象にした気づきメッセージの分類カテゴリー	50
5.3 気づきメッセージの分類に要する作業時間	50
5.4 言語モデルの特性比較	55
5.5 NLP モデルによる気づきメッセージの分類性能比較結果	57
6.1 アンケート評価の概要	68
6.2 検索結果の気づきメッセージ議論活性化の評価軸	68
6.3 MAP による類似検索の結果	70
6.4 nDCG による類似検索の結果	71
7.1 植物栽培試行概要	77
7.2 収集した気づきメッセージの分類項目	79
7.3 バジル栽培試行の配布物一覧	79
7.4 ワークショップ概要	83
7.5 参加者がトリガーとして選択した気づきメッセージ	84
7.6 知識共有ワークショップに関するアンケートの内容	91

第 1 章 序論

1.1 研究背景

本研究では、状況に依存する現場の知識を対象に AI を活用することで効果的な知識共有を実現するナレッジマネジメント手法について検討し、提案する。

近年 AI に代表されるデジタル技術の発展は顕著であり、センサから収集した大量のデータを学習した AI により一部の業務を代替することで人材不足を補う技術として活用されている。AI による業務の代替は人為的なミスを減少させ安全性の向上に有効であり、様々な分野で AI の活用に関する取り組みが行われている。しかし、AI の活用は学習に用いる大規模で複雑なデータセットが必要であるため、業務に対する AI 活用により代替される業務はデータが収集しやすい業務が対象となりやすい。また、コンピュータが人間よりも生産的な労働が可能である業務は問題が特定可能もしくは基準が定量可能である業務に限定される傾向にある (Acemoglu and Autor, 2011)。Frey and Osborne (2017) は、デスクワーク業務の AI 代替可能性高い傾向にある一方で、現場の変化に適応するために作業者が主体的に考え、行動する業務などの創造性や作業者の知覚や感覚の比重が大きい業務は、AI に代替される可能性が低いことを指摘している。

本研究の評価データの対象とした電気保安業務、農業の現場は共に、就業者の減少とベテランの高齢化に伴い、作業者 1 人当たりの作業量が増加し、時間的制約の問題が顕在化や教育体制の整備の課題から、現場で効果的な OJT を実施することが困難である。保守保安においては、多様な設備の登場により必要な業務知識が増加し続けている。また、機器の品質性能が向上することで、事故対応やトラブルを自ら経験する機会が減少している現実がある。

以上の結果として、ベテランの知識が若手へと継承されずに消失しているという課題がある。宇都 (2018) は、機器のハイテク化が進む中でも最終的な判断は技術者が結果を総合的に検討して行う必要があるため、現場作業者の知識が重要な要因

となることを指摘している。

知識継承の取り組みに対しても AI の活用が求められている。一方で、現場を伴う業務においては、物理的な活動を伴うためデジタル端末を直接操作が困難、現場の通信環境の整備が不十分、現場作業者のデジタル技術に対するスキルギャップが存在する等の側面が存在し、デスクワークと同じようにデジタル技術を活用することが困難であることに加え、センサで収集できるデータは限定的である。現場作業は、データだけでなく、作業者の五感を用いて行われることで、目的とする業務に適した現場作業が実施される。このような現場での作業判断や推測、現場で得た感覚などの試行錯誤した内容は、業務の実施において重要である一方で、センサで収集することは困難であり、記録として残されにくい。以上から、現場における状況依存性の高い知識を収集しデータとして蓄積するだけでなく、共有するナレッジマネジメント手法が求められている。

技能伝承について研究を行っている森 (2015) は、製造業において、最後まで熟練技能が残る部分として、「研究開発」と「機械のメンテナンス」を上げている。これは、研究開発が主に新たな知識を創る創造的知能タスクと社会知能タスクであるからである。一方で、機械のメンテナンスは事故対応の経験を得るために長期的な業務経験に依存するため作業仲間でも経験が異なるため標準化が困難であり、一朝一夕に伝承することが困難であるためである。本研究では、環境的な要因により経験の共有が困難な知識を対象とする。

電気保安業務を対象にした技術教育の記事では、不可解な現象に直面した際に、自らの知識、経験を駆使し、原因を推測できる応用が利く技術者には、資格に必要な知識だけでなく、更に知識を活かした点検ができるかが求められると指摘がある(角谷, 2012)。Ericsson (2014) は、仕事の上で一人前の熟達者になるためには10年にわたる経験を要するとして“10年ルール”を提起している。これは、状況が異なる現場を超えて応用できる知識の習得には十分な経験量が必要であることを示唆している。

特に電気保安業務においては、作業者ごとに現場が固定されているために現場間で作業者の経験知にもギャップが生じやすい。さらに、現場ごとの状況変化への対応は、不定形業務であるためマニュアル化されにくく、学習が現場 OJT に依存する。しかし、現場が離れていることで作業者間で共通経験がない状況にあり、現場での経験や知識をその場で共有することができないため、忘却してしまう「状況

的な学習 (situational learning)(Kim, 1997)」に陥りやすく、知識共有を困難にしている。

このような柔軟な対応とコンテキストに埋め込まれた現場知識を扱う点は、農業の分野においても同様である。農業は、自然や生き物を相手とし、不確実性の高い業務であることから、試行錯誤を経て得た経験的知識（「体で覚えた」暗黙知）が多く、それらは複雑なコンテキストに強く依存する(末永, 2009)。

以上から、このような現場作業者が現場で表出可能な知識を共有する取り組みは、現場主体で知識を構築する必要がある、作業者が減少している状況ではさらに現場の負担が増加する。そのため、作業者の負担を最小限に抑えつつ、効果的な知識共有を実現するナレッジマネジメント手法が求められる。

近年 AI の分野では、LLM の登場により非構造データに対して対応可能になった。また、事前学習済みの公開モデルを用いることで膨大なコーパスを用いずに高い精度の分析が可能であり、LLM は汎用的なタスクに用いられている技術である。この汎用性は、企業や組織が直面する多様なニーズに応える上で重要である。例えば、情報の整理や迅速なアクセスを可能にすることで、作業者が必要な知識を容易に取得することができる。このように、LLM の活用は現場の負担を省いたナレッジマネジメントにおいて活用可能な技術であると考えられる。

以上を踏まえて、本研究では現場作業者が現場で表出可能な知識を対象とした知識共有の取り組みに対して、現場の負担を軽減と知識共有の効果を促進する LLM を活用したナレッジマネジメント手法の検討・提案を行う。

1.2 研究目的とリサーチクエスション

本研究の目的は、収集した現場知識を知識共有に活用する際に生じる現場の負担を軽減する LLM の活用と知識共有を支援する LLM の活用を提案し、LLM を活用した効果的な知識共有を実現するナレッジマネジメント手法を提案・評価を行うことである。

本研究では以下の問いを明らかにする。後述する音声つぶやきシステムを活用した知識共有は、収集する現場知識をテキスト化した気づきメッセージの数が膨大になるほど知識共有ワークショップで活用するための作業や管理のコストが増加する課題があり、円滑な知識共有を阻害する。本研究では知識共有ワークショップを実

施するにあたり，LLM を用いることで，管理コストを低減し，同じ現場を共有することが困難な組織において有効な現場知識のナレッジマネジメント手法について検討する．そこで下記の MRQ と SRQ を設定した．

MRQ:LLM を活用した現場知識共有ワークショップはどのようなものか？

SRQ 1:現場知識共有ワークショップの準備段階における LLM の活用はどのようなものか？

SRQ 2:現場知識共有ワークショップの議論段階における LLM の活用はどのようなものか？

1.3 本論文の構成

本論文は，現場中心のナレッジマネジメントを実現するために，現場知識の知識共有に有効な手法である音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップを対象に，準備段階における作業負担の課題と現場知識の共有段階における課題を改善する LLM の活用を示す．その上で，LLM の活用を組み込んだ知識共有を実現するナレッジマネジメント手法の提案と検証を行う．以下に，章関係を示した図 1.1 と各章の説明を示す．

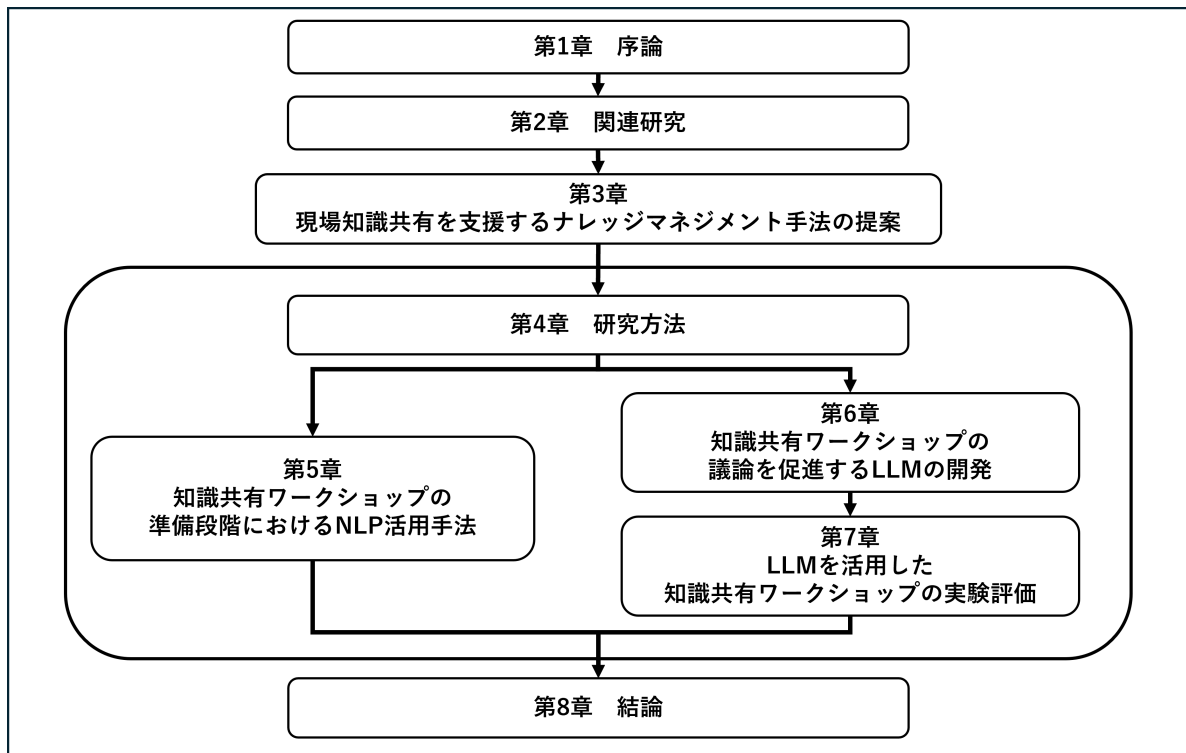


図 1.1: 本論文の章構成

第 1 章序章

本研究の背景と目的を記述し，本研究で明らかにするリサーチクエスチョンを設定，本論文で用いる用語の定義を行う．また，本論文の章構成を示す．

第 2 章関連研究

本研究に関連する先行研究としてナレッジマネジメントに関する研究を記述するとともに，先行研究に対する本研究の立ち位置を示す．

第 3 章現場知識共有を支援するナレッジマネジメント手法の提案

本研究において提案する，現場知識共有を支援するナレッジマネジメント手法を提案し，その実現に向けた課題や課題解決方法について示す．

第 4 章研究方法

提案手法の実現に必要な LLM モデルの検討，実験方法，提案手法全体の有効性評価を行うための研究方法について示す．また，モデル構築に用いるデータセットについても示す．

第5章 知識共有ワークショップの準備段階における NLP 活用手法

知識共有ワークショップの準備段階における課題を対象として、知識共有の準備コストを軽減する NLP 活用手法の実験評価による結果と考察を述べる。

第6章 知識共有ワークショップの議論を促進する LLM の開発

知識共有を促進するために、議論のトリガーと関連する気づきメッセージを抽出する LLM 活用手法の実験評価による結果と考察を述べる。

第7章 LLM を活用した知識共有ワークショップの実験評価

植物栽培を対象に行われた知識共有ワークショップにおいて、提案するナレッジマネジメント手法を評価実験を行った。実験からの結果と考察を述べる。

第8章 結論

本研究のまとめを述べた後に、リサーチクエスションに回答した上で、本研究の貢献と限界、将来研究の展望について述べる。

1.4 本論文で扱う基本用語の定義

データ

Ackoff (1989) は、使用可能な形になるまでは役に立たないものであり、データと情報の違いは、構造的なものでなく、機能的なものであるとしている。Rowley (2007) は、個別的で客観的な事実や観察結果であり、未整理・未処理であるため、文脈や解釈がなく、意味や価値がないものと定義している。両者に共通する点として、文脈がなくコンテキストと結び付いていないため解釈が不可能である点である。本研究では、Ackoff (1989) の定義を用いる。

情報

Ackoff (1989) の定義によると、情報とは「誰が」「何を」「いつ」「何人」に始まる質問に対する答えに含まれる言葉であり、データから推測されるものである。Rowley (2007) の定義では、組織化または構造化されたデータであり、情報が特定の目的や文脈に関連するように処理されたものとしている。本研究では、コンテキストとの

結び付きの点に言及している Rowley (2007) の定義を用いる。

知識

ISO 30401 の定義を以下に示す。

あるコンテキストにおいて、個人または組織が効果的な意思決定または行動を取ることを可能にする資産 (p.4)

注 1: 知識には個人的なもの、集団的なもの、組織的なものがある。

注 2: 知識の範囲については、コンテキストや目的に様々な見解がある。上記の定義は、様々な観点からの一般的なものである。知識の例としては、視点やノウハウなどがある。

本研究では International Organization for Standardization (2018) の定義を元に、より具体化し、あるコンテキストにおいて、個人または組織が効果的な意思決定または行動を取ることを支援できるノウハウ、コンテキストを含む情報、事例とする。

現場知識

Uchihira et al. (2023) は、現場知識を人間が現場で感じ、考えている知識であり、IoT センサでは捉え切れない膨大な知識としている。この知識は、現場であれば言語化が可能であるが、現場を離れた場所においては、言語化が困難な知識であり、暗黙知と形式知の中間に位置する。そのため、現場知識の中でもサイバー空間上で捉え、活用されているのはごく一部であり、ほとんどは物理空間内で保持されている。また、文脈依存性が高いため、IF-THEN ルールとして体系化することが困難である。

ナレッジマネジメント

International Organization for Standardization (2018) では、「知識に関するマネジ

メント¹⁾²⁾ (p.4)」と定義されている。しかし、International Organization for Standardization (2018) で提供されている定義は幅広く、定義として曖昧さを含む。ここでは、Ruggles (1996) のナレッジマネジメントの定義である「創造・解釈・移転の3つの主要な知識活動を担うもの (p.1)」を採用する。

ナレッジマネジメントシステム

ナレッジマネジメントシステムについて、狭義の意味では、IT を活用したナレッジマネジメントの支援システム (例：ナレッジ DB)、広義においては、ナレッジマネジメントを実現させるプロセスや取り組みの仕組みといった定義で用いられることが多い。International Organization for Standardization (2018) では、「知識に関わるマネジメントシステム³⁾」と定義されている。Ruggles (1996) はナレッジマネジメントを実現させる仕組みや枠組み、道具をナレッジマネジメントツールと定義し、その中でも IT システムをナレッジマネジメントシステムと定義した。本研究では、ナレッジマネジメントを支援、実現する IT システムをナレッジマネジメントシステムと定義する。

知識共有

知識共有とは、知識の送り手の形式的・暗黙的に持つ知識を言語化や体現により表出化することで、受け手へと共有することである。ここでは、受け手による受け取った知識を内面化を行う部分までは対象としない。

知識継承

送り手により表出化した知識を受け手による内面化までを含めた知識の相互作用であり、知識の送り手と受け手は同一の組織内に限定される。

気づき

本研究では、Karl (2001) によるセンスメイキングの定義の一部を援用し、状況の意

-
- 1) 注1: 体系的かつ総合的なアプローチを用いて、成果と学習を向上させる。
 - 2) 注2: 組織価値を創造するために、知識の特定、創造、分析、表現、流通、活用を最適化することを含む。
 - 3) 注1: システム要素には、組織のナレッジマネジメント文化、構造、ガバナンス、リーダーシップ、役割と責任、計画、技術、プロセス、運用が含まれる。

味を回顧的に意味付けを行うときに作り上げる進行中の達成物としてリアリティとして表出した人間の認知部分であり，人間による物事や発話，行為に対して付与される主観的な意味と定義する．

気づきメッセージ

作業者の現場での「気づき」を言葉によって表出化したもの．本研究では，音声つぶやきシステムにより音声データとして収集した気づきをテキスト化した情報，または収集した画像を指す．

コンテキスト

本研究では，コンテキストの一般的な定義とされている Dey (2001) の定義「エンティティ (entity) の状態を規定できる何らかの情報．エンティティとは，人・場所・物体などを指し，利用者やアプリケーションとの間の相互作用に参与するものである．利用者やアプリケーションもエンティティに含まれる．(p.5)」を援用する．

第 2 章 関連研究

本項では 2.1 でナレッジマネジメントにおける知識の定義や場の概念について整理を行う。2.2 では、現場作業の一例としてメンテナンスを対象としたナレッジマネジメントの先行研究について述べる。2.4 では、本研究で用いる音声つぶやきシステムについて述べるために関連研究として気づきの収集と活用の試みについて述べる。2.5 では、知識についてデジタルツインのように取り扱うナレッジデジタルツインについて述べる。関連研究のそれぞれの関係性を図 2.1 に示す。

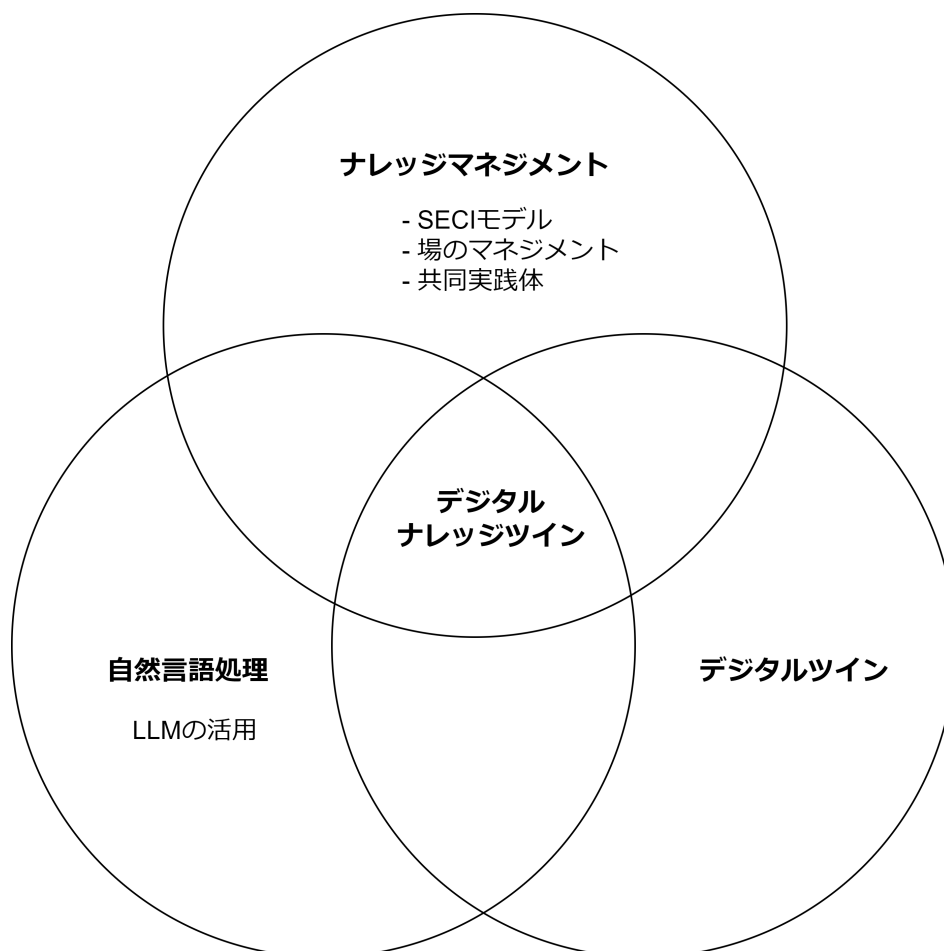


図 2.1: 関連研究

2.1 ナレッジマネジメント

本研究の理論的概念を支えるナレッジマネジメントおよびナレッジマネジメントで扱う知識について改めて整理する．ここでのナレッジマネジメントは，組織内で知識を取り扱う International Organization for Standardization (2018) が指摘するところの，知識に関するマネジメント全体であり，実際の具体的なプロセスや手法，仕組みといった具体的な手法はナレッジマネジメントシステムに該当する．本研究では，現場知識の共有を支援するナレッジマネジメントの実現を目的としているため，多くの機能を持つナレッジマネジメントの中でも知識共有に関係する部分を中心に示す．

2.1.1 知識概念の整理

本研究は，知識を取り扱うため，知識の概念に関する整理を行う．古くは知識の3条件(正当化されていること (Justified), 真であること (True), 信じられていること (Belief)) から「正当化された真なる信念 (Justify True Belief: JTB)」が知識の定義として広く受け入れられてきた．しかし，Gettier (1963) は論文内で知識の JTB 説に対する2つの反例を示したことで，現在も議論され続け，哲学的な視点において知識の定義は未だ定まっていない．本定義では哲学的な知識の定義に踏み込まず，ナレッジマネジメントにおける知識について整理し示す．

2.1.1.1 ナレッジマネジメントにおける知識

ナレッジマネジメントの観点では，定義が困難な知識に対して，プロセスに着目した実務的な視点により定義が試みられている．Ackoff (1989, p. 4) は「知識とはノウハウであり，たとえばシステムがどのように機能するかということである．それは，情報を命令に変換することを可能にするものである．それはシステムの制御を可能にする．」と定義している．Davenport and Prusak (1998) は「知識はフレーム化された経験，価値観，コンテキスト情報，専門家の洞察が流動的に混ざったもの」と定義している．これは知識が形式的なものだけでなく直観的で論理的に捉え切れないものも含まれるため，複雑さを兼ね備えることを明示している．Rowley (2007) によると，知識はノウハウであり，情報から指導への変換を可能にするもの

とし、知識を持つ他者から伝授されるか、指導によって得られるか、あるいは経験から引き出すことによって知識が獲得される。

これらの定義は知識と情報の関係について触れている。Ackoff (1989) が提唱した Data, Information, Knowledge, Wisdom の関係は、情報管理、情報システム、知識管理の文献におけるデータ、情報、知識の定義において暗黙的に活用されてきた (Rowley, 2007)。 (Zeleny, 1987; Rowley, 2007; Lucky, 1989)(図 2.2) により明確に示され、多くのバリエーションが生み出されている。多くの DIKW モデルでベースとして語られるピラミッド型は、低層のデータを基盤として情報、知識、叡智の階層構造に構成を示している。つまり、下位の階層を洞察することで上位層へと昇華していると解釈できる。しかし、近年では積極なデータ活用が行われるようになったことで情報や知識に結び付かないデータの存在やデータと知識が直接結びつく存在が批判として指摘される。

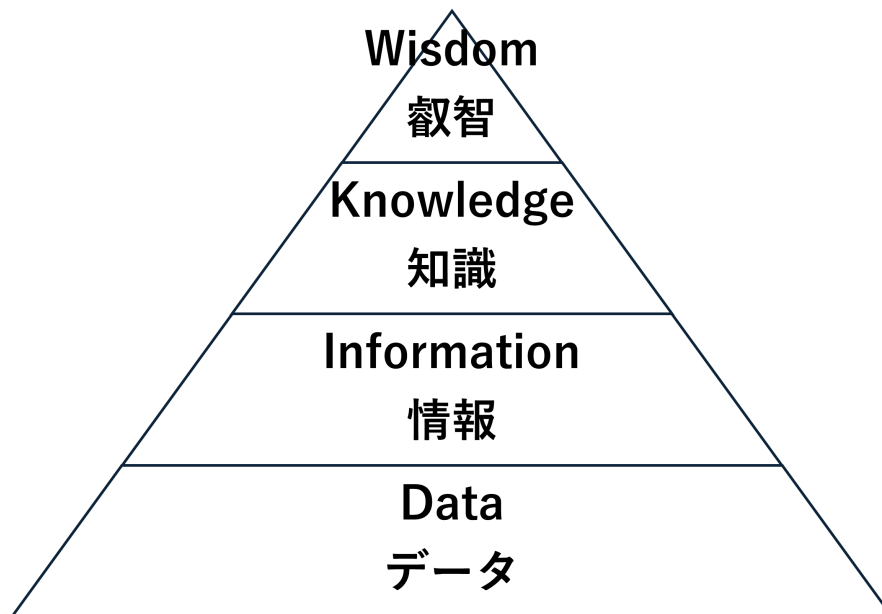


図 2.2: ピラミッド型 DIKW モデル
Rowley (2007) の図を元に著者作成

2.1.1.2 知識の種類

Polanyi (2003) は、「我々は語ることができるより多くのことを知ることができる

(p.15)」ことから形式的・論理的に言語によって表現できる知識を「形式知」、知ってはいるながらも語ることができない知識を「暗黙知」と分けた。つまり、言葉や数字で表現できる知識は、知識全体の氷山の一角でしかなく、暗黙知よりも形式知の方が他人へ伝えることが困難である点が違いといと指摘される。以下に野中・竹内 (2020, p. 101) による形式知と暗黙知の対比を表 2.1 に示す。ここでは、暗黙知はある特定のコンテキストが含まれている知識である一方で、形式知は特定のコンテキストに束縛されない普遍的な知識であると示されている。

表 2.1: 野中・竹内 (2020, p.101) による暗黙知と形式知の対比

暗黙知	形式知
主観的な知（個人知）	客観的な知（組織知）
経験知（身体）	理性知（精神）
同時的な知（いまここにある知）	順序的な知（過去の知）
アナログ的な知（実務）	デジタル的な知（理論）

つまり、野中・竹内 (2020) は、ナレッジマネジメントにおける暗黙知を Polanyi (2003, p. 15) の暗黙知よりも広く定義し、伝達が困難であるが一部は表現可能な知識と解釈している。本研究では、暗黙的な知識の一部は特定の状況においては言語化が可能であると考えするため、本論文内での暗黙知は野中・竹内 (2020) らの暗黙知を援用する。このような伝達・表現が可能である一部の暗黙的な知識には、形式化が困難である個人が独自に保有しているノウハウ、経験、勘、コツ、洞察などが含まれる。

熟達者がもつ実践に関する知性である実践知について、Sternberg (2000) は、以下の 4 点実践知の特徴として挙げている。①個人の実践経験によって獲得されること、②仕事において目標志向的であること、③仕事の手順や手続きに関すること、④実践の場面で役に立つこと。類似する概念として経験知 (細野, 2024) が挙げられ、本論文内では同様のものとして扱う。

また、森 (2020, p. 50) は暗黙知を①判定型暗黙知、②加減型暗黙知、③感覚型暗黙知、④手続き型暗黙知の 4 種類に分類した。それぞれの知識の定義を以下に示す。

①判定型暗黙知：

質的判断を行い、環境・状況・事態を診断し予測するもの

②加減型暗黙知：

行動する際に必要な量的把握を伴うもの

③感覚型暗黙知：

非接触型感覚の目および接触型判断の手・足・体などの感覚に依存するもの

④手続き型暗黙知：

作業に含まれるプロセスの把握および制御、思考の過程を主とする暗黙知

本研究で対象とする知識は、主に①判定型暗黙知と④手続き型暗黙知に近い知識である。反対に、②加減型暗黙知や③感覚型暗黙知に当たる知識は身体知（古川ら、2005）に近い知識であり、一部の知識は言語化できないと考える。本研究では言語化可能な範囲に限定して対象の知識として取り扱う。

森（2018, p.67）は、「技」を技術と技能に分けて説明し、その違いを、技術は論文やメモ、機械などの客観的なモノによって伝搬するが、技能は人間を介して伝承されると説明している。つまり、現状さまざまな分野で現場作業者の少子高齢化により消失している知識の大部分は、森（2018）の技能に関する知識であり、それらの知識を継承を行う課題として、人を介するためにコストを要する点が考えられる。

von Hippel（1994）が、移転の困難さに関する概念として提唱した「情報の粘性」は、「所与の単位の情報をその情報の探索者に使用可能な形で、ある特定の場所に移転するために必要となる費用の増分」と定義される。つまり、受け手の意図や目的に適した形へと情報（知識）を変形するコストが求められる。

本研究で対象とする知識は、現場のコンテキストに依存する知識であるため、現場を共有していない作業員間では伝達が困難な知識である。Uchihira et al.（2023）は、現場における知識共有に着目し、現場を離れた場所においては言語化が困難な知識であるが、現場であれば表出可能な知識、他者の質問などをきっかけとして表出可能な知識を「現場知識」と定義した。本研究では、この現場知識を援用する。

2.1.2 ナレッジマネジメントの現状と課題

Gupta et al.（2000）によると多くの組織は、ノウハウや効果的なマネジメントなどの知識を、その場限りの気軽なものとして活用してきた結果、組織が蓄積した膨

大な知識は拡散している状態にあり、そのほとんどが認識されず活用に至っていない。そのため、体系的かつ形式的な知識の活用を試みるナレッジマネジメントが登場した。

野中・紺野 (2003) は、「ナレッジマネジメントを知識の測定に関するもの」、「個人の知識やスキルを取り込み、その開発の効率を向上させようというもの」の2つのナレッジマネジメントの分類を指摘している。また、Ruggles (1996) は、ナレッジマネジメントを知識創造、知識の体系化、知識移転の3つの知的活動を含むものであると定義し、これらの知的活動が生産性を高め、個人と組織の双方に価値をもたらすと述べている。

さらに、Gupta et al. (2000) は、「ナレッジマネジメントは、組織が問題解決、戦略立案、意思決定などの活用を行う際に必要な情報や専門知識を発見、選択、整理、普及、移転を支援するプロセス」と定義している。一方で、Matayong and Kamil Mahmood (2013) は、「知識を成長させ、組織の価値を創造するための効率的な規律と手順を提供する体系的なアプローチ」としてナレッジマネジメントを捉えている。このように、ナレッジマネジメントには、知識創造、知識共有、知識解釈など多くの側面が存在するが、本研究では主に知識共有におけるナレッジマネジメントに焦点を当てる。

Hsieh et al. (2009) は、ナレッジマネジメントが多面的に実施されるため、その全てを理解することの難しさを指摘し、潜在的な知識の認識と活用が困難であることを述べている。また、Nakano et al. (2013) は、現場のブルーカラー労働者によって開発される知識が企業にとっても貴重であるにもかかわらず、ナレッジマネジメントに関する文献の多くは、知的労働者（研究者、弁護士、コンサルタント、会計士など）を対象とし、現場労働者の知識を軽視している点を批判している。

2.1.2.1 ナレッジマネジメントシステム

Ruggles (1996) は、ナレッジマネジメントツールを知識創造、知識の体系化、知識移転の知識活動を支えるを強化し、可能にするツールであるとしている。また、ナレッジマネジメントツールは、複雑なコンテキストや知識の豊かさを扱い、情報管理ツールでは、真にナレッジマネジメントを促進することが困難な点を指摘している。

知識と知識を記録するツールは深い関係性にあり、近年は IT(Information

Technology) の発展に伴い、IT の活用を前提とするナレッジマネジメントの定義も多い。Matayong and Kamil Mahmood (2013) は、複数の複雑な作業を伴うナレッジマネジメントの実践においては、IT システムによる革新的なサポートが必要であるとした上で、ナレッジマネジメントシステムを「知識の保存、共有、検索、創造、活用といったさまざまなプロセスにおいて、ナレッジマネジメントの実践を支援し、強化するために開発された IT システム」と定義している。つまり、ナレッジマネジメントツールは、ナレッジマネジメントシステムの可能な構成要素を構成する基本テクノロジーである (Alwert and Hoffmann, 2003)

ナレッジマネジメントシステムの国際規格である International Organization for Standardization (2018) では、組織が知識による価値創造を効果的に推進し、可能にするマネジメントシステムの開発を支援するためのナレッジマネジメントシステムの 4 つの要件を示した。ISO マネジメントシステム規格は、これらの要件を変更プロセスとして確立し、維持し、継続的に改善していくことで、知識による価値創造を可能にするナレッジマネジメントシステムの開発を目的としている。

(a) 新たな知識の獲得：

組織内では以前は未知であった、または利用不可能であった知識を組織に提供する。

(b) 現状の知識の適応：

組織の現状の関連知識を統合して、活動及び意思決定の改善を可能にする。

(c) 現状の地域の保持：

非接触型感覚の目および接触型判断の手・足・体などの感覚に依存するもの

(d) 古くなった、または無効な知識の取り扱い：

既存の組織の状況で知識を不適切に利用した結果、組織が間違いを犯したり非効率に働いたりすることを防ぐ。

Mohamed et al. (2009) は、地理的に分離されている状況におけるナレッジマネジメントにおいて、統合情報通信技術の重要性が高まる一方で、粘着性の高い知識を引き出す際に、デジタル化された知識は情報過多によるコンテキストの損失や知識エントロピーを引き起こすため、組織内でも異なる解釈が生じる点を指摘している。

2.1.2.2 知識共有の取り組み

野中・竹内 (2020) は、組織的知識創造の理論的枠組みとして、①個人の暗黙知からグループの暗黙知を創造する「共同化 (socialization)」, ②暗黙知から形式知を創造する「表出化 (externalization)」, ③個別の形式知から体系的な形式知を創造する「連結化 (combination)」, ④形式知から暗黙知を創造する「内面化 (internalization)」の 4 つの知識変換モードを示し、暗黙知と形式知の社会的相互作用を通じて知識が創造される SECI モデル (図 2.3) を提唱した。本研究で対象とする知識共有は SECI スパイラルにおける、表出化された知識の「連結化」されるまでの過程に位置すると考える。

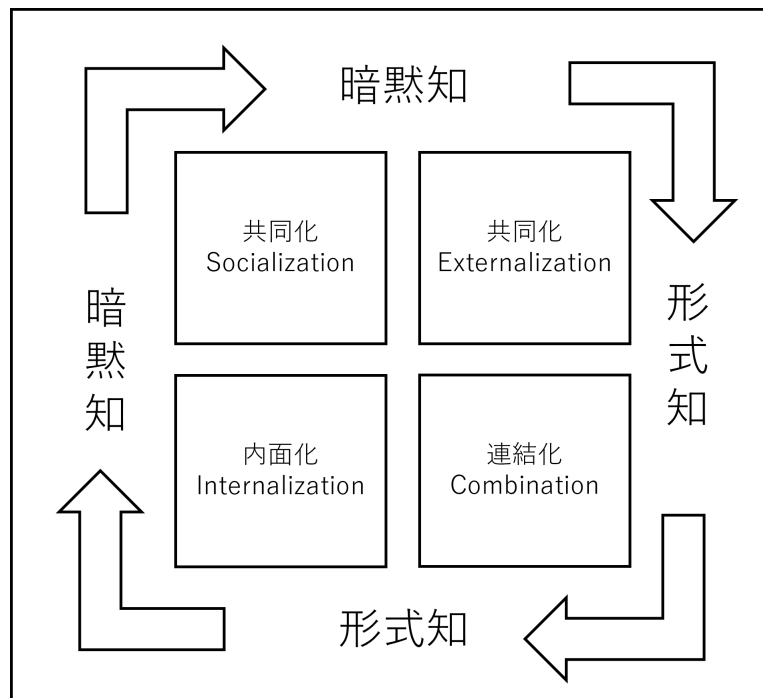


図 2.3: SECI スパイラル野中・竹内 (2020, p. 105) の図を元に著者作成

Styhre (2008) による、現場管理者を対象にした知識共有に関する研究では、現場特有の不確実性のある状況に基づく知識は、問題に直面する度に同僚や専門家と話し合う形で共有されてきた。一方で、知識共有の潜在的な障害をレビューした Riege (2005) は、潜在的な知識共有の障害を個人、組織、技術の領域に分類し、個人の障害において、時間的制約や言語化・コミュニケーション能力が潜在的な知識

共有の障害であると指摘している．特に，作業者間で現場の状況に依存する知識を共有する場合はこれらの障害が大きな課題である．

森 (2018) は，モノづくりにおいて熟練者が応用可能な知識として作業概念を獲得する過程を説明している．作業者は，「個別への対応」を体験すると，やがて「個別への対応」が集積される．経験の数が増加することで，法則性を見出し，推測ができるようになる（図 2.4）．これは，経験がグループ化されることで「こうすればこうなる」という小さな作業概念が形成されることを示す．熟練者は，類似する経験から応用可能な知識を形成することで，変化する状況や新たな事態に対応できる応用的な知識を獲得している．

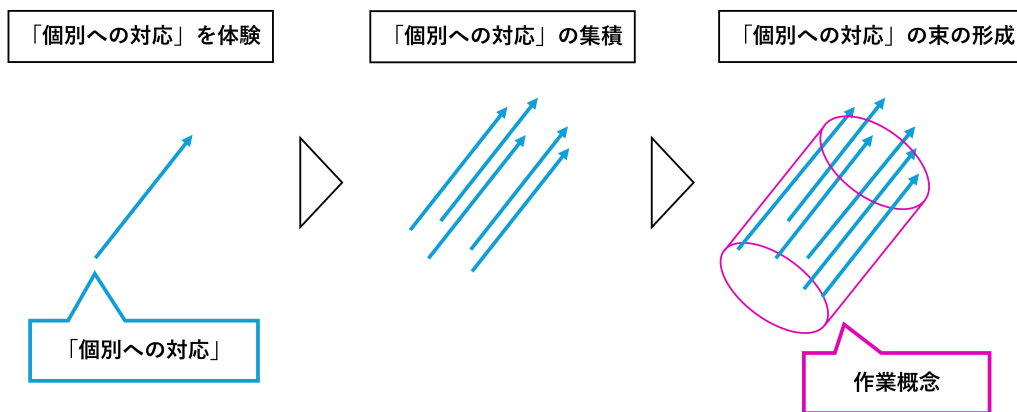


図 2.4: 作業概念の形成

(森, 2018, p. 96) の図を参考に著者作成

ナレッジマネジメントの一形態として「実践共同体」といった概念がある．実践共同体を提唱した Lave and Wenger (1991) は，実践共同体を「あるテーマに関する関心や問題，熱意などを共有し，その分野の知識や技能を，持続的な相互交流を通じて深めていく人々の集団」としている．つまり，個人が行為の中で獲得した知識や実践知が同じコミュニティの中で共有される．

これは，コミュニティのメンバー間で共通した実践があることで，メンバー間で共有の基礎知識が確立し，効果的な連携を可能にしていることを指摘している概念である．ここでの知識は「行為の中の知識や実践知」であり，頭で考えた「仕事のやり方」ではなく，やってみて学んだ「体験知」を共有する必要がある (Lave and Wenger, 1991)．

実践共同体と似たような概念で知識創造や知識共有が行われる概念である「場 (Ba)」がある。場は、日本の哲学者である西田幾多郎により初めて提唱された概念である。知識創造のプロセスにおいては、物理的な相互作用の「場」を通してコンテキストが共有される。

「場」は、必ずしもオフィス空間などの物理的な空間を意味するわけではなく、電子メール等のサイバー空間（サイバー場）も含む (Nonaka et al., 2000)。Nonaka and Konno (1998) は、物理的なもの（オフィスやビジネススペース）、仮想的なもの（電子メール、遠隔会議）、メンタル（共有された経験やアイデア）、複合的なものが組み合わさって構築される空間を場と説明している。Nonaka et al. (2000) は、場を「知識が共有され、創造され、活用される共有コンテキスト」と定義し、空間と時間を同時に含む場所性がある点を指摘している。伊丹 (2005) は、「場とは、人々がそこに参加し、意識・無意識のうちに相互に観察し、コミュニケーションを行い、相互に理解し、相互に働きかけ合い、相互に心理的刺激をする、その状況の枠組みのことである。(p.42)」と定義している。露木 (2019, p.39) は、場を「(人間の) 相互主観的 (意識) と関身体知 (無意識) による関係性において意味づけられた時空間」と定義している。

参加者の状況や場のメンバーシップが変化するにつれて、場は変化する概念であり Nonaka et al. (2000) は、「今ここ」の性質と表現し、場の流動性に着目している。また、実践共同体は、メンバーが共同体に埋め込まれた知識を学ぶ場であるのに対して、場は新しい知識が創造される場である点でそれぞれの重点が異なる Nonaka et al. (2000)。

2.2 メンテナンスにおけるナレッジマネジメント

本研究において、現場を伴う業務の 1 つとして取り上げる保守点検におけるナレッジマネジメントに関する研究を紹介する。(CEN, 2001) によれば、保守管理は「要求された機能を発揮できる状態に保持、または復元することを目的とした、製品のライフサイクルにおけるすべての技術的、管理的、経営的行動の組み合わせ」と定義されている。

企業のメンテナンス活動においては働く技術者は、長年の経験から得た暗黙的な知識を活かして業務を行っている。結果、人的要因が関与する割合が多く、企業の

他の部署（マーケティング、商業、開発、コミュニケーションなど）よりもナレッジマネジメントの実施が遅れている Cárcel-Carrasco and Cárcel-Carrasco (2021). また、保全活動において記録された知識（明示的知識）とメンテナンス技術者が持つ知識（暗黙的知識）との間に大きな隔たりがあることを示している。

戦略レベルのメンテナンスにおいては、従来のメンテナンス戦略はトップダウン・アプローチによって実施されていた。対象に、Lundgren et al. (2021) は、実際の現場に適応したメンテナンス戦略に向け、中間管理職や業務部門の従業員が戦略策定に関与するトップダウンとボトムアップを混合したアプローチを提案している。

Øien (1998) は、PM におけるメンテナンス最適化モデルはデータ数が不足しているため、実用的なメンテナンスでの使用が困難であることから、保守技術者の専門的知識を組み込んだ情報を活用することの重要性を主張している。作業者の知識の収集には、作業指示書の活用を提案している。

Naqvi et al. (2022) は、自然言語処理（NLP）技術を使用して、メンテナンス作業指示書（MWO）に含まれる人間の知識を活用することで、人間の知識を中心としたインテリジェントなメンテナンスの意思決定支援を提案している。具体的には、過去の MWO を参照することで、保守問題の解決策の発見を行うことができる。

e-maintenance に関する Aboelmaged (2015) による研究では、メンテナンス領域におけるナレッジマネジメントを重要な研究課題として挙げ、センサで収集できない、人間の知識や五感もメンテナンスにおいて重要であることを示している。

Mansor et al. (2012) による研究では、成功事例、メンテナンス方法、評価方法、問題の症状や対策などの知識をナレッジウェアハウスに蓄積するナレッジマネジメント手法はメンテナンス作業においても適用でき、知識に基づくメンテナンスは効率化を図ることが可能であるが、現場の技術者やメンテナンス担当者に、文書化や計算等の時間的な余裕は十分ではないことから、現場で開発した知識からナレッジウェアハウスへの移転はしばしば欠落しやすいことを指摘している。加えて、業績に関与しにくい作業に関する知識についても形式化されにくいいため、残されにくいことを指摘している。

ゼロックス複写機のフィールドエンジニアを対象としたエスノグラフィ研究を行った Orr (1996) は、サービスマンの現場で苦労した体験談である「war story」が、フィールドエンジニアのコミュニティでストーリーテリングの形で共有され、

活用されていることを報告している。

メンテナンスの現場においては、現場知識に代表される試行錯誤した体験や特定の現場特有の体験は重要とされる一方で、形式化のためのコストなどの要因から形式的に残されにくい知識であり、結果的に暗黙知として現場に残りやすい (Uchihira et al., 2023)。このような現場で生じる知識は、実践共同体や場で共有が行われる。本研究では、現場で生じる知識の共有を効果的に実施するために実践共同体や場をマネジメントすることが重要だと考える。

2.3 自然言語処理を活用したナレッジマネジメント

2.3.1 自然言語処理技術について

自然言語をコンピュータ上で処理することは近年容易に行われるようになり、さまざまな分野で実用化されている。古くはチョムスキー生成文法により、自然言語の文法構造を形式的・数学的に記述することで、自然言語の文法構造を数学的に定式化する処理が発展し、コンピュータを用いた解析が盛んになった。ここでは本研究で活用する、ベクトル化や LLM を中心に示す。

単語の重要度を計算する古典的な手法として TF-IDF が代表的な手法として挙げられる。TF-IDF は、文章中の単語の頻出度を元にした文書同士の関連度を計算する手法である。一方で、TF-IDF では短文など単語数の少ない文章同士の関連度の比較や、同じ意味を持つが違う表記の単語（例：昨日と前日）では比較することが困難である。

word2vec(Mikolov et al., 2013) は、統計的な単語の共起情報をニューラルネットワークを用いて学習する推論ベースの手法である。このように、単語をベクトル空間上で処理することで、単語間の意味的類似度を計算する手法は、従来の手法と比較してスパース性や未知語への対応を可能にし、柔軟性や拡張性を高めたが文脈依存の処理ができない課題がある。長期的な依存関係を扱える再帰型ニューラルネットワークを用いた LSTM(Greff et al., 2016) の登場により、文脈依存の情報を処理可能にし、時系列データや長文解析を可能にした。しかし、LSTM の課題として計算コストが高く、長い系列では性能が制限される点が指摘される。その後、Transformer(Vaswani et al., 2017) は、自己注意機構による並列計算により計算

効率を飛躍的に向上させ、新しいモデルの基盤となった。Transformer を活用した BERT(Devlin et al., 2018) は、双方向性を取り入れ、高度な文脈理解を実現し事前学習による高い汎用性の言語モデルである。

Transformer によるブレイクスルーにより、近年では BERT に留まらず、GPT(Radford et al., 2018) に代表されるような大規模言語モデル (LLM) などが登場したことで、ほぼ人間と同等の自然言語処理 (NLP) が可能となったモデルやシステムが開発されるに至った。

本論文では、研究手法として高い汎用性を実現した BERT を活用するため、BERT の事前学習に用いられる NLP の学習手法である Masked Language Modeling について説明する。Masked Language Modeling は、文中の一部の単語を隠すことで、隠した単語を正確に予測するようモデルを訓練するアプローチである。コーパスを基に教師データを自動的に作成できるため、さまざまなテキストを基に汎用的な言語モデルの学習が可能である。

NLP は、自然言語理解 (NLU) と自然言語生成 (NLG) の 2 つのタスクに大きく分けられる (McDonald, 2010)。NLU は、人間の言語を機械で理解、解釈、処理することで、コンピュータが人間の言語を解釈し、タスクを実行できるようにすることである。対して NLG は、機械が自然言語を生成することを指し、与えられた文脈に基づいて人間が理解可能なテキストを生成するため、生成 AI として取り扱われることもある。

NLG は未だ発展中分野であり、NLG のモデルは書籍や論文、ニュース記事など多くの情報を含むものの、本研究が対象とする現場知識は内包していない。そのため、NLG ベースでは、ハルシネーション (Ji et al., 2023) などの問題があり、知識共有に悪影響を与える可能性がある。そのため、本研究では気づきメッセージに対して NLP の活用を検討するため、NLU に着目した言語モデルを取り扱う。

2.3.2 自然言語処理を活用したナレッジマネジメント

企業は NLP を用いることで、ナレッジマネジメントシステムのサブシステムとなる情報マネジメントシステムの中で、NLP を主にデータの検索などのタスクで取り組まれてきた。

Zhao et al. (2022) が提案する Semantic based Knowledge and Information Sharing System (S-KISS) は、セマンティックベースの知識検索とグループ化を行うことで

蓄積された知識の中から関連性の高い投稿を特定する NLP を活用したナレッジマネジメントシステムである。システムの利用者は投稿の閲覧や既存知識の投稿者と繋げることでディスカッションを可能にし、ローカルな知識を共有する。しかし、形式化された投稿に含まれる知識には、現場知識のような潜在的な知識が記録されにくい。Zhao et al. (2022) が対象としている軍隊は、日々の訓練を通して内面化の機会が豊富であり、高度な背景知識が共有されている。一方で、実際の現場は軍隊訓練ほどの高度な背景知識が共有されている状況は少なく、熟練者の退職に伴いより困難になると考える。例えば、共通した現場を伴わない現場作業員においては、他者の投稿から読み取ることができる知識は経験や知識に依存する。

蓄積された知識に対して NLP を活用するアプローチは、形式化された知識にのみ有効であり、形式化されていない知識に位置する潜在的な知識の表出には対話が必要である。そのため、それぞれの作業員が異なる現場や状況で経験し、獲得した知識は、適切にマネジメントされた場やコミュニティにおいて効率的に共有される。

実践共同体や場で行われる対話と類似形態としてグループ学習が考えられる。対話を必要とする教育領域で活用されるグループ学習は、適切な介入が学習の質へ大きく影響する。Segal et al. (2017) は、グループ学習時の会話を構成する発話を NLP を用いて分類することで、ファシリテータによる適切な介入のきっかけを提示するグループ学習支援システムを提案している。また、大西朔永ら (2022) は、授業における発話を分類することで教師による内省を支援する NLP の活用を提案している。

このようにワークショップやグループ学習の場においても NLP の活用は有効である一方で、必要とされる知識は刻々と変化する状況においては、事前に対話の内容を設計することは困難である。露木 (2019) は、場の流動性や動的文脈の観点から「場」の意図的な制御が困難である点を指摘している。本研究では、効果的な知識共有を実現するための場を実現するために、LLM を対話のきっかけとして活用することが、現場知識の効果的な表出に有効であると考えられる。

2.4 現場知識の収集と活用

本節では、本研究のめざす現場知識支援の基盤となる人間の気づきについて、過去研究、及び現場での気づき収集ツールの一つである音声つぶやきシステム、さら

に人間の気づきと機械センサの統合による新しい提言であるデジタルナレッジツインについて取り扱う。

2.4.1 現場知識の共有

従来多くのナレッジマネジメント研究はオフィスで働く知的労働者であるホワイトワーカーを対象としており、十分に現場作業者の知識共有に取り組まれていなかった (Nakano et al., 2013). 一方で、森 (2020) は人間が最後まで残る業務の一つとして保守点検を挙げている。これは保守点検の業務が形式知として体系化が困難な実践知によって成り立っていることが原因だと考えられる。

保守点検の戦略として、一般的に予防保全と事後保全の二つに分けられる。前者は事後保全 (BM), 後者は時間基準保全 (TBM), 状態基準保全 (CBM) の二つがある (表 2.2)。

本研究が対象とした電気保安業務が対象とする電気保安設備は、ミッションクリティカルで止まってはならない設備に該当し、法令で指定される点検や部品は時間基準保全、点検コストを抑えつつ、停電やトラブルがないよう状態基準保全により、故障を防ぐ必要がある。状態基準保全の実現には、ベテランの持つ作業技術や過去の経験、見極めが極めて重要となり、これらの経験や知識 (現場知識) は膨大で暗黙的であり、ルール化が困難な一方で、保守点検の品質を向上する観点から、このような知識の共有を図る必要がある。

表 2.2: メンテナンス戦略

戦略	概要	例
事後保全 (Breakdown Maintenance)	故障が発生した後、故障箇所を修理交換する	切れた電球を交換する
時間基準保全 (Time Based Maintenance)	一定の運転時間後、指定部品を交換する	運転時間に応じてエンジンオイルを交換する
状態基準保全 (Condition Based Maintenance)	運転状態に応じて、故障やトラブル発生前に修理交換する	鉄道車両にセンサを取り付け運転状態と定期点検によって故障前に対応する

現場作業者の技術・技能向上を目的として、マニュアル、座学などの現場から離

れた教育である Off the Job Training(Off-JT), 現場での実地訓練である On the Job Training(OJT) などによって教育, 知識共有が図られている. 一方で, 現場以外で表出化が困難な現場知識はマニュアルや Off-JT による伝達は困難を伴い, そのような現場知識は OJT による実地教育, 専門家同士のコミュニティである実践共同体 (Wenger and Snyder, 2000; Wenger et al., 2002) によって共有される. 新規参加者はその職場の共同体(実践共同体)に正統的周辺参加者として初めは簡単でリスクの低い活動から始め, 徐々により複雑で重要な活動に参加することで, 共同体の一員としてのアイデンティティを形成することが報告されている (Lave and Wenger, 1991).

実践共同体での共有は新規の正統的周辺参加者だけでなく, 専門家同士の知識共有を行う場所として機能する. Orr (1990) は, Xerox の複写機サービスエンジニアが, 「war story」の形で現場で試行錯誤したことをストーリーテリングで専門化同士で相互に共有し, 最終的にはマニュアルに還元されることを示した. コミュニティに組み込まれている知識ベースは, 利用頻度が高く, 有益である (Wenger et al., 2002).

Orr (1990) の例で示されたような実践共同体の形は, サービスエンジニア同士の自発的に取り組みの中で偶発的に作られたものである. 一方で, 実践共同体の仕組みを組織の中に新たに作り上げていくことには困難を伴い, 手法が定まっているとは言えない. また組織内に埋め込まれた知識の表出化には困難が伴うと考えられる.

2.4.2 事例の共有

個別事例の共有手法の中で, 多くの成果を上げているのが, ヒアリハット, 事故事例の共有であろう. 一度労働災害が発生すると, 作業者の負傷や機械の故障といった直接的損失だけでなく, 原因追及や再発防止対策, 会社の信用問題など多くの間接的被害やコストが発生する. ハインリッヒの法則では, 330 件の災害のうち, 300 件は無傷で, 29 件は軽い障害を伴い, そのうち 1 件は報告を伴う重大な傷害を伴っていると言われている (Heinrich, 1930). 大きな事故を防ぐ観点からも, 具体的事例を共有し, 過去の事故事例を学び, 対策を行うことは有益である.

航空業界や医療業界においては, 失敗事例の共有化は高度に仕組みとして体系化されている. 航空分野ではヒヤリハットなどのインシデント共有の仕組みが確立さ

れている。例えば、航空業界では、ハードウェア、ソフトウェア、ライブウェア（人間）からなる複雑化した現代航空システムにおけるヒューマンエラーを共有し、解決する仕組みとして、The Global Aviation Information Network(GAIN) といった仕組みにより、情報共有、専門家による分析を行い、事故抑制に努めている (Hart, 2004)。

さらに、個別事例からの失敗の学びを体系化した取り組みとして畑村 (2005) の「失敗学」が挙げられる。失敗学では、業務で生じた失敗を記録・蓄積することで利用可能な情報として組織内へ伝達することを目的としている (畑村, 2005)。このような失敗情報はネガティブな側面から残されにくい潜在的な情報となる場合もある。失敗情報を知識として残すことは、後に振り返って活用するときに使いやすくスムーズに事を運ぶことができる。

失敗からの学びを活かす新たな試みとして Paul Lui Iske が設立した、Institute of Brilliant Failures(輝かしい失敗研究所) がある (Iske, 2021)。Iske (2021) では、16 種の失敗の分類と 4 つの学習の観点を提供し、失敗の型を使うことで、適切に学ぶ手法を提供している。

このように事例の共有や事例からの学びは、技術伝承においても有益である。先に示したように、森 (2018) は作業者の熟練化のプロセスとして、多くの「個別」事例にふれ、多くの「個別」事例から作業概念を形成するプロセスを示した (図 2.4)。一方で、保守点検の業務は、業務の仕組み上、直接触れられる個別には限界がある。また、「成功は失敗した失敗 (Iske, 2021, p. 197)」であり、その物事の中に何らかのイベントやプロセスが入っていれば、多くの学びを得ることができる。多くの現場での試行錯誤や取り組み、工夫といった現場知識を Orr (1990) の指摘する「war story」として共有できる仕組みの構築が有益だと考える。

2.4.3 人間の気づきを用いたナレッジマネジメント

ここでは、本研究の基盤となる、人間の気づき、及び、人間の気づきの収集及び活用を支援するツールである音声つぶやきシステムについて述べる。従来の人間の気づきを活用した研究においては、音声つぶやきシステムを活用し、図 2.5 のように、現場において、作業したこと、感じたこと、考えたことを音声または写真によって記録し、その記録を元にしたワークショップにより知識共有を実現してきた (井上・内平, 2023)。ここでは、人間の気づきについて改めて検討し、既存の人間

の気づき活用研究やそのツールである音声つぶやきシステムについて示す。

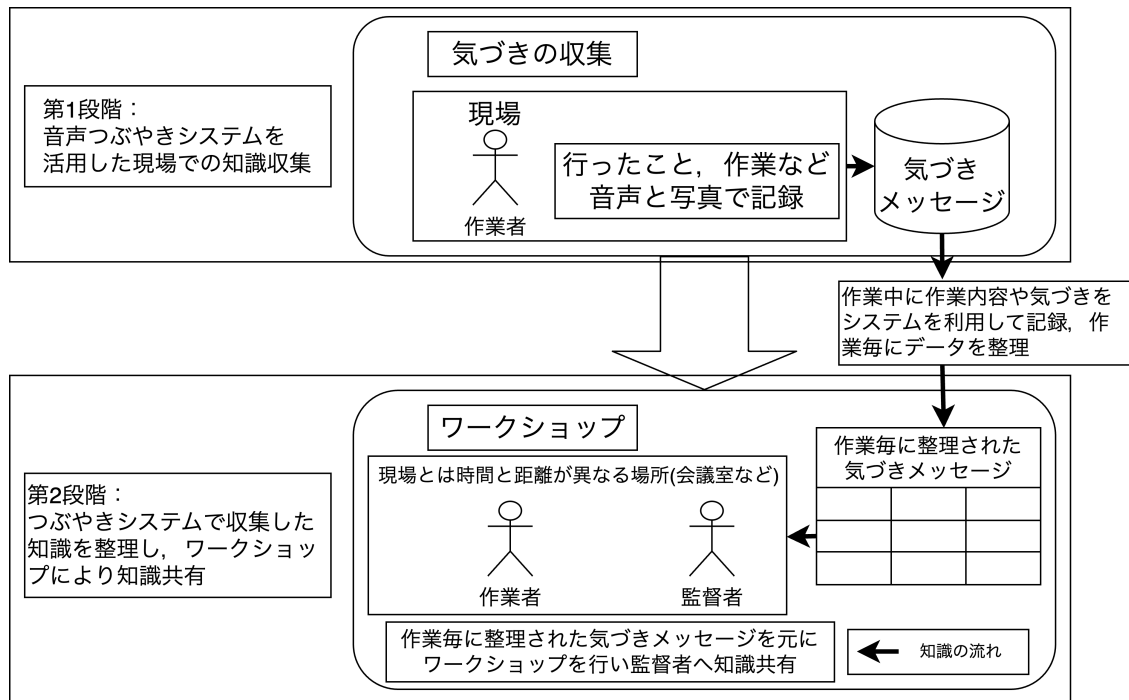


図 2.5: 音声つぶやきシステムによる現場の気づき収集と活用
(井上・内平, 2023) を参考に一部改変して作成

現場知識を活用したナレッジマネジメント、さらにそれを発展させた 2.4.4 に後述するデジタルナレッジツインにおいて、人間の気づきは現場のコンテキストを収集し、現場で行われたこと、考えたことを記録する人間センサ・人間モニタとしての役割を果たす。加えて、本研究で取り扱う現場知識は、コンテキスト依存の知識であり、コンテキストから切り離して、知識単体で取り扱うことは困難な知識である。コンテキストの定義はいくつか試みられているが、ここでは Dey (2001) のコンテキストの定義を示す。

コンテキストとは、あるエンティティの状況の特徴づけるために使用できるあらゆる情報のことである。エンティティとは、ユーザーとアプリケーションの相互作用に関連すると考えられる人、場所、または物体のことであり、ユーザーとアプリケーション自身を含む (p.5)

本定義は、コンテキストをコンピュータによって理解し活用する Context-aware Computing の視座に基づいた定義である。本研究の目指すところのデジタルナレッジツインにおいても、コンテキストを含む形でデジタル空間において知識を取り扱うため、そのまま適応できると考える。

人間の気づきを活用したナレッジマネジメントにおいては気づきの収集とその活用の二つ段階に分けられる。

デジタルナレッジツインにおける人間の気づきについて、Uchihira et al. (2023) は、人間センサ・人間モニタの語で定義している（図 2.6）。今回取り組む現場知識のナレッジマネジメントにおいては、人間の気づきを図 2.6 に示した人間モニタの形で使うことになる。

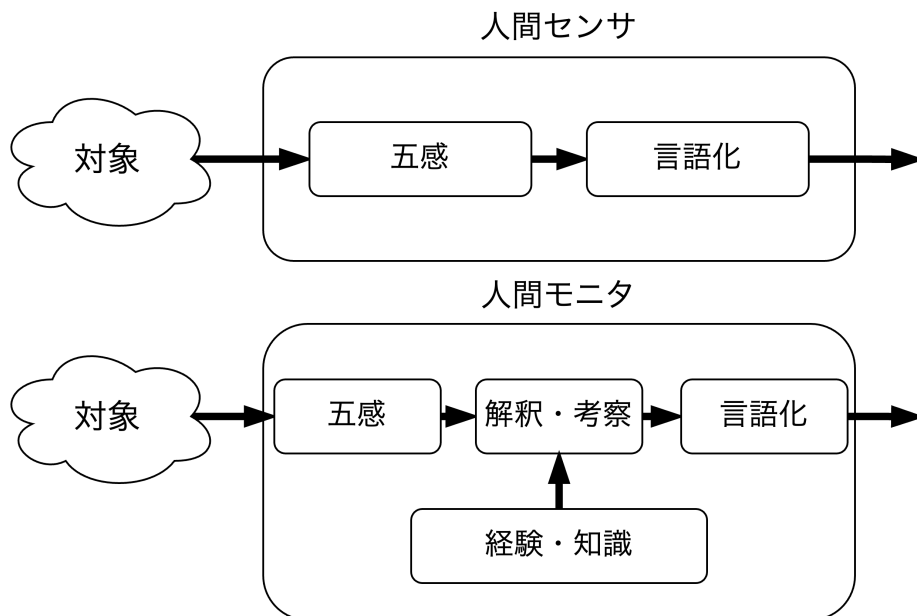


図 2.6: 人間センサと人間モニタ

(Uchihira et al., 2023) を一部改変して著者作成

Lundberg et al. (2009) は、人間の気づきの能力に関する制約として、コンピュータインターフェースの What-You-See-Is-What-You-Get(WYSIWYG) をもじり、「人間は自分が探そうとしているものしか見いだせない (What-You-Look-For-Is=What-You-Find:WYLFIFYF)」と指摘している。従来のワークショップでは、基本的に気になる気づきメッセージをワークショップ参加者が挙げて議論する形を取ってき

ており、WYLF IWYF が言うところの、議論したいことしか議論できないと考えられる。

このことから、共通プロセス知識を基に固有のプロセス知識を挙げていく手法では潜在的な知識に対するアプローチとして十分ではない可能性がある。また、現場作業中に表出した気づきは時間が経過することで話題に挙がりにくくなるため、ワークショップ時に現場知識が忘却してしまうことが考えられる。

2.4.3.1 音声つぶやきシステム

人間の気づきを収集し、活用するツールとして、音声つぶやきシステムが開発されてきた (内平, 2013, 2014)。変化する現場の状況に対応しながら知的かつ肉体的動作を伴う業務を対象に現場特有の気づきを収集し、共有する取り組みとして「音声つぶやきシステム内平 (2014)」を活用した研究が行われている。音声つぶやきシステムは、行動を伴う業務においても作業中のつぶやきを音声で収集する。文書化の手順をとらないため、現場の負担を抑えながらも現場特有の断片的な知識を収集する。収集した「気づき」をトリガーとして議論する「知識共有ワークショップ」は、現場のコンテキストを伝達し、議論することで言語化が困難である現場知識の表出化を支援し、現場知識の共有に有効である。

野中・紺野 (2003) はストーリーテリングを「自身の経験 (暗黙知) をすべて形式化してしまうことなしに、暗黙知の意味的豊かさを失わないように、すなわち「場」や状況を含めて、伝達する「内面化」の方法」、「主観的事実の再構築」と説明している。知識共有ワークショップでは、収集した気づきメッセージを現場知識の断片として活用することで、気づきメッセージをきっかけに現場知識の共有が行われる。

表 2.3: 音声つぶやきシステムを活用した人間の気づき研究事例

分野	研究	研究概要
看護 介護	(内平, 2013, 2014) など	看護・介護現場にて, 患者や被介護者のケア内容, 容態に関して準リアルタイムでの共有, 引継ぎ支援
保守 点検	(井上・内平, 2023)	陸上から時空間離れた船舶機関室にいる機関士と陸上管理者との知識共有支援
	(千代島・内平, 2024)	電気保安業務における, それぞれ固有の現場での気づきを元にした組織学習
製造業	(丸山・内平, 2023)	気づきメッセージをきっかけとした他部署連携, 調整の暗黙的知識の共有
農業	(Uchihira and Yoshida, 2018)	ハウス栽培における気づきメッセージと機械センサデータを活用した振り返り
	(遠矢ら, 2023)	人間の気づきと機械センサを活用した圃場の水管理に関する知識共有
	(高道ら, 2021)	農作業における音声つぶやきシステムを活用したベテランから若手への知識共有
	(遠矢ら, 2023; Inoue et al., 2023)	プランター試行による人間センサと機械センサ統合による予測モデル構築と知識抽出
警備業	(吉村ら, 2018)	音声つぶやきシステムを活用した現場状況・対応のリアルタイム組織学習

表 2.3 に既存の音声つぶやきシステムを用いた人間の気づきを活用した, 組織学習または知識共有の研究を示す. 既存研究において, 現場での気づき収集や組織学習については十分に検討が行われている. しかし, いずれの提案手法に関しても, 非構造データで口語によって記録されている気づきメッセージの取り扱いのコスト削減, ワークショップ手法, ワークショップに参加していない参加者への知識伝達にまで踏み込んで検討を行うことができていない. 特に知識共有ワークショップにおいては, ファシリテータの質, ワークショップ準備に投入した努力量によって結果が左右されると考える. 本研究では, LLM を中心とした NLP 技術によって, ワークショップ準備及びファシリテーションの支援を検討する.

2.4.4 デジタルナレッジツイン

近年、製造業を中心にデジタルツインの活用がさまざまな分野で進んでいる。デジタルツインは、図 2.7 に示したように、現実空間に存在する物体や人、システムや環境など対象のデータを収集し、対象をサイバー空間上で再現し、シミュレーションや機械学習を活用することで、最適化、効率化を行い、現実空間にフィードバックする (Grieves, 2015)。

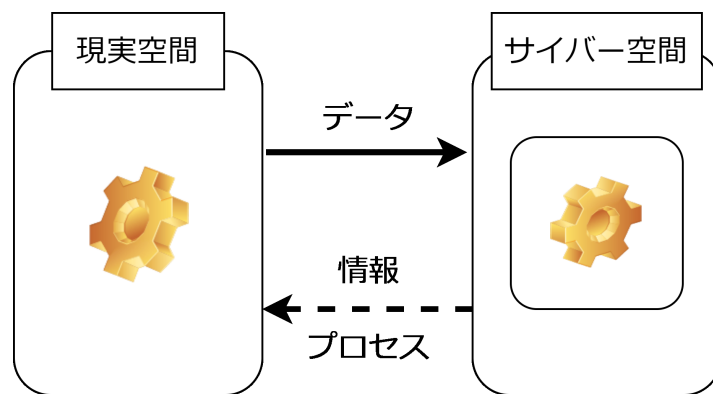


図 2.7: デジタルツイン概要
(Grieves, 2015) をベースとして著者作成

従来、デジタルツインは、センサを通じて、現実世界のコンテキストを収集し、サイバー空間上で再現する試みであったが、人間を対象に広げたヒューマンデジタルツイン (Shengli, 2021) などの提案も行われている。さらには、人間中心のデジタルツインとして、深山篤 (2023) は「人デジタルツイン」を定義している。人デジタルツインは、①個人性を有していること、②与えられた環境や物事と相互作用を通して更新すること、③仮想空間でのシミュレーションを通して予測、結果を現実空間にフィードバックすることで行動選択に資すること、以上の 3 つの要件を含む。しかし、この人間中心のデジタルツインのアプローチは、サイバー空間上での人間の物理的な情報の活用に留まり、人間の創意工夫や思考などの知識や現場での判断材料とされる情報については対象とされていない。

人間の思考に広げたデジタルツインでは、Umeda et al. (2019); Kondoh et al. (2024) が、Digital Triplet として既存のデジタルツインの構成要素である、現実空

間とサイバー空間に加え、エンジニアが試行し評価する空間である知的活動空間を含むコンセプトを提案している。

一方で、既存の人間をデジタルツインに含める提案では、(Nakano et al., 2013) が指摘するような知的労働者に焦点を与えており、現場作業者の工夫や経験を視野に入れる試みは行われていない。既存のデジタルツインや Digital Triplet では現場作業者の持つ知識を対象としていない。加えて、機械センサで捉えることができるコンテキストには限界があり、設置できるセンサ数もコストによって制限される。一般的に機械センサはそのセンサの検知部であるプローブの触れているその一点のみが計測可能であり、安定的に長時間、連続でデータを取得可能であっても、機械センサで集めた「点」のデータの集合に過ぎず、現場のコンテキストを捉えることには限界がある。

Uchihira et al. (2023); 内平ら (2024) は、デジタルツインを拡張した概念として、デジタルナレッジツインを提案している (図 2.8)。デジタルナレッジツインでは、IoT センサに加えて、人間の気づきによるコンテキスト、現場作業者の思考、知識、経験を収集し、If-Then ルールでは表現できないようなコンテキストを含む現場知識の緩やかな体系化、ワークショップによる知識共有によって構成される (内平ら, 2024)。

本研究が対象とするような、電気保安業務のような保守点検の現場においては、センサで捉えることができる機器の状態や周囲のコンテキストには限界があり、人間の気づきや緩やかな体系化、ワークショップによる知識共有はデジタルナレッジツインは現実的な提案と考えられる。一方で、内平ら (2024) で提案されているデジタルナレッジツインは発展途上のコンセプトであり、ワークショップでの知識共有手法や気づきメッセージからの緩やかな体系化に関して具体的な実装については十分検討されていない。

特に、話し言葉で記録される気づきメッセージは一般的なリレーショナルデータベースで取り扱われるような値が定義されている構造化データとは異なる、非構造化データであり、話し言葉 (口語) で記録されており、省略や独特の言い回し、曖昧さを含む。そのため、ワークショップの準備やファシリテーションに大きな負荷や困難を伴うと考えられる。本研究では、LLM を活用することで、知識共有ワークショップにおける現場知識の共有支援を試みる。

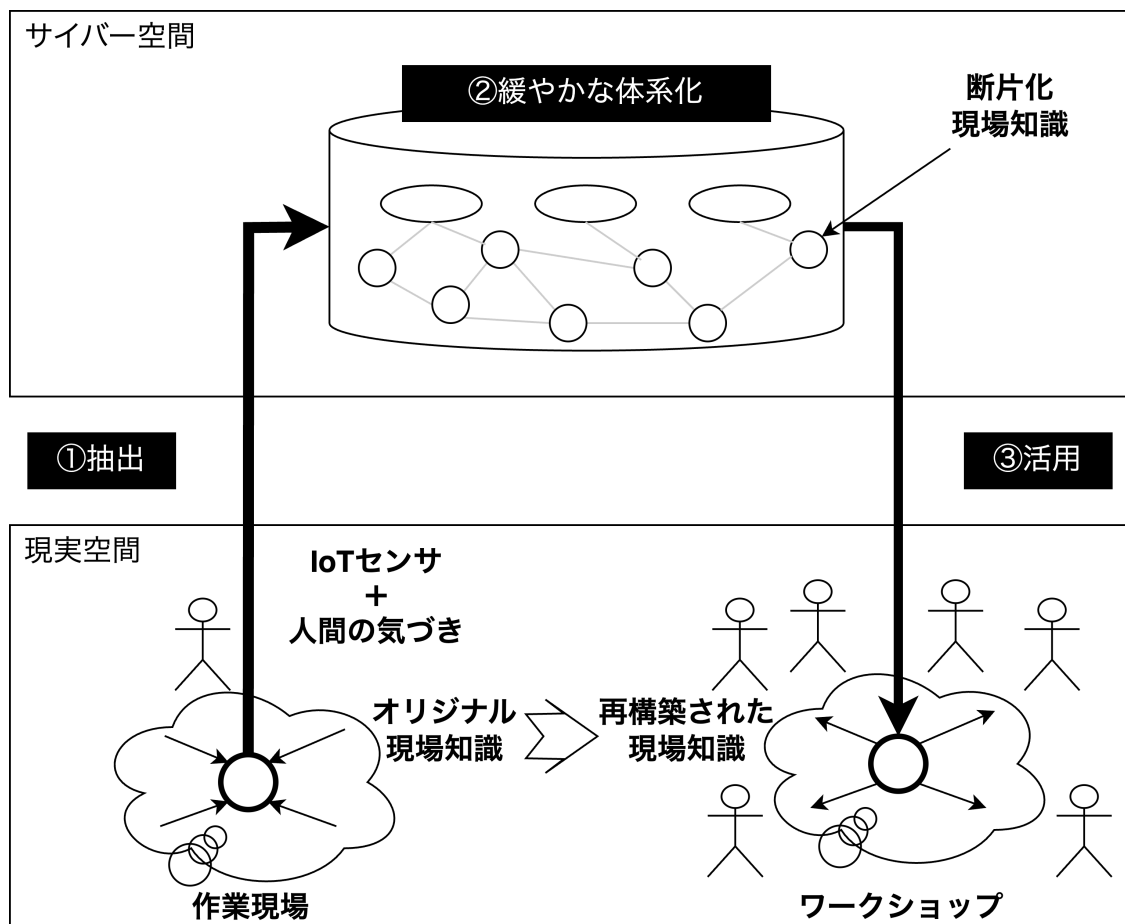


図 2.8: デジタルナレッジツイン
(内平ら, 2024) を参考に著者作成

2.5 先行研究のまとめ及び本研究の位置づけ

多くのナレッジマネジメントの取り組みは、(Nakano et al., 2013) が指摘するように知識集約型企业における象徴的労働者が対象としたものであり、現場の労働者の知識は重要であるにもかかわらず、現場のコンテキストに依存する潜在的・暗黙的な知識であるため取り扱われにくかった。また、現場側と管理側とで対象とする知識が異なるため、現場主体で知識を構築していく取り組みは重要であると考えられる。

しかし、粘着性の観点からも現場で表出した知識はコンテキストが絡み、実際の

現場においても知識を残す十分な時間の確保は困難である。加えて、状況依存性が高い知識を形式化して残していくことは現実的ではない。そのため、これらの知識は分散した状態で存在し、知識の確立は現場の自主性に依存していた。このような知識は場や実践共同体といった組織の中で相互に関係することで、共有されてきたが、流動性の観点からも参加者次第で知識共有の状況は大きく変わる。つまり、現場でのナレッジマネジメントは参加者依存の知識共有の取り組みにおいて、参加者の自主性や時間的な制限が限られている中で知識を共有する試みに取り組むことが求められている。

近年、デジタル技術の革新によりさまざまなデータを活用が容易になり、ナレッジマネジメントにおいてもデータや情報から知識へと変換することで有益な知識が創り出されている。その中でも代表的な手法として NLP の分野における LLM の発展は目覚ましいものであり、直接的にテキストを処理できることからナレッジマネジメントにおいても多くの活用が見受けられる。一方で、それらの活用はデータベースに蓄積された形式的な知識に対する直接的な活用が一般的であり、人間の解釈や潜在的な人間の知識を組み合わせるものではない。

知識を捉え、体系化、活用する人間中心のデジタルツイン (Uchihira et al., 2023) が構想されている。ここでは、捉えた知識を分析することで新たな洞察や付加価値を創出し、現実を活用する。このプロセスはスパイラル的な流れであり、このような機械と人間が協働することで知識を取り扱う試みが、コンテキストに依存した知識を対象にした際に重要になると考える。

表 2.4 に、本研究の新規性と先行研究を整理した。

表 2.4: 研究のポイントと先行研究との関係

関連する先行研究と課題	本研究の提案
von Hippel (1994) が指摘するように，目的に応じた形へと知識の変換が必要であり，変換にはコストが生じる．また，Mohamed et al. (2009) は，統合された情報通信技術はナレッジマネジメントにおいて豊富な情報を活用できる一方で，コンテキストが損なわれる要因ともなり得ることを指摘している．このような文脈依存性の高い知識に代表される現場知識は If-Then ルールのように形式的に扱うことができない (Uchihira et al., 2023)．そのため，コストを抑えた現場知識の管理手法を提案し，具体的な事例を通じて有効性について検討する必要がある．	知識共有ワークショップの準備段階における NLP 活用手法 (5 章)
現場での試行錯誤や創意工夫により培った文脈依存性の高い知識は，ナラティブの形式で伝えられる (Orr, 1996)．現場知識を共有する音声つぶやきシステムを活用した知識共有手法は，現場知識を手軽に収集できる一方で，議論することで現場知識を共有する知識共有ワークショップにおいては，ワークショップ準備及びファシリテーションの支援が課題である．そのため，非構造のテキストデータにも対応できる LLM を活用した現場知識の共有手法を提案し，有効性を検証する必要がある．	知識共有ワークショップの議論を促進する LLM の開発 (6 章)，LLM を活用した知識共有ワークショップの実験評価 (7 章)

第3章 現場知識共有を支援するナレッジマネジメント手法の提案

先行研究で明らかになった現場のコンテキストに依存する現場知識の共有に伴う課題を改めて整理し、本研究で提案するナレッジマネジメント手法の全体像を示す。まず、提案手法を示した上で、提案手法を実現する上での課題を述べ、その解決策を提案する。

3.1 現場知識共有を支援するナレッジマネジメント手法

保守点検や農業といった、現場の作業者が移動しながら、状況に応じて、作業を行う「状況判断行動型サービス (Uchihira et al., 2013)」における知識は、コンテキストに強く依存する現場知識であることを2章において、整理し、示してきた。そのような現場のコンテキストに依存する現場知識は、マニュアル化（形式知化）することが困難であり、実際の現場における知識共有（例 OJT、実践共同体）などによって伝承されてきた。

一方で、OJT や実践共同体での知識共有の限界として、直接携われたものしか経験できないことや、共有される知識に偏りがあることが挙げられる。Lave and Wenger (1991) の中で紹介されている Marshall (1972)[p.42-46] の事例では、肉屋の徒弟制度と OJT の様子を取り上げ、OJT に入った店の状況や従業員の入れ替わりに応じて、担当する業務の幅や業務量に偏りが生じ、場合によっては一つの業務のみに固定されてしまっている様子を観察している。OJT において、体験する業務に偏りが生じることは肉屋に限らず、一般的な組織において想像に難くない。しかし、幅広い状況に応じて柔軟に対応する必要がある農業や保守点検の文脈においては、若手の能力を向上させる観点では、幅広い業務に触れ、経験させる必要がある。これは作業概念の構築に多くの「事例」を要することを示した森 (2018) の作業概念構築過程のモデルからも示されている。

そこで、現場知識を現場から離れた場において、直接体験していなくとも共有する手法として、井上・内平 (2023) は船舶機関室での保守点検における現場知識を

対象として①音声つぶやきシステムによる気づきメッセージの収集②機械ごとに気づきメッセージを整理しデータベースに投入③気づきメッセージをトリガーとしたワークショップによる現場知識を共有する手法を示している（図 3.1）。しかし、井上・内平（2023）の提案手法では、現場知識の共有を行うワークショップの参加者同士は背景知識を十分に共有しているという前提条件がある，網羅的に全ての気づきメッセージをワークショップ内で取り扱っており，多くの参加者が参加する場合には時間的コストが大きくなるため，人力により気づきメッセージの取りまとめや整理を行う手法によるワークショップの実施は大きなコストがかかるなどの課題が存在する。

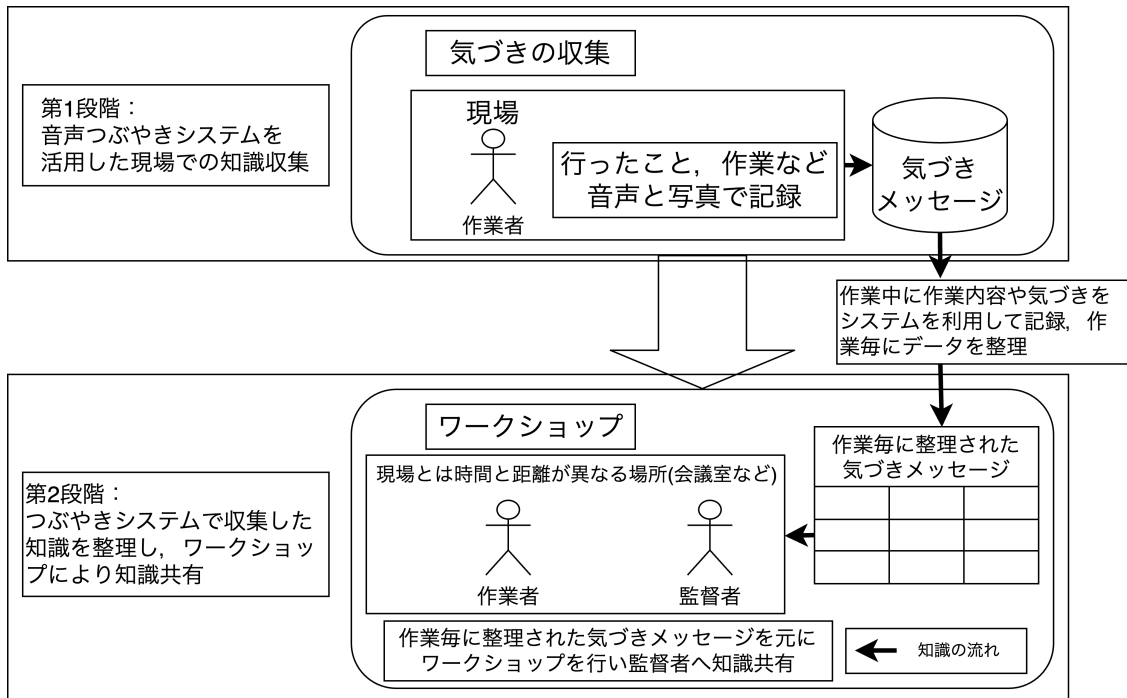


図 3.1: (再掲) 音声つぶやきシステムによる現場の気づき収集と活用
(井上・内平, 2023) を参考に一部改変して作成

Uchihira et al. (2023) が提案する Human Centric Digital Twin, それを発展させた内平ら (2024) のデジタルナレッジツインでは、現場知識の収集をやわらかい知識構造化，ワークショップによる知識共有手法を提案している（図 3.2）。内平ら (2024) の提案では，やわらかい知識構造化によって，今までサイバー空間で取り扱いが困難であった現場知識を取り扱いを実現している。しかし，内平ら (2024) の

提案では、井上・内平（2023）の提案手法で課題となった、ワークショップ準備コストの低減、ワークショップにおいて限られた時間の中で気づきメッセージを可能な限り網羅的かつ効率的に取り扱う手法について示すことはできていない。そこで、LLM を活用したワークショップ準備コスト低減、関連するメッセージを推薦するファシリテーション支援ツールを活用した知識共有ワークショップを組み合わせた現場知識共有ナレッジマネジメント手法を提案する。

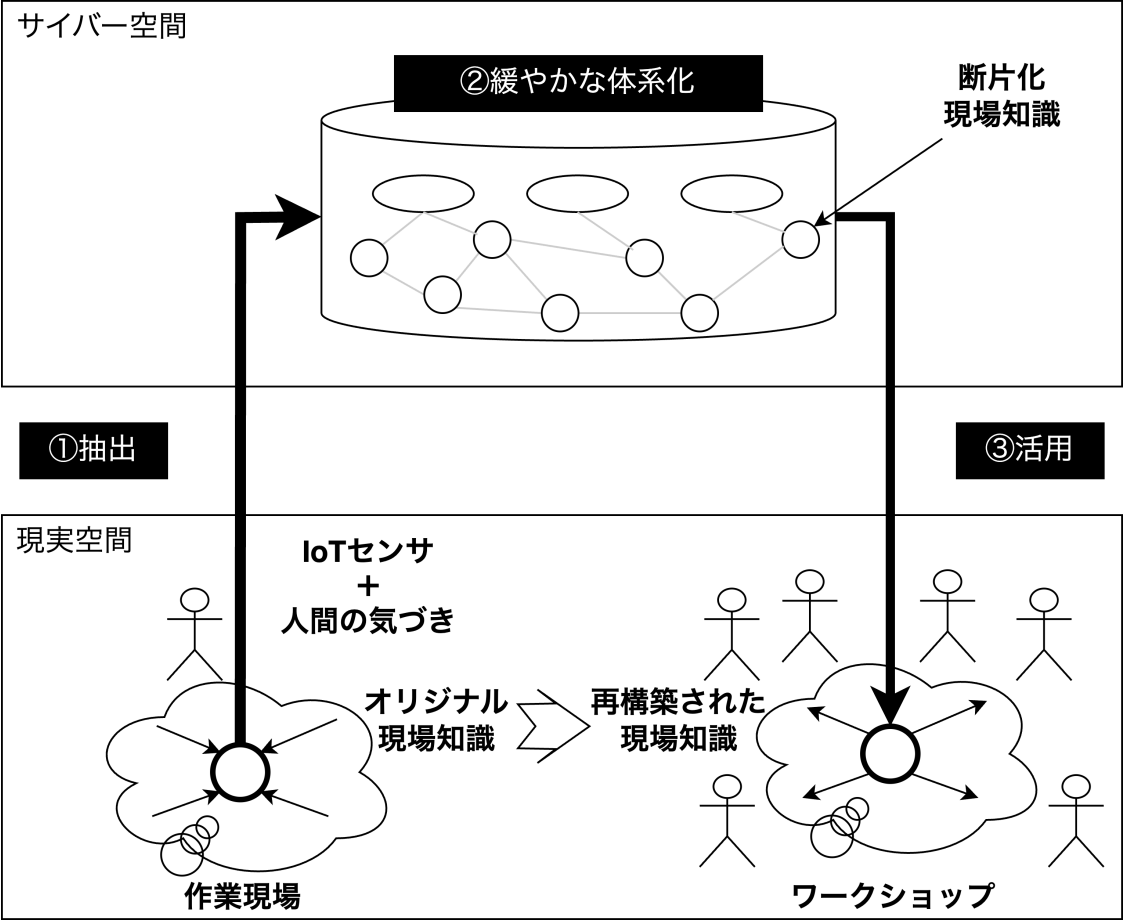


図 3.2: (再掲) デジタルナレッジツイン
(内平ら, 2024) を参考に著者作成

提案手法（図 3.3）は大きく分けて以下に示す 3 つのステップによって、現場知識の共有に取り組む。本提案は、保守点検や農業などを想定しており、複数人で様々な作業を離れた場所で行っている状況であり、対象とする作業は以下の特色を持つ。作業者が似たような作業をそれぞれの箇所で取り組んでいる状況で、取り組

む対象や内容が同様のものであったとしても、作業環境をはじめとする現場のコンテキストによって対応が異なる場合がある。また、その状況に対して、現場作業者は現場の状況を認識し、自身の経験や知識を持って、対処している。

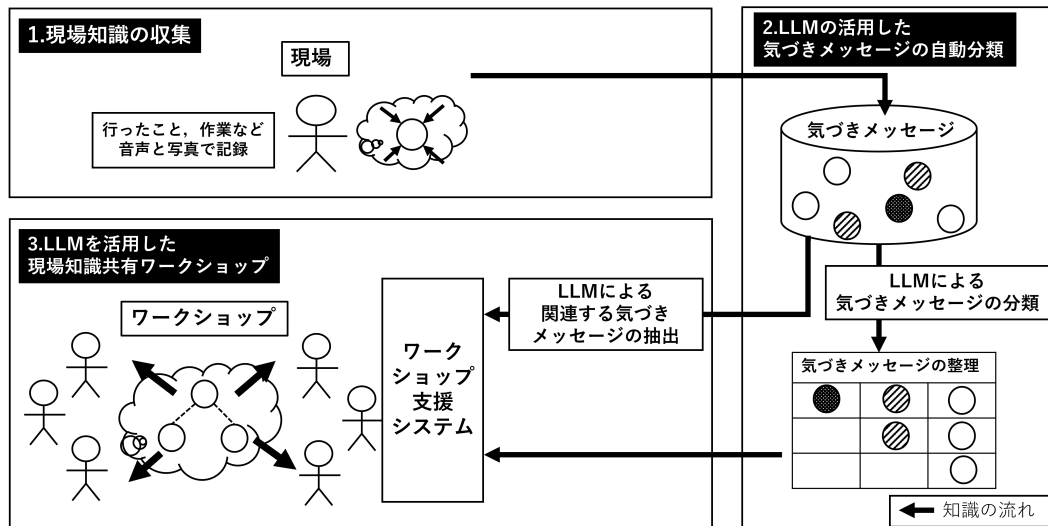


図 3.3: 本研究で提案するナレッジマネジメント手法の概要

1. 現場知識の収集

音声つぶやきシステムを活用して、現場で感じたこと、考えたことを気づきメッセージとして音声やテキスト、写真として記録する。

写真撮影が可能な現場であれば、写真をうまく活用し、気になったことを指摘することが有益である。気づきメッセージを記録することは、普段行っていないことであり、特に気づきメッセージの取り組み始めにおいては、記録が難しい場合が多い。そのため、特定の作業を始める前、終わった後といった決められたタイミングにおいて記録を残すようルールを取り決めて行うと気づきメッセージを収集しやすい。気づきメッセージはその場で話言葉（音声）によって記録することで、五感で感じたこと、五感と自身の経験や知識によって解釈して得られた現場知識をそのまま出力することに繋がり、現場のコンテキスト欠落を防ぐことができる。

加えて、気づきメッセージにおいては、単に知っていることを記録するだけでなく、現場で感じた疑問なども記録することが有意義である。先行する千代島・内平 (2024) の試行においては、現場で感じた点検時の疑問を気づきメッ

セージとして記録しつなぎ止め、ワークショップにおいて、曖昧であった基準を明らかにし、組織においてその知識を創造し共有する過程を観察している。

現場作業者は、気づきメッセージを収集しながら、他の作業者の気づきメッセージを確認し、他の作業者がどのように気づきメッセージを記録しているか、参考にしながら取り組むと、気づきメッセージの記録を向上させることができる。

2. LLM を活用したメッセージの自動分類・タグ付け

収集した気づきメッセージを LLM を活用した自動分類により、タグ付けに基づき整理する。この整理は、収集した膨大な気づきメッセージの把握を容易にするための工程であり、従来属人的に行われていた作業である。LLM の活用は、知識共有ワークショップの準備作業に要するコストを軽減する。

井上・内平 (2023) の提案手法では、ナレッジマネジメントの実施者が自ら気づきメッセージを整理し、気づきメッセージが対象としている作業や機械ごとの分類を行っていた。現場知識の収集期間が長くなり、参加者が多い場合は人力での作業には限界がともなう。気づきメッセージは、多くの場合特定の作業パターンや対象物に分類できるはずであり、適切なタグ付を行うことで、注目すべき気づきメッセージ、よい気づきメッセージの記録方法を現場知識の収集過程にもフィードバックできる。

3. LLM を活用した現場知識共有ワークショップ

気づきメッセージを議論のトリガーとして活用することで現場知識を表出し、共有する。ここでは、収集した膨大な数の気づきメッセージの中から議論と関連する気づきメッセージを LLM によって抽出する。LLM は、トリガーとなる気づきメッセージをアンカー¹⁾として活用することで、類似する状況の気づきメッセージを抽出し、類似する状況の現場知識の表出を支援する。

ステップ 2 で構築したタグ付けでの絞り込みや気づきメッセージの検索機

1) 船は洋上での停泊時にアンカー（錨）を打ち込んで停泊する。その際に、その船舶は波や風に流されながら、そのアンカーを打ち込んだ場所を中心とした円の中で移動しながらその円の中で留まる。選択された気づきメッセージを中心として、LLM による検索機能によって類似する気づきメッセージを取り上げ、議論を広げる様を示したメタファー。

能、類似した気づきメッセージを表示する機能などを有したワークショップ支援システムによって、インタラクティブにファシリテータを支援することで実現する。

3.2 本研究で取り扱う現場知識を共有する知識共有ワークショップの課題

音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップは、現場を離れることで言語化が困難である現場知識を表出するために気づきメッセージをトリガーとして議論に活用することで、現場知識を共有する。この手法は、業務を中断することなく作業中の気づきを記録することができるため、現場で表出する気づきを現場知識の断片として低いコストで収集できる手法である。一方で、現場知識の断片をトリガーとして議論する知識共有ワークショップの実施に伴い、準備段階と現場知識の共有段階に現場に対して高いコストを要し、収集する気づきメッセージ数の増加に伴い現場で生じるコストは増加する。また、現場知識を共有する知識共有ワークショップは、一度の試行で共有できる現場知識は限定的であり、知識共有ワークショップで行われる議論にも依存する。そのため、このような知識共有の取り組みは繰り返し継続的に行われることが有効であり、現場のコストを抑えた知識共有手法が求められる。これらの課題を以下で2つに分け、本研究で取り扱う課題として定める。

課題1 準備作業工数の増加：

現場知識を共有する知識共有ワークショップでは、準備段階において収集した気づきメッセージの認識・把握を容易にするための分類・整理作業は、収集される気づきメッセージ数の増加に伴い、作業工数が増加する。気づきメッセージの分類・整理は属人的に行われてきた作業であるため、収集される気づきメッセージの増加に伴う準備作業時間の長期化により、円滑な現場知識共有の障害となる。

課題2 ファシリテータの能力依存：

知識共有ワークショップでは、気づきメッセージをトリガーとして活用し、言

語化が困難な現場知識の表出と共有を試みる。しかし、有益な現場知識を共有するためには、気づきメッセージを基に作業者の経験や潜在的な現場知識を引き出す質の高い議論が必要となる。これらの議論の質は、議論を進行するファシリテータに依存する割合が多くを占める。例えば、取り上げる気づきメッセージはファシリテータの価値観により選択され、特定の作業者には有益な気づきメッセージであっても見逃される可能性が高い。これは、先述した (Lundberg et al., 2009) による探しているものしか見いだせられないことの指摘に相当し、有益な現場知識の共有の障害となる。

3.3 知識共有ワークショップの課題に対する解決策の提案

本研究では、知識共有ワークショップの際に生じる現場の負担軽減と、音声つぶやきシステムを長期間試行することで蓄積される膨大な数の気づきメッセージを効果的に知識共有ワークショップに活用するための提案手法として LLM を中心とした NLP の活用により、これらの課題軽減を実現するナレッジマネジメント手法を提案する。提案するナレッジマネジメント手法は、3.2 にて示した本研究で取り扱う現場知識共有の 2 つの課題に対して、それぞれの章で NLP の活用手法の有効性を示し、既存の音声つぶやきシステムを用いた知識共有ワークショップによる現場知識の共有手法と融合した現場知識の共有を支援するナレッジマネジメント手法を提案する。提案する NLP の活用手法と音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップを統合した提案手法のコンセプトモデルを図 3.4 に示す。NLP の活用手法と本研究で取り扱う課題の対応を以下にて説明する。

課題 1 に対する提案: テキスト分類による分類気づきメッセージ整理・整理の支援 [5 章]

属人的に実施されていた気づきメッセージを特定カテゴリへと分類・整理を行う作業の時間的負担を軽減するために、テキスト分類タスクを気づきメッセージの分類・整理作業に対して用いることで、作業工数の低減する LLM を中心とした NLP の活用を提案する。詳細は 5 章にて記載する。

課題 2 に対する提案: 類似度検索による議論活性化の支援 [6 章にて適切な LLM モデル選定, 7 章にて全体評価]

潜在的な現場知識を議論の場で表出するためには, 議論の質向上が重要である。しかし, 限られた時間の中で実施する知識共有ワークショップにおいて, 議論の対象として活用できる気づきメッセージの数は限られ, 収集した気づきメッセージの数が増加するほど, 活用されずに重要である気づきメッセージが埋もれてしまう。

LLM を用いた類似度検索は文脈類似性に基づいて, 気づきメッセージ同士の類似度を算出することが可能である。収集した気づきメッセージに対して, 関連する気づきメッセージの抽出する LLM を用いた類似度検索手法を提案した上で, トリガーとして活用する気づきメッセージに対して類似度検索を用いることで, 関連する気づきメッセージを参照した議論を可能にする知識共有ワークショップ支援手法を提案する。類似度検索手法と知識共有ワークショップ支援手法の詳細は, それぞれ 6 章と 7 章に記載する。

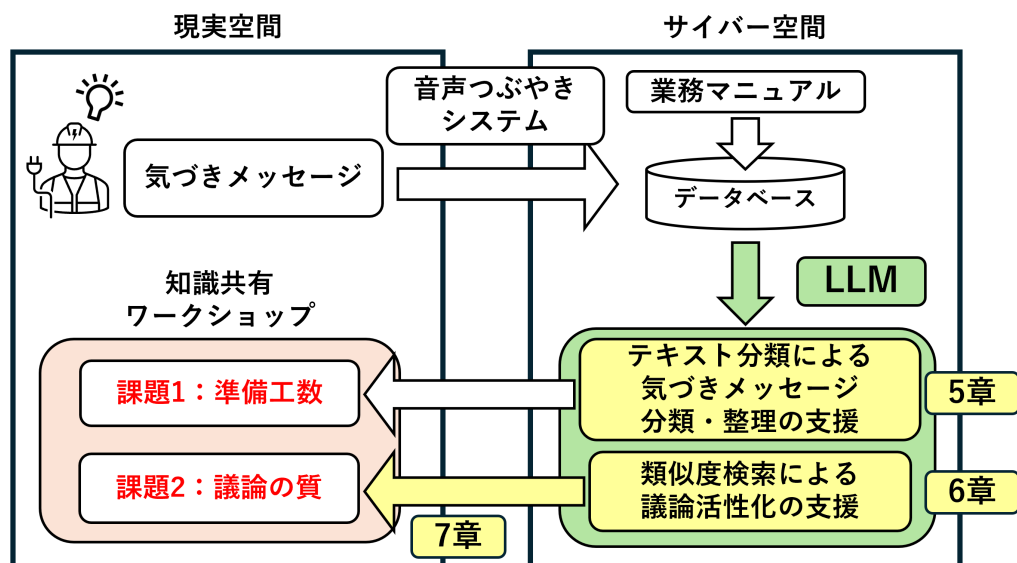


図 3.4: NLP 活用した現場知識の共有手法ナレッジマネジメント手法の実装

3.4 まとめ

本章では、本研究で提案する現場知識の共有を支援するナレッジマネジメント手法を示した。提案したナレッジマネジメント手法では、①音声つぶやきシステムによる気づきメッセージの収集②LLM を活用したタグ付分類によるコストを抑えたワークショップ準備③選択した気づきメッセージをアンカーとした現場知識の共有により、現場知識の共有を支援する。

提案手法は井上・内平 (2023) を始めとした現場知識共有手法と比較し、LLM を効果的に用いることで、低コストでのワークショップ実施、時間が限られた中での効果的なワークショップを実現する。4 章にて、提案手法の要素の実現、提案手法の評価方法を示す。

第 4 章 研究方法

4.1 概要

設定したリサーチクエスチョンに回答するため、本研究で取り扱う課題として 3.2 で示した課題 1 と課題 2 に対して、LLM を中心とした NLP の活用手法を提案、実験評価を行い、LLM の活用手法の有効性を明らかにすることで研究を進めることで、課題に対する LLM の活用手法を用いた現場知識のナレッジマネジメント手法を提案する。課題 1 と課題 2 に対する LLM の活用手法と本研究の章構成の対応を記載した研究概要を以下の図 4.1 に示す。

1. LLM を用いた気づきメッセージの分類・整理の評価 [SRQ1 に対応]

第 5 章では、課題 1 に対する LLM の活用手法を示す。ここでは、気づきメッセージの分類・整理に要する作業工数の削減を目的に、LLM を活用したテキスト分類タスクを気づきメッセージを通じて、知識共有ワークショップの実施に伴う準備作業である気づきメッセージの分類整理作業の工数の軽減について検討を行う。

2. LLM を用いた関連する気づきメッセージの抽出の評価 [SRQ2 に対応]

第 6 章では、課題 2 に対する LLM の活用手法を示す。議論の質向上を目的に、収集した膨大な数の気づきメッセージを対象に、議論を促進する関連性の高い気づきメッセージの抽出について LLM を用いた類似度検索を評価実験により有効性を検討する。

3. 関連する気づきメッセージを参照した知識共有ワークショップの評価 [SRQ2 に対応]

第 7 章では、第 6 にて有効性を示した LLM の活用手法を用いて、議論に関連する気づきメッセージを参照する知識共有ワークショップを行うことで、LLM の活用手法を用いた知識共有ワークショップによる現場知識の共有への有効性

を実験評価から評価する。

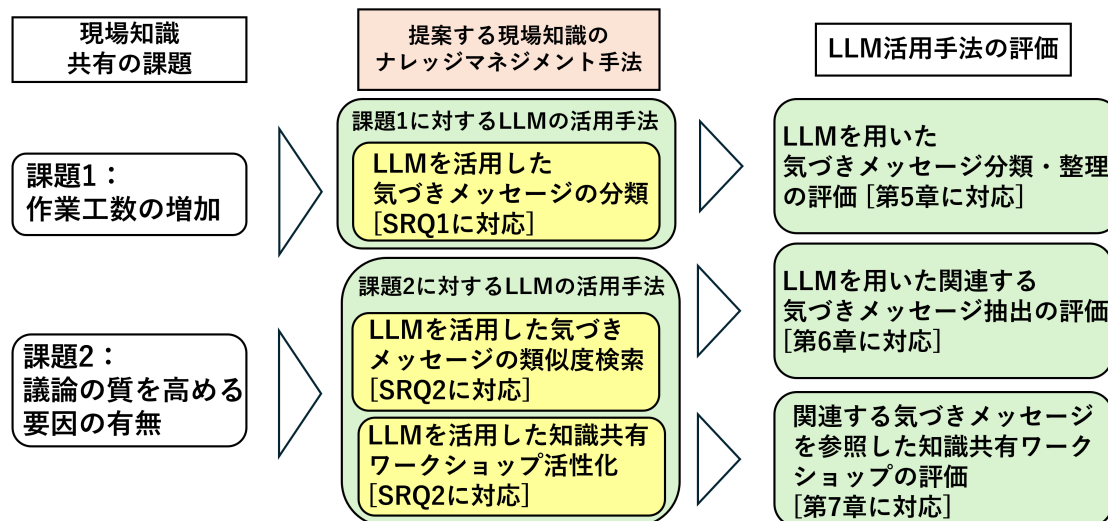


図 4.1: 本研究の概要

4.2 評価用データセット

本研究では，現場知識を共有する知識共有ワークショップにおける LLM 活用手法について検討する．その中で，保守点検の現場における検証として，そのため，気づきメッセージを対象とした，NLP の活用について実験を行い，NLP の活用の有効性を検証する．以下の表 4.1 では，5 章と 6 章で扱う気づきメッセージのデータコレクションを示す．

表 4.1: データコレクションの概要

収集方法	音声つぶやきシステム
試行参加者	電気保安業務従事者
試行対象業務	電気設備の点検業務
収集期間	123 日間
気づきメッセージの収集	テキスト
収集した気づきメッセージ数	2204 件

収集した気づきメッセージの特徴として、作業者が現場や作業中の気づきを自由に記録したものであるため、内容は話し言葉や専門用語、略語を含み語彙が統一されていない。また、テキスト化されたデータは構造化されておらず、不完全なデータである特徴を持つ。

LLM を活用したナレッジマネジメントシステムについての一部の実験（5 章）は、教師あり学習を用いたアプローチにより実施された。有効なナレッジマネジメントシステムを構築するために、豊富な気づきメッセージをデータコレクションとして用いた。そのため、LLM 活用の実験評価では、(千代島・内平, 2024) において電気保安業務を対象に音声つぶやきシステムを試行し、収集された気づきメッセージをデータコレクションとした。

ナレッジマネジメントシステムを検証するデータコレクションとして活用した気づきメッセージの集計数について、音声つぶやきシステムの先行研究との比較を以下に示す (表 4.2)。

表 4.2: 音声つぶやきシステムの先行研究との比較

先行研究	試行回数	参加者数	累計気づきメッセージ数
千代島・内平 (2024)	7 回	各 15 名程	2204 件
遠矢ら (2023)	3 回	3 名	131 件
丸山・内平 (2023)	2 回	16 名	690 件
井上・内平 (2023)	1 回	1 名	385 件
高道ら (2021)	2 回	4 名	449 件

また、検証したナレッジマネジメントシステムの活用を用いた知識共有を行うナレッジマネジメント手法の検証においては、植物栽培作業を対象に音声つぶやきシステムを活用し、収集した気づきメッセージをデータコレクションとして、知識共有を行う知識共有ワークショップを実施した。詳細は 7.3.1 に記述する。

第5章 知識共有ワークショップの準備段階における NLP 活用手法

本章では、現場知識を共有する音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップを現場に定着させる際の課題である準備段階の作業負担に対する LLM 活用手法を提案する。評価実験により課題に対する提案手法の有効性を評価する。

5.1 知識共有ワークショップに伴う準備作業の課題

現状の音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップにおいては、収集した気づきメッセージを議論に活用しやすくするために整理・分類を行う作業要する。千代島・内平 (2024) の研究では、収集した気づきメッセージを知識共有ワークショップで有効に活用できるように分類・整理された気づきメッセージを日報として共有を行うことで議論での気づきメッセージの活用を促進した。このような分類・整理に伴う作業は、気づきメッセージをトリガーとして活用する知識共有ワークショップにおいて、現場知識を表出させる重要な準備作業である。しかし、収集される気づきメッセージ数の増加に伴い、準備に要する作業が長期化し、現場知識を共有する取り組みの定着に対する障害となる。実際の現場で行われる知識共有ワークショップは、作業者は通常の業務と並行して知識共有の取り組みを実践するため、知識共有に要する準備作業の時間を短縮した支援による低コストでの現場知識の共有が求められる。

本章で取り扱う課題である気づきメッセージの分類・整理作業に時間がかかる課題を明確に示すために、予備調査として気づきメッセージをの分類・整理作業を対象に時間研究を実施した。

5.1.1 分類・整理作業時間の調査

予備調査では、気づきメッセージの分類・整理にかかる作業時間を調査するために、収集した気づきメッセージを対象に人手による分類・整理作業を計測を実施した。以下に実施した時間研究の概要を示す (表 5.1)。

千代島・内平 (2024) で行われた音声つぶやきシステムの試行では、全 7 回のセッションが実施され、収集された気づきメッセージが多いセッションでは 500 件以上の気づきメッセージを収集することができた。本調査では、収集される気づきメッセージの増加に伴う作業時間について明らかにするため、調査で扱う気づきメッセージの数は 500 件に統一した。

対象とした気づきメッセージには、電気保安業務関連の専門用語が含まれる。そのため、必要に応じて参加者はインターネットを使用して各自で調べることを許可した。加えて、気づきメッセージには曖昧な内容を含み、分類カテゴリーが一意に定まらないと参加者が判断した場合は、近いと考える分類カテゴリーを 2 つまで選択できるとした。

表 5.1: 時間研究の実施概要

調査対象	気づきメッセージの分類作業時間
実験参加者	北陸先端科学技術大学院大学の学生 6 名（日本語話者に限定）
実施方法	オンライン
作業対象	500 件の気づきメッセージ

5.1.1.1 予備調査の手順

実施した予備調査の手順を以下に示す。予備調査では、4.2 で収集した気づきメッセージからランダムで選択された 500 件の気づきメッセージを対象に、千代島・内平 (2024) による全 7 回の試行を通して最適化された気づきメッセージの分類カテゴリー (表 5.2) に基づいて実施した。

1. 500 件の気づきメッセージが記載された Excel ファイルを実験参加者に配布した。
2. 実験参加者は分類カテゴリーに基づいて、配布した Excel ファイルに記載された全ての気づきメッセージに対して適切な分類・整理を分類カテゴリーから 1 つもしくは、2 つの該当カテゴリーを選択する。
3. 参加者は、集中して作業ができる環境で分類作業にかかる時間を計測をし、休憩時間を除いた計測時間を作業時間として報告した。

表 5.2: 電気保安業務を対象にした気づきメッセージの分類カテゴリー

カテゴリー名	説明
点検開始・終了報告	作業の開始と終了を報告する内容
点検ポイント・ノウハウ	点検時に独自で気にかけている点
疑問・要相談	その場で感じた疑問や相談したい内容
心配・苦勞の共有	報告するまでもないが気になる点
連絡メモ事項	報告すべきことや備忘録

5.1.1.2 調査結果

気づきメッセージの分類・整理にかかる作業時間の結果を表 5.3 に示す。調査の結果から、気づきメッセージの分類・整理の作業には、作業者間で気づきメッセージの分類・整理の作業に約 1 時間以上の作業時間を要し、作業者間では倍近くの作業時間が負担となることが明らかになった。この要因としては、気づきメッセージに含まれるコンテキストが明記されずに曖昧な内容となりやすいため、作業者の知識や経験によって解釈が異なったことが影響し、結果として参加者間で分類作業量が異なり作業時間に開きが生じたと考えられる。

また、複数のカテゴリーに分類される気づきメッセージの分類・整理は、作業者によって分類カテゴリーに違いが生じやすい。このことから、分類作業を多数の作業者により分担することは、作業者間で分類が異なりやすくなる。単独の作業者による分類・整理作業においても、作業負担が集中するため長時間の作業を要し、円滑な知識共有に結び付かない。

まとめると、知識共有に要する作業時間の負担を軽減する支援手法を実現するためには、気づきメッセージの分類・整理の作業に要する作業工程を削減することが有効だと考えられる。

表 5.3: 気づきメッセージの分類に要する作業時間

参加者	A	B	C	D	E	F
作業時間	2 時間 15 分	2 時間	2 時間 7 分	1 時間 7 分	1 時間 5 分	1 時間 1 分
平均時間	1 時間 36 分					

5.2 提案手法

本章では、5.1.1.2 で示した知識共有ワークショップに伴う準備段階の作業工数の課題を対象に、現場の負担を軽減する LLM の活用手法を提案する。提案する準備段階の作業時間を軽減するための LLM の活用手法を図 5.1 に示す。

音声つぶやきシステムにより収集・蓄積した気づきメッセージはデータベースに蓄積される。従来、人手に依存していたため作業時間の増加が課題であった。本提案手法では、気づきメッセージ分類・整理作業を NLP を用いたテキスト分類タスク¹⁾を用いることで気づきメッセージを特定のカテゴリへ自動的に分類する。気づきメッセージのカテゴリ項目の作成は、現場における気づきメッセージの活用用途によって適切に設定される必要がある。本研究では、評価データセットが収集された電気保安業務で使用されたカテゴリを用いて実施した。本提案手法では、LLM を活用により気づきメッセージが自動的に分類されることで現場における気づきメッセージの分類・整理に要する作業工数が削減され、本章で取り扱う課題である知識共有ワークショップに伴う準備段階の作業時間を軽減する。

1) 文章を特定の分類形体系に自動的に割り当てる処理

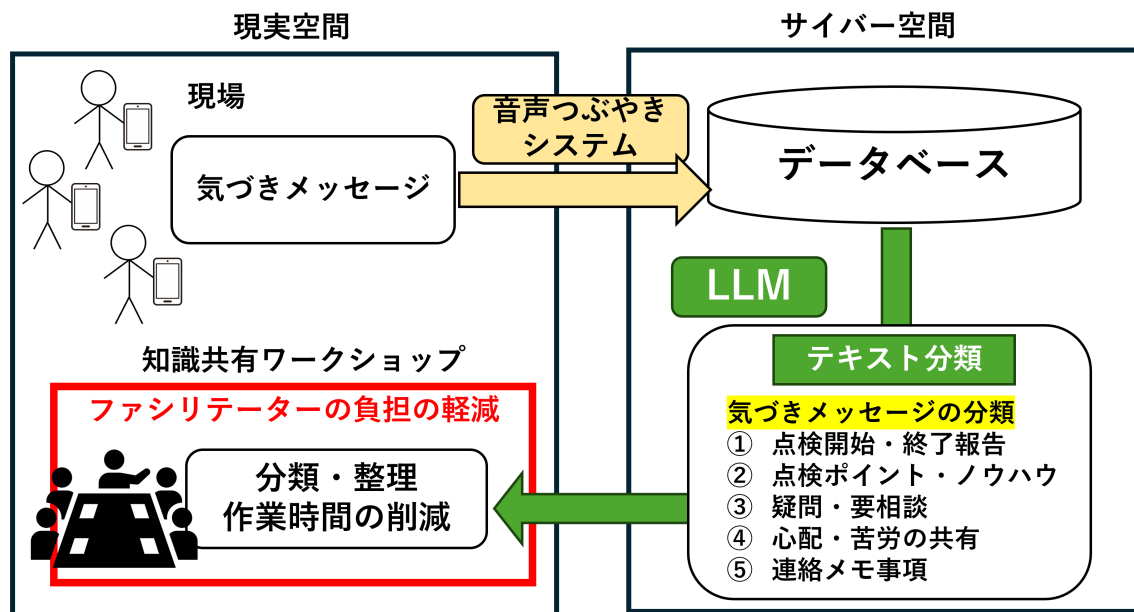


図 5.1: 提案する準備段階における課題を軽減する NLP の活用手法

5.2.1 提案手法の実装

LLM を用いた分散表現を用いることで、非構造データである気づきメッセージを数値として扱うことが可能になる。本実験では、気づきメッセージをカテゴリに分類する処理においては、気づきメッセージを入力として、LLM を用いたテキスト分類により入力された気づきメッセージの予測カテゴリが出力される処理が行われる。これは、分散表現により、ベクトル空間上での距離や角度により、気づきメッセージ間の意味的な類似度を定量的に捉えることを示し、高次元の特徴表現を獲得することで、単語の共起関係だけでなく、より深い意味的な関係性を捉えることが可能である。

本実験では、気づきメッセージを入力とした LLM により、気づきメッセージの分散表現からラベルの予測値が出力される。出力値に対して softmax 関数を用いて確率値に変換した。マルチラベルに考慮するために閾値を設け、softmax 関数による出力値が 0.3 以上の値をとる場合に、クラスに属するとして、最終的な出力として処理した。実際の評価データセットを例とした、一連の処理概要の図を 5.2 に示す。

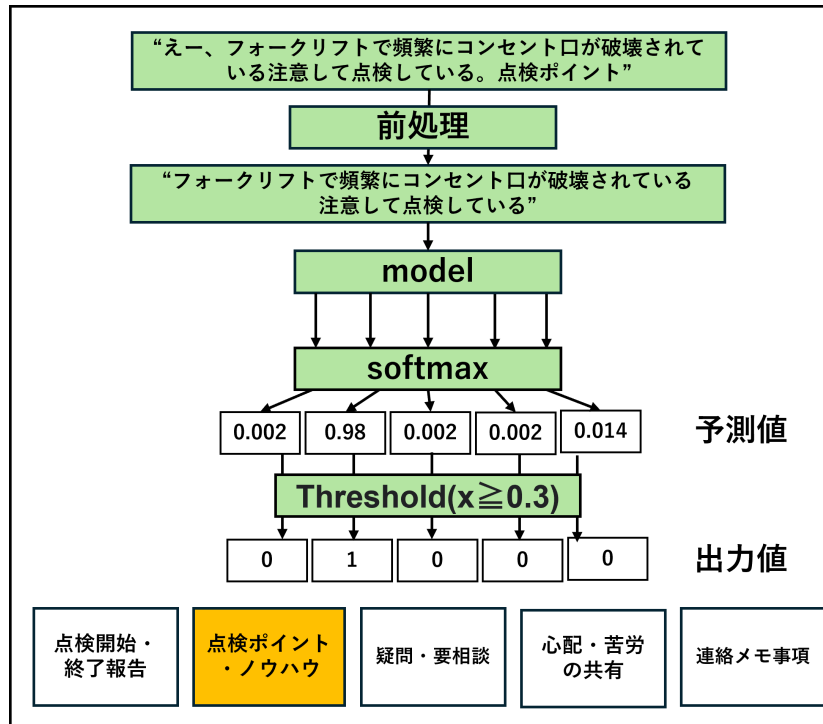


図 5.2: 気づきメッセージを分類する処理方法

5.2.1.1 気づきメッセージに対する前処理

教師データとして使用する気づきメッセージは生のテキストデータであるため、前処理を行うことでデータの質を向上させ、モデルに適した形式に変換する必要がある。本実験では、前処理として気づきメッセージに対して形態素解析とストップワードの削除を実施することで、気づきメッセージを基に学習を行う際の誤字や意味のない単語情報を排除し、モデルが注目すべき単語や特定品詞に基づいた学習を実施した。その結果、前処理が行われた学習データを基に適切な特徴量ベクトルの生成が可能になる。その後、一般的な前処理である不均衡データとマルチラベルに対応する前処理を実施した。

形態素解析は、テキストを形態素²⁾に分解することで、形態素を特定し、品詞を特定する。形態素に分割された単語はトークンと呼ばれ、形態素解析を行うことでトークンごとに処理が可能になる。ここでは形態素解析のモジュールとしてGiNZA(松田, 2020)を用いた。次に、トークン化した気づきメッセージに対して、

2) 意味を持つ表現要素の最小単位

ストップワードの削除を行った。ストップワードは以降の処理対象から排除される単語やトークンであり、言語的な意味を持たない情報や出現頻度が高いわりに役に立たない情報を指す。本実験では、あらかじめ用意した一般的なストップワードが定義されている辞書に加えて、独自で定義した単語情報を加えたものを作成した。トークン化された気づきメッセージを対象に、フィラーや余計な発話、辞書に含まれる単語情報の除去を行った。

5.2.1.2 モデルの学習

本実験では複数の言語モデルを使用し、気づきメッセージの分類予測を実施した。本実験で使用した言語モデルとそれぞれの特性を一覧（表 5.4）に示す。本研究では、それぞれの言語モデルに対して蓄積した気づきメッセージに加えて、電気保安業務の点検マニュアルとワークショップの文字起こしなどのコーパスを用いて学習した言語モデルにより、表 5.2 のカテゴリに気づきメッセージを分類する。一般的に LLM は大量のテキストデータを用いた事前学習を行い言語知識を学習している。一方で下記に示す LSTM 及び Bidirectional LSTM は、特定のデータセットに対して逐次的に学習を行うため、LLM には該当しない。

- LSTM, Bidirectional LSTM を用いた言語モデルの学習

LSTM, Bidirectional LSTM を用いた分類器では、気づきメッセージと業務マニュアルをコーパスとして用いて言語モデルを作成した。word2vec と比較して、LSTM は距離依存関係に強く、離れた位置にある単語間の関係性を学習することができる。また双方向性を持つ学習が可能である Bidirectional LSTM は、より詳細な単語間の関係性を捉えることで、高度な文章の理解を可能にする。

- BERT を用いた言語モデルの学習

BERT は、事前学習済みの日本語モデル³⁾を使用した。事前学習済み言語モデルであるため、既然大規模なコーパスから単語間の関係性を学習しているモデルであるが、評価データに用いる電気保安業務特有の分散表現を学習するためにコーパスを用いたファインチューニングを実施した。

3) <https://github.com/cl-tohoku/bert-japanese>

表 5.4: 言語モデルの特性比較

Models	距離依存関係	双方向性	事前学習の有無	未知語の対応
LSTM	○	×	×	△
Bidirectional LSTM	○	○	×	△
BERT	◎	○	○	○

5.2.1.3 評価データ

評価データとして用いる気づきメッセージは、曖昧性や冗長な内容が含まれるため、複数のカテゴリーに属する場合もある。つまり、1つの気づきメッセージに対して複数のカテゴリーを持つ場合を考慮するため、気づきメッセージをマルチレベルのデータとして処理を実施した。さらに、5.2 に示した本実験で扱う気づきメッセージの各ラベル数は、比率が大きく異なっている不均衡データである特性を有する。

また、音声つぶやきシステムは話し言葉で入力されるため、気づきメッセージには話し言葉特有のフィラーや余計な発話が含まれる。そのため、気づきメッセージに対して前処理を行うことで、ノイズを除去し、モデルの学習に適したデータを作成した。

5.2.1.4 不均衡データへの対処

言語モデルに対して前処理を施した気づきメッセージを用いて、気づきメッセージとラベルの関係性について学習を行った。

しかし、本実験で使用する気づきメッセージは特定のタグ数に偏りのある不均衡データであったため、少数ラベルへの予測が困難になりやすい傾向にあった。本実験では、データの均衡性を保つために、多数ラベルのデータ数を適切な数にまで不規則に削減するランダムアンダーサンプリングを実施した。この手法は、少数ラベルの学習を支援し、全体的な予測性能の向上に有効な手法である。

5.3 提案手法の有効性評価実験

本研究では、知識共有ワークショップの準備段階における気づきメッセージの分類・整理作業に要する時間的負担を軽減する手法として、収集した気づきメッセージを対象に分類・整理の負担を軽減する自動分類を提案している。提案した手法を評価するため、評価実験を行った..

文書分類は、教師あり学習によるテキスト分類により、文章とカテゴリとの間の関係性について学習した分類器を作成し、分類器を用いてテキストを分類する手法とテキスト情報から類似する特徴を持つクラスに分ける教師なし学習により分類する手法に分けられる。本実験では、千代島・内平 (2024) で実施された気づきメッセージに紐づけられたカテゴリを正解データとした教師あり学習によるテキスト分類を実施した。収集した気づきメッセージの内、テスト用データとして 500 件を用い、教師データとしてテスト用データ以外の気づきメッセージを使用した。

本実験では、データコレクションの気づきメッセージを基に気づきメッセージと分類カテゴリの関係性を学習した複数の気づきメッセージ分類モデルを作成した。気づきメッセージを入力として、各モデルが出力した予測カテゴリを実験評価した。

また、複数の言語モデルを用いて、入力された気づきメッセージから分類カテゴリを予測値として出力を行う。

言語モデルが予測するラベルを出力結果としてモデルごとの分類精を比較することで、気づきメッセージの分類・整理作業に対する LLM の有効性を示し、分類・整理作業に必要な作業工数の削減を目指す。

5.4 評価方法

本実験で扱う気づきメッセージは各ラベルに対して不均衡なデータであるため、単純な正解率を用いて言語モデルを評価することが困難である。そのため、不均衡データを扱う言語モデルの各カテゴリに対する出力結果を Accuracy に加えて macro F1-score, を用いて評価した (式 5.1)。F1-score は、二値分類のタスクに対する評価指標であり、適合率と再現率の値の調和平均を示す。macro F1-score は、各

クラスの F1-score を計算し、平均をとるため、各クラスが同じ重みを持ち、クラスの不均衡に対して影響されにくい (式 5.2)。また、Accuracy, macro F1 score は共に 0.0 1.0 の範囲の値をとり、1.0 に近づくほど精度が高い結果となる。F1-score は、一般的に 0.6 以上の値で有効性を示すが、0.8 以下は改善の余地があるとされる。

$$\text{F1 score} = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (5.1)$$

$$\text{macro F1 score} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{F1 score}_i \quad (5.2)$$

5.5 評価結果

各モデルの比較を表 5.5 に示す。Accuracy は Bidirectional LSTM が最も高い精度となった。しかし、マルチラベルを考慮する macro F1-score では、BERT が最も高い精度になった。このことから、BERT による自動分類が有効であることが確認された。カテゴリーごとの各手法の Accuracy の比較を図 5.3 に示す。ほとんどのカテゴリーで BERT による分類が最も高い精度になった。この結果から、「心配・苦勞の共有」に分類される場合に限って他のカテゴリーよりも Accuracy が低い値となった。

表 5.5: NLP モデルによる気づきメッセージの分類性能比較結果

model name	LSTM	Bidirectional LSTM	BERT
Accuracy	0.795	0.83	0.817
macro F1-score	0.6291	0.594	0.6421

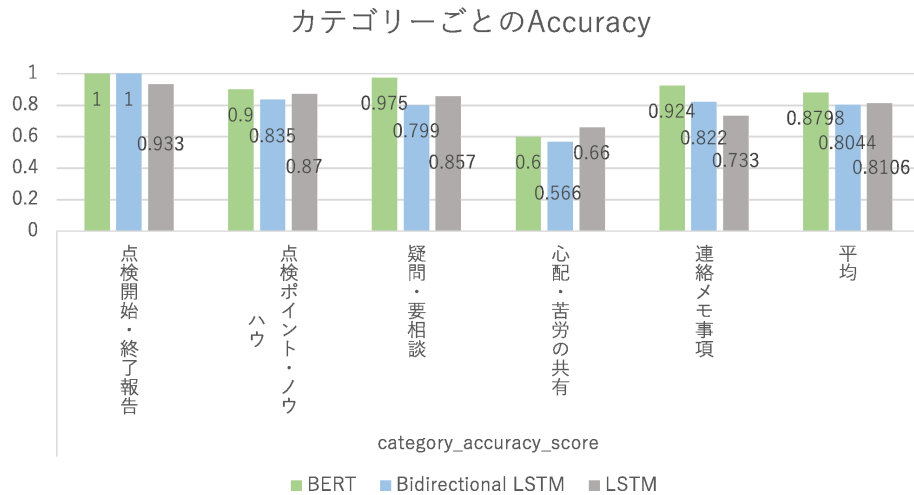


図 5.3: カテゴリーごとの Accuracy Score

5.6 考察

本試行では、文脈も考慮することができる言語モデルとして LLM では、BERT, 比較とした NLP 手法には LSTM, Bidirectional LSTM を使用した気づきメッセージの分類・整理を実施した。分類精度を示す Accuracy の結果から、「心配・苦勞の共有」以外のすべてのカテゴリーで BERT による分類精度が最も高い結果であった。特に「点検開始・終了報告」に関しては、「点検」・「開始」・「終了」などの共通するキーワードが頻出するために、学習が容易であり、3 つの手法すべてが 9 割以上の精度の分類がおこなわれた。反対に、他の「心配・苦勞の共有」のカテゴリーに関しては、ほかカテゴリーの気づきメッセージの件数に比べ少なかったことから十分な学習ができなかったことが考えられる。「心配・苦勞の共有」の分類で BERT よりも LSTM の方が有効に働いた理由として、十分な学習できていない状態では事前学習の内容に引っ張られたため事前学習を行わない LSTM が有効に働いた可能性がある。BERT は未知単語にも対応できる手法であるが、データ量が少ない状況では現場知識に特化した出力ができなかったことが考えられる。対して、事前学習モデルを使用しない LSTM は 0 から現場知識に特化した学習をおこなったため学習データが十分でない状況でも高い精度の分類が行えた。

以上から、本実験で使用した言語モデルの中では基本的に BERT による手法が気づきメッセージにおいて高い精度で分類が可能であったが、少量の件数のみが属するカテゴリーの場合に限っては LSTM の手法が有効に働く可能性がある。

5.7 まとめ

本章では、3 章で提案した現場知識の共有を支援するナレッジマネジメントを実現するため、ワークショップの準備支援を目的として、気づきメッセージの自動分類の開発を行った。5.1 において検証したように、気づきメッセージの分類には多くの時間がかかり、タグ付けを行う作業者によって、ばらつきが出ることを示されている。そのため、自動化による準備時間の短縮、機械学習モデルによる均一な評価は、ワークショップの品質を高める観点からも有益だと考える。

ワークショップの中で議論する気づきメッセージとして、「点検ポイント・ノウハウ」、「疑問・要相談」、「心配・苦労の共有」が特に有益であると考ええる。「点検ポイント・ノウハウ」が現場作業者が自ら工夫している、現場知識そのものを内包し、「疑問・要相談」、「心配・苦労の共有」は、現場での悩みや苦労、不安点を気づきメッセージの形で繋ぎ止め、ワークショップの場での議論やベテランからの助言と行った形で、知識共有が実現できる「トリガー」になり得る。

今回評価用に用いたデータでは、カテゴリーごとに気づきメッセージに偏りがあり、十分に評価が行えていない部分があった。今回の評価用に用いた気づきメッセージ収集の試行は期限に限りがあり、限られたメンバー間で収集されたものであったため、気づきメッセージ数自体もそれほど莫大な数になっていなかったが、本格的に気づきメッセージが運用され、多くの気づきメッセージが収集されることにより、データ不均衡の問題も解消し、より正確な予測を実現し、円滑な気づきメッセージの処理を実現できると考える。

第 6 章 知識共有ワークショップの議論を促進する LLM の開発

6.1 はじめに

本章では、3.2 で提示したファシリテータの能力依存の課題に対して、知識共有の促進を目的に議論の活性化を支援する LLM の活用手法を提案する。実験評価を用いて提案手法の有効性を示すことで、現場知識を共有する知識共有ワークショップにおける知識共有段階での LLM の活用手法を明らかにする。

気づきメッセージをトリガーとして議論を行うことで現場知識を共有する知識共有ワークショップは、Nonaka and Konno (1998) が提唱する「場」の概念に基づく知識創造の実践として位置づけられる。そのため、知識共有ワークショップは参加者の状況や相互作用によって動的に変化し、議論の展開に応じて必要とされる知識も変化する。参加者は議論を通して新たな視点や気づきを洞察し、現場知識を共有する。実際の現場へと知識共有ワークショップを定着させる際には、限られた時間の中でより多くの現場知識の共有が求められる。効果的に現場知識を共有するためには、動的な場である知識共有ワークショップにおいて、その瞬間の場に適した気づきメッセージをトリガーとした議論により、参加者の内面にある潜在的な関連する知識と結び付け、議論を活性化させることで、関連する現場知識が表出される必要がある。しかし、議論の流れによって気づきメッセージを捉える視点が変わることから、取り上げるべき気づきメッセージも瞬時に移り変わる。

その場に適した気づきメッセージの選択を行うためには、実際の業務知識と膨大な数の気づきメッセージを結び付けて保持し、議論を適切にリードするファシリテータが必要になる。しかし、膨大な数の気づきメッセージの把握は困難であり、ワークショップにおける知識共有の質はファシリテータの能力に依存していた。

ここでは、現場知識共有ワークショップでの議論の質において、ファシリテータの能力依存を減らすために、取り上げた気づきメッセージを基に LLM を用いて議論すべき気づきメッセージを検索するファシリテータ支援システムを提案・開発を

行う。

6.2 提案手法

知識共有ワークショップの知識共有の効果が議論の質に依存するファシリテータ依存の課題に対して、トリガーと関連する気づきメッセージをデータベースから抽出することで、気づきメッセージをトリガーとした議論の促進するにより、議論の質向上を実現する。そのために、本章では、蓄積した気づきメッセージから関連する気づきメッセージを抽出するために LLM を活用した類似度検索の評価実験により、関連する気づきメッセージの抽出に有効な LLM を明確にする。

以下の図 6.1 に、本研究の提案手法を示す。提案する手法は、LLM を用いた類似度検索を活用することで、データベースに蓄積された膨大な数の気づきメッセージの中から知識共有ワークショップのトリガーと関連する気づきメッセージを抽出する。類似度検索により膨大な数の気づきメッセージから関連する気づきメッセージを抽出することで、知識共有ワークショップの参加者に対して、議論の場での新たな気づきを得るきっかけを与え、議論の活性化を支援する。

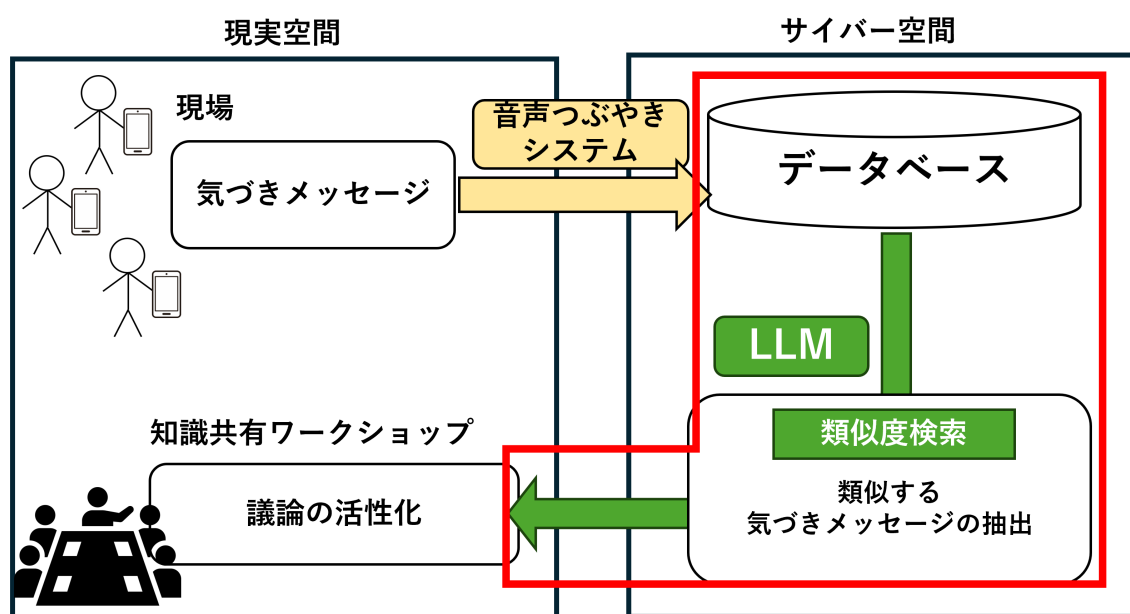


図 6.1: 提案する類似する気づきメッセージの抽出手法

6.2.1 検索処理の手順

本実験に用いる類似度検索の処理手順（図 6.2）を以下で説明する．

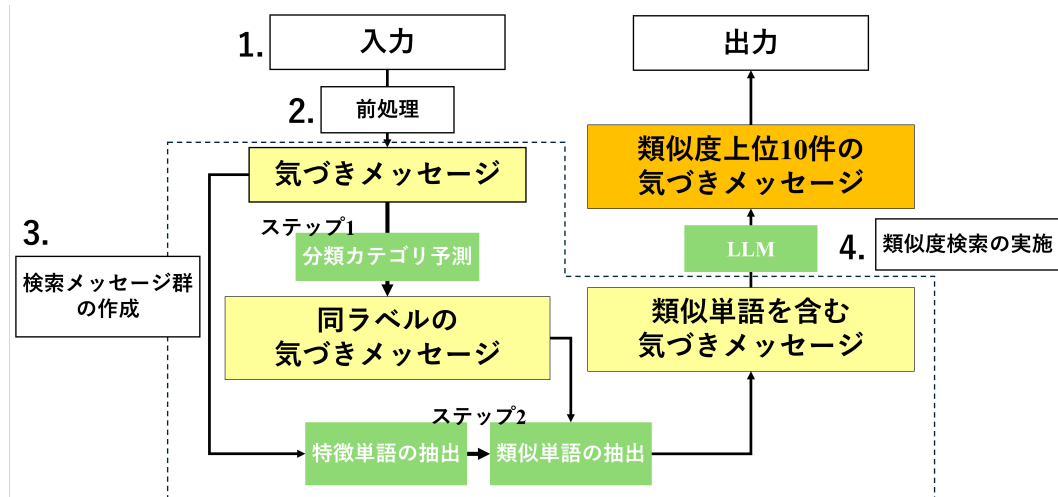


図 6.2: LLM を活用した類似する気づきメッセージ検索の概要

1. 気づきメッセージの入力

千代島・内平（2024）の試行で実施された知識共有ワークショップにおいて議論のトリガーとして活用された過去の気づきメッセージからランダムに抽出した気づきメッセージをクエリとして入力する．

2. 前処理

入力された気づきメッセージと蓄積された気づきメッセージ群に対して、5.2.1.1 にて実施された前処理と同様にストップワードの削除，フィラーや余計な発話などの単語情報の除去を実施した．

3. 検索対象の気づきメッセージ群の作成

本実験では、膨大な気づきメッセージから関連する気づきメッセージ群を抽出するために事前フィルタリング処理を行う．この事前フィルタリングでは、クエリに含まれる特徴的な単語やキーワードを用いることで、明らかに関連性の

低い気づきメッセージを除外する。これにより、より関連性の高い気づきメッセージ群に対して類似度検索を実施することができる。

本実験で実施した事前フィルタリングを以下に示す。本実験では、分類カテゴリと類似単語による 2 ステップのフィルタリングが実施された。

ステップ 1: 分類カテゴリによるフィルタリング

入力されたクエリの気づきメッセージに対して、5.2 で気づきメッセージの分類に対して有効性を示した NLP の活用手法を用いてクエリの分類カテゴリを予測する。クエリの分類カテゴリと関連する分類カテゴリに対応する気づきメッセージをデータベースに蓄積された気づきメッセージの中から抽出する。

ステップ 2: 類似単語によるフィルタリング

クエリに対して形態素解析を実施し、名詞・形容詞・形容動詞・動詞の文章の意味的な核となる品詞に該当する形態素を基本形に変換して抽出する。形態素解析ツールにはオープンソースの日本語の形態素解析エンジンである” MeCab” を使用する。同じようにステップ 1 でフィルタリングされた気づきメッセージ群に対して、それぞれの品詞を基本形で抽出する。クエリから抽出した基本形に変換した品詞に対して word2vec を用いて、意味的に類似している単語を持つ気づきメッセージを気づきメッセージ群から抽出する。

word2vec には、5.2.1.1 で使用した日本語モデルである chiVe(真鍋ら, 2019) を使用し、気づきメッセージと電気保安業務のマニュアルと知識共有ワークショップの文字起こしテキストをコーパスとして追加学習により分散表現を行った。本試行では、クエリから抽出した品詞に対して、日本語モデルの辞書から該当する単語と類似度の高い上位 20 件の単語を 1 つでも有する気づきメッセージを抽出することで、検索対象の気づきメッセージデータベースとした。

4. LLM を用いた類似度検索の実施

事前フィルタリング処理を行った気づきメッセージ群に対して、言語モデルを用いて類似度検索を実施する。気づきメッセージを分散表現によりベクトルに変換することで、気づきメッセージ同士の類似度を算出する。類似度計算により、クエリと最も類似する上位 10 件の気づきメッセージを検索対象の気づきメッセージ群から抽出する。

本試行では、言語モデルを気づきメッセージに対して活用することで、ベクトルに変換した気づきメッセージ同士のベクトルの距離を計算する $\cos$ 類似度により、目的とする気づきメッセージとベクトル距離が近い気づきメッセージの類似度を数値として出力する。 $\cos$ 類似度は、2 つの文章ベクトルの内積を 2 つの文章ベクトルの大きさで割ることで計算する。6.1 式に $\cos$ 類似度の計算式を示す。

$$\cos(a, b) = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{\|\mathbf{a}\| \|\mathbf{b}\|} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n a_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2}} \quad (6.1)$$

6.2.2 使用する言語モデル及び手法

本実験では、気づきメッセージの類似度検索を実施するために複数の言語モデル及び手法を使用した。使用する各言語モデル及び手法について以下で説明する。

- word2vec

文章中の単語の共起関係を利用して単語をベクトル空間上に分散表現として学習する手法である。学習により得られた分散表現は、意味的に類似する単語が近い位置に配置される特徴を持つ。本実験では、5 章で気づきメッセージの分類に使用した chiVe¹⁾を基盤モデルとして使用し、気づきメッセージと電気保安業務のマニュアル、ワークショップの文字起こしをコーパスとして追加学習を行った。

- BERT

BERT は、Transformer アーキテクチャを基盤とする双方向性を持つ事前学習済み言語モデルである。文脈を考慮した深い言語理解が可能であり、マスク言語モデリングと次文予測による事前学習により、豊かな文脈表現を獲得している。本実験では、5.2.1.2 で使用した東北大学が公開している日本語 BERT 事

1) <https://github.com/WorksApplications/chiVe>

前学習モデルに対して電気保安業務のコーパスでファインチューニングを実施した。

- Sentence-BERT

Sentence-BERT (以下, SBERT) は, BERT を文埋め込みに特化させた言語モデルである。Siamese Network 構造により, 文間の意味的類似度を直接学習することが可能である。本実験では, TSDAE による教師なし学習を用いてファインチューニングを実施し, 気づきメッセージの文脈表現の獲得を試みた。

- GLuCoSE

GLuCoSE は, LUKE(Yamada et al., 2020) をベースとした日本語に特化した言語モデルである。エンティティ埋め込みを含む単語とエンティティの文脈ベクトルを出力し, エンティティ間の関係性を捉えることができる。特に自然言語推論 (NLI) タスクに強く, 文の意味的な類似性の評価に優れている。

- JaColBERT

JaColBERT は, ColBERT アーキテクチャを採用した日本語の情報検索に特化した言語モデルである。Late Interaction 方式により, トークンレベルでの詳細な類似度計算が可能である。MS-MARCO の日本語データセットで学習されており, 検索タスクに最適化されている。

6.2.2.1 モデルのファインチューニング

本実験では, 気づきメッセージの類似度検索を実施するために, BERT, SBERT に対してファインチューニングを実施した。ファインチューニングは, 事前学習済みの言語モデルを特定のタスクに適応させることで, 特定のタスクにおける性能を向上させる手法である。BERT と SBERT を基盤として使用し, 気づきメッセージと電気保安業務のマニュアル, ワークショップの文字起こしをコーパスとしてファインチューニングを行った (6.3)。

使用する言語モデルには, 公開されている日本語 BERT 事前学習モデルに対して, 保安業務の現場で使用される業務マニュアルの一部, 実施されたワークショップの発話内容, 蓄積された気づきメッセージのコーパスを使用してファインチューンをおこなったモデルを使用する。

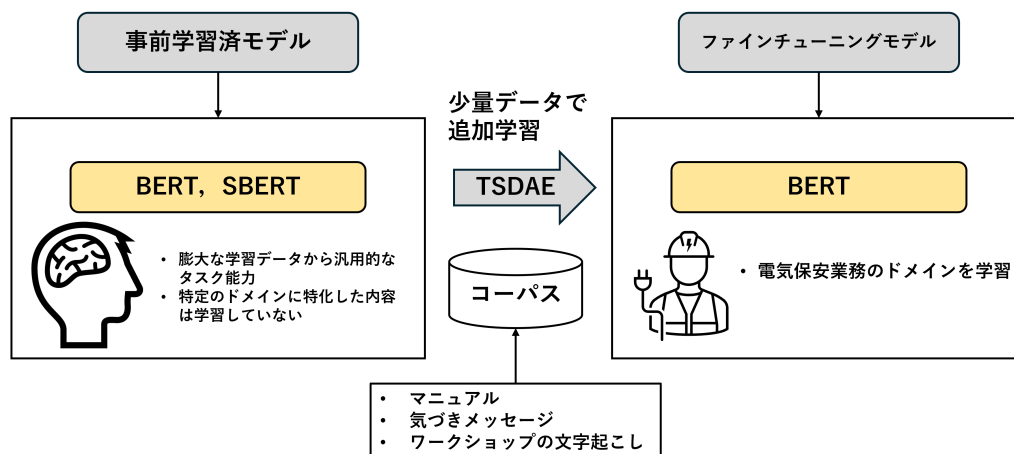


図 6.3: 本試行のファインチューニングの概要

本来，類似検索におけるファインチューニングは文章同士の関連性スコアを教師データとして用意した上で，文章類似度を学習する手法が一般的である．しかし，このような手法は，1 つの気づきメッセージに対して残りすべての気づきメッセージとの類似度の数値化する作業をすべての気づきメッセージに対して行う必要があるため，高いコストが発生し，現実的ではない．そのため，本試行ではファインチューニングに (Wang et al., 2021) によるファインチューニング手法である Transforer-based Denoising AutoEncoder (以下，TSDAE) (図 6.4) を用いる．TSDAE は，ノイズを加えたベクトルと元の文章のベクトルが近くなるように学習する教師なし文埋め込み手法である．この手法は教師データを用意する必要がないため，専門家によるテキスト同士の類似度を数値化することが困難な場合に有効な文埋め込み手法である．つまり，類似度をスコアリングデータを用意せずに，気づきメッセージ同士の類似度を学習するファインチューニング手法であるため，本提案手法のようにクエリごとに気づきメッセージの類似度が変化する類似度検索のタスクに対して有効な手法である．

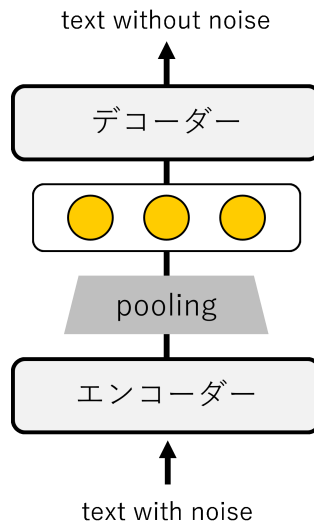


図 6.4: TSDAE

Wang et al. (2021) を参考に筆者が描画

6.3 提案手法の評価実験方法

本実験では，知識共有ワークショップにおいて議論のトリガーとして用いられる気づきメッセージとトリガーである気づきメッセージをクエリとした類似度検索による出力結果である気づきメッセージとの関連についてアンケートを用いた評価実験により明らかにする．本実験では，文脈を考慮する複数の LLM を用いることで提案する気づきメッセージの類似度検索に有効な LLM を評価実験の結果を比較することで明らかにする．

6.3.1 実施概要

本実験参加者の概要を以下の表 6.1 に示す．本実験では，評価データに含まれる電気保安業務のコンテキストに絡むため，クエリの気づきメッセージと類似度検索による検索結果との関連性を単純に評価することは困難である．そのため，本実験の参加者は，電気保安業務で実施された知識共有ワークショップ千代島・内平 (2024) に参加した経験を持つ学生を対象として実施した．

表 6.1: アンケート評価の概要

評価者	本学に所属する学生 4 名
条件	千代島・内平 (2024) による電気保安業務で実施された知識共有ワークショップに参加した経験があるものに限る
使用データ	4.2 で示した気づきメッセージ
評価対象	検索結果の類似度が高かった 10 件の気づきメッセージを対象にした類似度検索の結果

6.3.1.1 アンケートの評価方法

類似度検索により出力される気づきメッセージに対して、評価者による評価を実施した。評価基準は表 6.2 に示された三段階の評価軸に基づいて、LLM を用いた検索結果を評価した。評価軸は、関連度合と議論で紹介することが有意義な議論につながりそうかの 2 つの視点が含まれる。この評価軸は、クエリと検索結果に対して、関連度合と議論で紹介することが有意義な議論につながりそうかの 2 つの視点が含まれる。

表 6.2: 検索結果の気づきメッセージ議論活性化の評価軸

評価軸	説明
レベル 3	関連するテーマであり、ワークショップで紹介することで議論が深まる
レベル 2	少し離れているテーマだが、ワークショップで紹介すると議論が広がるかもしれない
レベル 1	関連がなくワークショップで紹介しない方がよい

6.3.2 評価方法

検索機能の実際の知識共有ワークショップでの運用は、議論されているメッセージの検索結果だけでなく、状況や主題が多少異なっても議論を活性化させる機能を持つメッセージも表示され、議論の活性化に寄与する可能性がある。

本実験では、検索結果の気づきメッセージを参加者によるアンケートを実施し、主観評価を行った。アンケート結果に対してランキング指標である Mean Average Precision(MAP) と normalized Discounted Cumulative Gain (nDCG) を使用した。

MAP と nDCG は、検索結果の上位にあるアイテム（本試行では、気づきメッセージ）ほど価値が高くなるように、各位置の関連性スコアに重みを付けて合計することで、下位にあるアイテムの貢献度は低くなり、検索順位を考慮した検索結果の評価が可能である。

本試行では、検索機能によって関連する気づきメッセージの抽出を目的とするため、議論に関連する可能性のある気づきメッセージであれば評価する。そのため、本試行では *level1* の場合は 0, *level2* もしくは *level3* の場合は 1 として評価を実施した。

- MAP

MAP は、複数のクエリやユーザーにわたる平均精度の平均値 (*AveragePrecision* (以下, *AP*)) を計算することでシステム全体の性能を測定する評価指標として用いられる。AP は検索結果のリストに関連するアイテムが見つかる度に計算される精度の平均値である。AP を 6.2 式に示す。

$$AP = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n P(k) \Delta rel(k) \quad (6.2)$$

ここでは、 $P(k)$ は上位 k 番目のアイテムまでの精度、 $rel(k)$ は k 番目のアイテムが関連すると評価できるアイテムであれば 1, 関連しないとい評価されるアイテムであれば 0 の値をとる ((5.2) を参照)。つまり、関連するアイテムが検索順位の高い位置にあるほど、AP は高い値を示す。

MAP は、複数のクエリに対する AP の平均値として定義される。本試行では、10 件の気づきメッセージをクエリとして類似検索を実施し、各検索結果の AP の平均を評価する。MAP を 6.3 式を示す。

$$MAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (6.3)$$

- nDCG

nDCG は、アイテムの重要度が高いほど、ユーザーがアイテムをより早く見つけられるほど良いスコアを与える評価指標である。まず、ランキングの各位置におけるアイテムの累積ゲインを、ランキングの位置に基づいて割引して合計した *DiscountedCumulativeGain* (以下, *DCG*) を計算する。DCG を 6.4

式に示す.

$$DCG = \sum_{r=1}^n \frac{2^{rel_i} - 1}{\log_2(i + 1)} \quad (6.4)$$

$nDCG$ は, DCG の値を理想的な DCG に並び替えた $IDCG$ で正規化することで, 実際の DCG を相対的に評価する. 6.5 式に $nDCG$ を示す.

$$nDCG = \frac{DCG}{IDCG} \quad (6.5)$$

以上の評価指標を用いて, モデルごとの評価値を比較することで検索に有効な言語モデルを明らかにする.

6.4 評価結果

関連する気づきメッセージを抽出する LLM を活用した類似度検索手法を複数の LLM で実施し, 検索順位を考慮したランキング指標を用いて比較評価した. MAP@10 の評価と要約を表 6.3 に示す. MAP は, 検索結果の網羅性を重視する指標であり, 表 6.3 の結果は, 概ね良好な検索精度を示す結果を示した. 具体的には, 検索結果の上位 10 件の中に関連するアイテム 6~7 件が抽出できていることを示し, 検索機能が有効に機能したことが確認された. 特に GLuCoSE を使用した類似度検索による評価結果は他のモデルよりも高い値を示し, より多くの関連するアイテムを検索が確認され, 有効な検索モデルとして示された.

表 6.3 では, 単語情報を用いた word2vec を用いた類似検索よりも, LLM を用いた類似検索の方が効果的であった. この結果は従来の手動キーワード検索では得られなかったものであり, 文脈情報を考慮する言語モデルの有効性を示す.

表 6.3: MAP による類似検索の結果

Models	Score
JaColBERT	0.7080
GLuCoSE	0.7349
SBERT+TSDAE	0.6732
BERT	0.6663
word2vec	0.6327

nDCG@10 の評価と要約を表 6.4 に示す. nDCG は上位に関連するアイテムが配置されているほど高い値を示すランキング指標であり, 表 6.4 の結果は, すべてのモデルで高い値を示した. つまり, 検索結果の上位 10 件の中で関連するアイテムは検索結果の上位に配置されていることが示された.

表 6.4: nDCG による類似検索の結果

Models	Score
JaColBERT	0.9125
GLuCoSE	0.9198
SBERT+TSDAE	0.9011
BERT	0.8977
word2vec	0.9013

以上の結果から, 本試行の検索機能は関連するアイテムを概ね良好な精度で上位 10 件の中に抽出でき, 関連するアイテムはより上位に配置されていることが示された. 上位 10 件の検索結果をまとめると, 表 6.3 の値は概ね良好な精度を示したが, 改善の余地が残る結果であった. 一方で, 表 6.4 に示された値はどのモデルも関連するアイテムが上位に位置していることを示した. つまり, 検索結果の上位 10 件のすべてのアイテムが議論に関連するわけではないが, 関連性するアイテムは上位に位置しやすく, 知識共有ワークショップにおいて議論に有効な気づきメッセージの抽出に検索機能が有効に機能する可能性を示した.

6.5 考察とまとめ

本実験では, 知識共有ワークショップの議論の質向上を目的に議論と関連する気づきメッセージの抽出に有効な LLM の活用手法として, 気づきメッセージを対象に LLM を用いた類似度検索による検索結果することで, LLM を比較する評価実験を行った. 評価実験の結果, LLM を活用する類似度検索は議論に関連する気づきメッセージの抽出に有効性を示した.

TSDAE によりファインチューニングした SBERT は本来, 汎用的な言語モデルよりもドメイン知識を学習していることから他の言語モデルよりも高い評価を示す

ことが考えられるが、本研究ではファインチューニングをしなかった一部の事前学習済み言語モデルよりも低い評価結果を示した。

実験に使用した SBERT²⁾は事前学習モデルを使用した。データセットには 2019 年 9 月 1 日時点の日本語ウィキペディアコーパスを学習データとしている日本語に特化した言語モデルである。主に、マスキング言語モデリングによる学習が行われ、単語全体の文脈を捉えた言語理解と精度を向上している。本試行ではさらに、TSDAE による学習を行ったが、TSDAE はベクトルの類似度を近似させるように学習する手法であり、文章の構成推論に関する学習は行われていない。また、JaColBERT は事前学習モデルに“ColBERT” が用いられ日本語に特化した言語モデルである。データセットに使用された MMARCO には、検索や情報検索タスクに対応した大量の質問と、それに対する回答や関連文書が含まれる。これらのデータセットをトリプレット形式を用いた学習が行われ、構成的な類似性を学習し、情報検索時の意味的な関連性を高めることが確認されている (Clavié, 2023)。GLuCoSE の基盤である LUKE は、2018 年 12 月時点の wikipedia (エンティティ付き) コーパスを学習した言語モデルである (Yamada et al., 2020)。事前学習モデルの LUKE に対して、web クロールコーパスや自然言語推論 (NLI) の日本語テキストデータセットを用いて単語を予測する MLM でなくエンティティトークンもマスクして予測するタスクにより、日本語構成や推論に特化したモデルである。

以上から、TSDAE によるファインチューニングを用いた言語モデルよりも高い性能を示した言語モデルについて考察する。GLuCoSE の基礎である Luke は、知識強化型の事前学習済み言語モデルであり、エンティティ埋め込みを含む単語とエンティティの文脈ベクトルを出力し、エンティティ間の関係性を捉えることができる言語モデルである (Yamada et al., 2020)。さらに、ゼロショット予測も良好な結果を示した。対照的に、TSDAE による微調整は、コサイン類似度に基づいて文の距離を調整するだけで、単語の意味は考慮されません。そのため、ゼロショット予測は、本研究で評価したメッセージのように非構造的なテキストデータであり、仕事に関連した内容だけでなく幅広い知識を対象とするメッセージの類似性検索においてより効果的であると考えられる。

提案した検索機能を実際の知識共有ワークショップで活用する場面では検索結果

2) cl-tohoku/bert-base-japanese-whole-word-masking

の上位に位置する気づきメッセージほど閲覧されと考えられるため、網羅性よりも上位に関連するつぶやきが集中している検索機能の方が議論の活性化に有効に機能すると考えられる。

第7章 LLM を活用した知識共有ワークショップの実験評価

7.1 はじめに

6 章では、知識共有ワークショップにおけるファシリテータの能力依存の課題に対して、LLM による類似度検索手法を用いた関連する気づきメッセージの抽出を取り扱った。LLM を活用した類似度検索は関連する気づきメッセージの抽出に有効性を示した。

抽出した議論と関連する気づきメッセージを知識共有ワークショップで活用することは、議論と関連する潜在的な現場知識を表出させ、参加者の議論を活性化させると考える。本章では、6 章で開発した LLM を適応した現場知識の共有手法を提案し、知識共有への実践的な有効性を評価する。具体的には、議論の質向上を促進するための議論活性化への有効性をアンケートとインタビューを用いた実験評価により知識共有への有効性を示す。

7.2 知識共有ワークショップにおける LLM 活用

本実験では、気づきメッセージをトリガーとした議論を促進することで議論の質を高め効果的な知識共有を試みるために、関連する気づきメッセージの抽出に有効性を示した LLM の活用手法を用いた現場知識の共有支援手法を提案（図 7.1）する。

気づきメッセージをトリガーとした現場知識の共有は、議論を進行するファシリテータの能力に大きく依存するため、議論におけるコミュニケーションの量と質を向上させる知識共有の場を創り出すことが重要である。提案手法では、LLM の活用により抽出した関連する気づきメッセージを参照することで、現場知識の共有を行う議論の場に新たな知見や気づきを与えるきっかけとして活用する。これは、従来の 1 つの気づきメッセージについて議論を行う知識共有ワークショップとは異なる

り，関連する複数の気づきメッセージから類似する状況を参照する手法であり，関連する気づきメッセージとの関連性を捉えた議論を促進し，知識共有を促進すると考える．

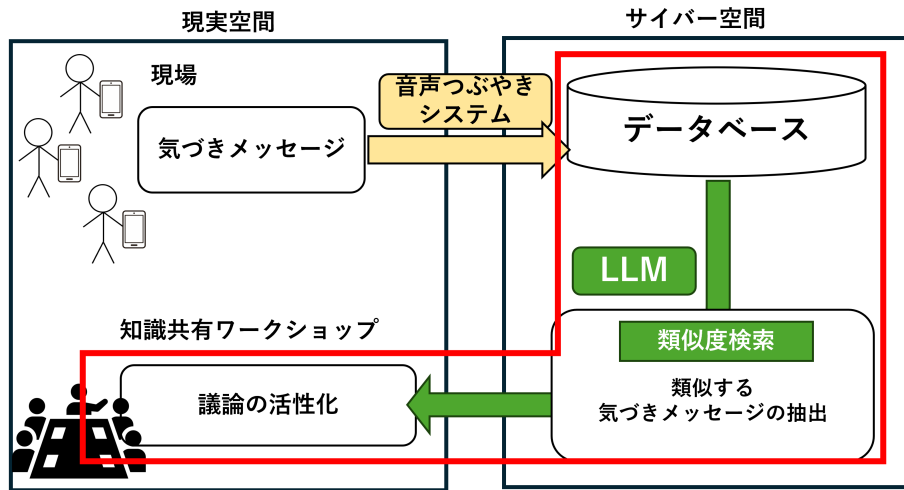


図 7.1: 提案する関連する気づきメッセージを活用した現場知識の共有手法

7.2.1 ワークショップ支援システムの実装と活用

本試行の類似度検索には，エンティティ間の関係性の推論に優れた言語モデルである LUKEYamada et al. (2020) に基づいて開発された日本語モデルである GLuCoSE¹⁾を用いた．この言語モデルは 6 章による実験評価において気づきメッセージを対象にした類似度検索で関連する気づきメッセージの抽出に高い有効性を示したため，本実験においても知識共有ワークショップの議論に関連する気づきメッセージの抽出が期待できる．

クエリには，参加者が選択した議論したい気づきメッセージが入力される．クエリと収集した気づきメッセージが GLuCoSE によってベクトル化され，クエリのベクトルと気づきメッセージのベクトルの類似度を計算し，収集したつぶやきメッセージの中から関連する気づきメッセージの抽出を行う．検索システムによる出力は，クエリとの類似度が高い上位 10 件の気づきメッセージに限定した．本実験で

1) <https://huggingface.co/pkshatech/GLuCoSE-base-ja>

は、開発した検索システムを用いることで、トリガーの気づきメッセージと関連する気づきメッセージを表示することで、議論の促進を図る。

本実験で開発した類似度検索システムのフレームワーク図 7.2 に示す。このシステムは、Web ベースのツールとして開発され、インタラクティブに類似メッセージの検索、メッセージのタグ付与、タグによるメッセージ絞り込みの機能を有する。フロントエンドは React、バックエンドは開発したモデルを gradio(Abid et al., 2019) によって API 化している。



図 7.2: 気づきメッセージの分類・検索機能を有したワークショップサポートツール

7.3 評価実験方法

7.3.1 音声つぶやきシステムの試行

実験評価では、気づきメッセージの収集のために植物栽培作業を対象として音声つぶやきシステムを試行した。植物栽培に採用したバジルは適切な環境下であれば比較的短期間で成長する、初心者でも栽培しやすい種類である一方で、多くの要因が栽培環境に作用することが想定される。具体的には、作業者ごとに肥料や水やり、育成場所の日当たりなどによって栽培環境が異なるため、バジルの生育に作業者間で差が生じる。また、間引きや香りによる育成具合などセンサだけでは取得できない人間の感覚に依存した判断が重要となる。植物栽培では、作業者間で現場を共有することが困難である実際の現場の環境と類似する状況に近づくために栽培場所を実験参加者の自宅ベランダなど異なる環境での栽培を実施した。そのため、同じような事例に対しても作業者ごとに対応が異なる状況であり、知識共有が必要とされる試行である。以下の表 7.1 に施行した音声つぶやきシステムの概要を示す。

表 7.1: 植物栽培試行概要

対象実施作業	スイートバジル栽培
実施場所	各自宅もしくは研究室の任意の場所
参加者数	7 名（いずれも本校所属） ⁵⁾
試行期間	2024/7/15 - 2024/09/19 合計 67 日間
気づきメッセージの収集	音声つぶやきシステムによる気づきメッセージ (テキスト+写真)
収集した気づきメッセージ総数	440 件

作業者は、表示されるセンサー情報を参照しつつ、土の乾き具合やバジルの成長の度合いなどを考慮しながら栽培に必要な間引きや水やり、追肥、摘心などを実施し、栽培の過程でつぶやきシステムを活用することで気づきメッセージの収集・蓄積を行った。気づきメッセージは、各参加者が1日1回程度記録した。また1週間経過ごとに収集した気づきメッセージを分類項目ごとに分けた上で、まとめた報告書を作成し、「つぶやき週報（表 7.2）」としてグループ内で共有した。本試行で用いた気づきメッセージの分類項目を表 7.2 に示す。本試行は電気保安業務を対象とした音声つぶやきシステムの試行で収集された気づきメッセージと比較して、試行期間も参加人数も限定して施行されたため、有効な精度の分類器を実現するための十分な気づきメッセージを収集することが困難であった。そのため、本試行では気づきメッセージの分類は筆者により人手で実施した。

植物栽培プロジェクト つぶやき週報 第5週（8月10日～8月16日）

■ 水やりについて

2024年8月17日(土) 11:03 曇りで水分量と肥沃度がちょうどいいなのでしばらく手を加えないにする。	
2024年8月17日(土) 10:36 だいぶ伸びてきました。前回なんか倒れてた葉っぱとかも、無事立ち上がっていて問題なさそうです。今日は朝方雨が降っていたみたいで涼しくて 29.8℃、土壌水分量も 42%、養分が溶けて養分量も 1000 ぐらいあります。だんだん大きくなってきたのでまあ、100ml ぐらい蒔いていこうと思います。なんか水をまくと葉が倒れます。	
2024年8月19日(月) 0:13 土の表面が乾いていたため、多めに 300ml の水を与えた。データを見るとだいたい 20%を切るぐらいの時は表面が乾いていることが多い気がする。	
2024年8月20日(火) 9:10 9、10 枚目の葉が出てきたところがあるので成長している。水分量は 21%なので、だいたい 30%くらいで安定させようと思う。水は 300ml を与えた。	
2024年8月21日(水) 10:17 今日はかなり日が当たっていて暑いです。気温はセンサー上だと 37℃いくつになってました。日差しもかなり強く当たってます。水分量は 43%でしたが、今日は暑いので 100ml 与えています。	

図 7.3: 気づきメッセージ報告書の事例

表 7.2: 収集した気づきメッセージの分類項目

分類項目	説明
環境	バジル栽培時の環境（プランタの配置場所，土壌の状態，天気や気温，降水の状態 等）に関する気づきメッセージ
種蒔	バジルの種の植え方，プランタの土の準備（底石と腐葉土の割合）などに関する気づきメッセージ
水やり	毎日の水やりの量や水を撒く上での判断に関する気づきメッセージ
発芽	種植え後の観察，発芽の状態に関する気づきメッセージ
追肥	追肥の判断や実施に関する気づきメッセージ
その他	上記の分類に当てはめることができなかった気づきメッセージ

7.3.1.1 使用した道具

以下には，植物栽培に伴い実験参加者に配布した道具の一覧を示す (表 7.3).

表 7.3: バジル栽培試行の配布物一覧

配布物	個数または量
種子（スイートバジル）	50 粒
プランタートレイ	1 個
土壌（底石，腐葉土）	適量
粒上肥料	適時適量
ジョウロ	1 個
土壌管理センサー Flower Care	1 台
スマートフォン	1 台

土壌水分量や気温，湿度，日差しの強さを手軽に記録・表示できるセンサデバイスとして，HHCC Plant Technology 社が販売している Flower Care を活用した．HHCC Plant Technology 社は，デバイスとスマートフォンを連携することで，プラ

ンターの上記の情報を表示するアプリを配信している。本試行では、観測対象とするバジルを栽培するプランターの中心部分にデバイス（Flower Care）を設置することで、Bluetooth 通信にて、プランターの情報が取得を行い、バジル栽培の目安としてセンサー情報を気づきメッセージに活用した（図 7.4）。



図 7.4: プランターとデバイス（Flower Care）の写真（筆者が撮影）

7.3.2 評価に用いる知識共有ワークショップの構成

本試行では、LLM の活用手法を実践的な知識共有ワークショップに適用することで、議論の質向上を促進するための議論活性化への有効性を評価する。知識共有ワークショップは、参加者による相互的な自由な対話による知識の共有が行われるため、実際のワークショップを対象にした更なる検討が必要である。

本試行では、参加者にバジル栽培の経験者が含まれているが、大半の参加者は本試行で初めてバジルを栽培した未経験者であることから構成的ワークショップを採用した。構成的ワークショップは、参加者によって生じる振れ幅を抑え、一定時間内で比較的成果が期待できる一方で、やりすぎると作為的になる。

ワークショップの成功には、明確なコンセプト設計が不可欠である。コンセプト設計は、ワークショップの目的や進行方法を明確にし、参加者が効果的に知識を共

有し、議論を深めるための基盤を提供する。設計したコンセプトを基にプログラムを作成することで、ワークショップの基本的な方針と構成を設計する。

- コンセプトの設計

参加者にワークショップの目的を明確に示すため、本ワークショップのコンセプト設計を行った。ワークショップのコンセプトとは、「ワークショップの「活動目標」と「学習目標」を端的に記したもの (山内ら, 2013)」であり、本試行では「バジル栽培初心者に向けた実践的なバジルの栽培方法を学ぶこと」と設定した。また、コンセプト定義することで、曖昧な知識についての議論に対しても一貫性を保った議論の進行が期待できる。

- プログラムの検討

ワークショップは参加者の能動的な経験から学習が行われるため、経験学習の考え方がワークショップの思想の源流と考えられている (山内ら, 2013, p. 9)。本試行では、堀・加藤 (2008, p. 45) の体験学習型のプログラムを参考にした上で NLP を活用する (図 7.5)。体験学習型のプログラムとは、①「体験」を呼び起こすステップ②体験について周囲で起こったことを指摘し合うステップ③対話を通じて理由や原因を分析するステップ④仮説形成のステップと対話を通じて実践の教訓や法則として概念化（一般化）のステップで構成された学習プロセスである (堀・加藤, 2008)。

体験学習型プログラムは 4 つのステップ (図 7.5) で構成され、本試行においては、ステップ①である「体験する (体験を引き出す)」は、植物栽培を対象にした音声つぶやきシステムの試行が該当する。本実験の参加者は全員がステップ①を経験した上で、知識共有ワークショップを行うことで以降のステップに進む。

ステップ②の「起こったことを指摘する」では、知識共有ワークショップにおいて現場知識を共有するために収集した気づきメッセージから議論したい気づきメッセージを選定する作業が該当する。

ステップ②で取り上げた気づきメッセージを知識共有ワークショップにて議論を行う。ステップ③では、気づきメッセージをトリガーとした議論が行われ、現場知識の断片である気づきメッセージを基に現場知識が語られ、現場以

外では言語化が困難である現場知識が共有される．この議論の中で気づきメッセージに基づいて理由や原因の分析が行われる．

ステップ④は，学習の概念化であり，ワークショップでの議論を通じて，表出した知識から概念が形成される．しかし，知識共有を目的としたワークショップにおいて，学習の概念化は観測が困難である．これは概念化が個々の内面で行われるためである．本研究では，知識共有を目的としていることから，対象を①～③までとする．

本章の目的である議論の活性化を促進するためには，ステップ③における知識共有ワークショップ内での議論を促進することが求められる．本提案手法では，ステップ③における議論を促進するために，類 LLM による類似度検索により抽出した類似する気づきメッセージを活用することで議論の促進を試みる．

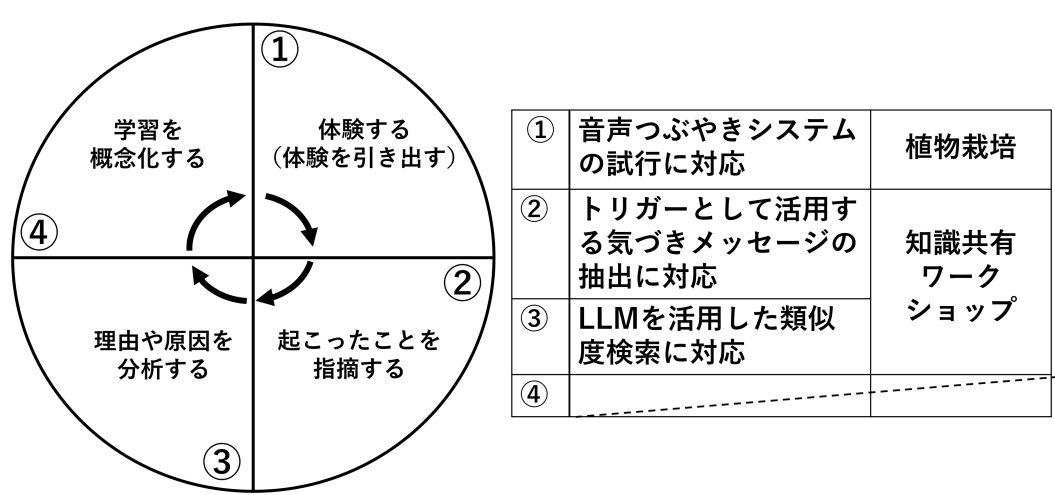


図 7.5: 体験学習型のプログラム 堀・加藤 (2008) を参考に筆者が描画

7.3.3 提案手法を用いた知識共有ワークショップの実施

植物栽培を対象に試行した音声つぶやきシステムにより収集した気づきメッセージを基に知識共有ワークショップを実施した．知識共有ワークショップでは，収集した気づきメッセージをトリガーとして議論を行う．これは，7.5 におけるステップ②からステップ③に該当する．ステップ①に該当する気づきメッセージの収集は

既に以下では、②に該当する「議論する気づきメッセージの選択」と、ステップ③に該当する「知識共有ワークショップでの議論」について説明する。

7.3.3.1 提案手法を用いた知識共有ワークショップの概要 [ステップ①]

音声つぶやきシステムの試行に参加した7名により、表 7.5 の 19 件の気づきメッセージをトリガーとして知識共有ワークショップを実施した。参加者により選定された気づきメッセージを取り上げ、気づきメッセージから議論したい事柄を述べた上で、該当する気づきメッセージの投稿者による気づきメッセージに形式的に記載されていない詳細や当時の現場での状況、現場での考えたことなどを語ることで、相互に経験や知識を共有する時間を設けた。

一通り、議論したい気づきメッセージについて話し合いを終えた後、トリガーの気づきメッセージをクエリとして類似度検索を実行する検索システム（図 7.6）を用いて、類似度の高かった 10 件の気づきメッセージを参加者へ表示した上で、検索結果を参照しながら更なる議論を表 7.5 の気づきメッセージを対象に順に実施した。

知識共有ワークショップの概要を表 7.4 に示す。試行した知識共有ワークショップは zoom を用いて録画し、知識共有ワークショップ終了後に議論内容をテキスト化の処理を実施した。

表 7.4: ワークショップ概要

対象実施作業	スイートバジル栽培
実施場所	研究室
参加者数	バジル栽培の試行に参加した 7 名
実施日	2024/09/27
実施時間	2 時間

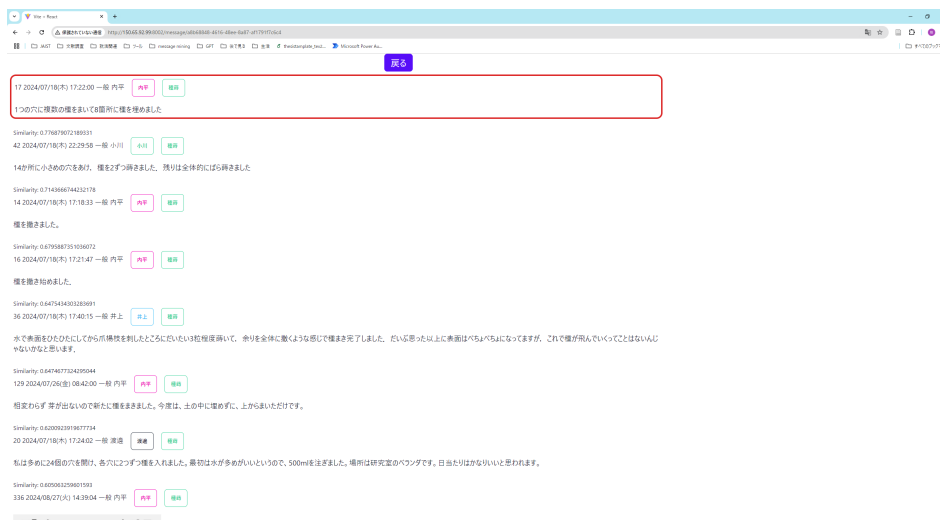


図 7.6: サポートツールの気づきメッセージの検索表示画面

7.3.3.2 議論する気づきメッセージの選択 [ステップ②]

本実験では、知識共有ワークショップの議論においてトリガーとして活用する気づきメッセージを各参加者が選定することで、議論に活用した。トリガーとなる気づきメッセージは各参加者が参考になった、気になった等の自由な基準でトリガーとして取り扱う気づきメッセージの選定をワークショップ参加前に予め行った。参加者により選定された 19 件の気づきメッセージを知識共有ワークショップのトリガーとした議論により、現場知識の共有を試みた。以下の表 7.5 は実験参加者により選定されたトリガーとなる気づきメッセージである。

表 7.5: 参加者がトリガーとして選択した気づきメッセージ

参加者	トリガーに選択した気づきメッセージ
参加者 A	6 日目です。天気は良好。湿度は高いです。毎日水を上げているため、土は乾いていません。肥沃度が下がってしまったため、使い終わったお茶の葉っぱを巻きました。肥料の代わりになるそうです。
	今日も暑くなりそうです。今日から 1 週間以上に不在になるので、水まきができずに心配です。少し多めに水をまきました。

	続き あたりにまいた種ですが，微妙に発芽しているものもあるようです。芽が出ているものは集中しているので，選別したほうが良いのでしょうか？
参加者 B	一つだけ気づいたことがあります，私が育てている場所は環境が良いかもしれません。ダンボールで高くしているため，風通しもかなり良いかと思います。屋根があるため，雨も当たらず，日当たりも良いです。 変わらず 左側しか発芽していません。今日は表面を触った感じ土が若干乾いてたような気がします。朝方だからかもしれません。 水分量が 43%ぐらいでした 150ml の水を与えてます。養分量は水を与えたら今日は 1600 ぐらいまで上がってきていてセンサーが結構いい加減なのかなと思います。右上のあの高さが他と比べてちょっと高いなと思います。
参加者 C	発芽した箇所が実施しているところがあるので，今後選定するとしたら，そのようなところを切らなければいけないと考えると，もっと全体的にばらまけばよかったのかもしれない ちっちゃな虫発見！！！！ダニ？一応野菜専用の殺虫剤をスプレーした… 金曜日に肥料と新しい種を撒きましたが，ほとんど 変化がなく，成長しない していないように見えます。 何かが間違っているような気がします。今日は曇りです。
参加者 D	センサーのデータを見たところ，太陽の当たりすぎと気温が高いので，日陰に戻しておきます。水分量とかは足りているのですが，今まで水分を上げなくてあんまり育たなかったの，今日も足しておきたいと思います。ちょっと目が土に土にかぶさってるところとかもあるので，ちょっとそこら辺はなんかどうしていいのか分かりません

	続き 9月9日日当たりとその他データを良好です．やっぱり葉っぱの大きさが全然変わらないですね．肥料とかはあげてるんですけど，なかなか葉っぱが成長してくれません．背丈はでかくなっているのかなと言った感じです 水を 300ml 与えたが，葉を見ると部分的に変色や乾燥している．恐らく，昨日の水やりの際に葉にも水を与え，日光がよく当たる場所においていたので葉焼けしてしまったのかもしれない．
参加者 E	9月11日，今日は晴れてます．植物は何かちょっと元気なさそうに．葉っぱが下の方に下がってます．水と肥沃度は十分足りているという風にフラワーケアの方では出ています．やっぱり太陽のあたりすぎがちょっとなんか心配だな」っていう風に思います． 南向き，半日陰の場所で育てています． 今日は土壌水分量がだいたい 40%で栄養度は 980 ぐらい気温はいかないぐらい 29. 2℃でしたいつも通り水は 100ml 与えてます．土は水あげる前触ると若干手が湿るぐらいいつもぐらいの間隔です．やっぱり水をあげると増えるみたいで 1170 ぐらいまで上がっていました．朝方窓が東向きなので日が良かったって言って 9 万近く上がってます．けど 昨日 一昨日か雨に濡れた靴をなかなか乾かないですちょっと日のあたりは当たる時間がちょっと限られてるような気がします．昨日はなんか涼しくて 雨が多かったんですけど今日はまあなんか晴れては行かないですけどあんまりジメっとしないような感じです．だいぶ葉も生い茂ってきてあんまり間引きをしなかったんでなんか大きく生えてる歯の下になんか小さい葉が埋もれるような漏れてるような気がします．
参加者 F	ちっちゃな虫発見！！！！ダニ？一応野菜専用の殺虫剤をスプレーした…

続き	
参加者 G	今日は雲が多い晴れです．少しジメジメしてます．ベランダがバジルの匂いに包まれてきました．昨日鉢の向きを変えましたが，早速バジルの成長の方向が逆になりました．先端の小さかった葉が大きくなってきました．このまま様子見します．水は 200ml 与えました．
	数本の茎は自立しているように見えるので，思ったよりもバジルは丈夫なのかもしれない．水は多めに 250ml を与え，水分量は 58% になったので，様子を見る．ある程度自立したらプランターを作り直したい．
	8 月 10 日出た目は順調に背を伸ばしてるような感じに見えます．センサーデータでは日当たりだけちょっと良好じゃないのですが，水分量などはちょうどいい感じになっているので，今回は軽く葉っぱに水をあげる程度で水分を与えたいという風に思います．日当たりはなかなかやっぱり良くなならないと育たないのかなって印象なので，ちょっと工夫したいと思います
	今日は快晴で風も強い．鉢をひっくり返したことで，全体的に葉が逆方向（日向側）に向いてきた．水はいつも通り 200ml あげた．一番大きく育っている個体はそろそろ摘心をする必要がある．あと 2,3 日でやる予定だ．また，昨日，一部，先端の葉がついている箇所が折れてしまった個体があったが，下の方に影響はない．意図はしてないが摘心の実験になると思われる．

7.3.3.3 提案手法を用いた知識共有ワークショップの議論 [ステップ③]

本提案手法を用いた議論の一例として，文字起こしと検索により表出した参加者の発話の一部をフロー図にまとめた（図 7.7）．検索前の段階では，(a) バジルの茎の太さと風通しに関する議論が行われていた．検索システムを活用し，関連する気づきメッセージを表示した後に行われた議論では，(a) に関する内容だけでなく，(b) プランターの台に関する議論と (c) 日当たりと茎の太さに関する議論と類似する気づきメッセージの検索をきっかけとして，議論の広がりが確認された．

《トリガーに基づく議論》

参加者 B:(1)風通しの重要性が参考になりました。

参加者 E：参加者 B のバジルは結構育っていなかった？

参加者 B：細いです。

参加者 C:(2)僕も水をあげたらモニャモニャってなっちゃって

参加者 F：(3)確かに、僕も細かったし、水をあげたら倒れた

《検索の実行》

参加者 G：これは失敗していて、プランターの設計で下に水が垂れるんで、
(4)段ボールっていうのがよくないなって

参加者 D:(5)僕はトレーを使っています。

参加者 G：それで、プランターが倒れちゃいました。

参加者 E：参加者 B のは、部屋の中だけど日差しが強い？

参加者 B:(6)南向きなので日差しは強いです。

参加者 D:(7)直射日光が当たりすぎるのも良くないらしいです。

参加者 E：そういうことだね。僕の原因はそれかもね。

参加者 D：(8)そこ（研究室）のベランダって夕方の1時間弱しか日当たりがなくて、北向きなのでちょうどいいんです。

参加者 F：(9)あまり日が当たらない方がむしろ良い

参加者 E：そういうことだね。僕のベランダは南向きだから。これは参加者 C？

参加者 C：これ移動した後ですね。自分の寮に

参加者 E：(10)「日当たりはなかなか良くならない」って。

日当たりが大事だし、強すぎてもダメだし。

参加者 F：僕のところも日当たり良くなかって、動かしたんですよ。でも、元気は元気でした。

参加者 G：(11)風通しのよさと茎の太さみたいのは関係あるんですかね？

参加者 D：(12) よく言うのは風に吹かれるから強くなるって

参加者 F：水で倒しても強くなろうとするんですかね？

参加者 C：確かにそれなら太くなりそうですね。

参加者 D：(13)間引きした後の右側のやつはちょっと細身なので

参加者 F：(14)間引きが大事なのかもしれない

参加者 D：間引きですね

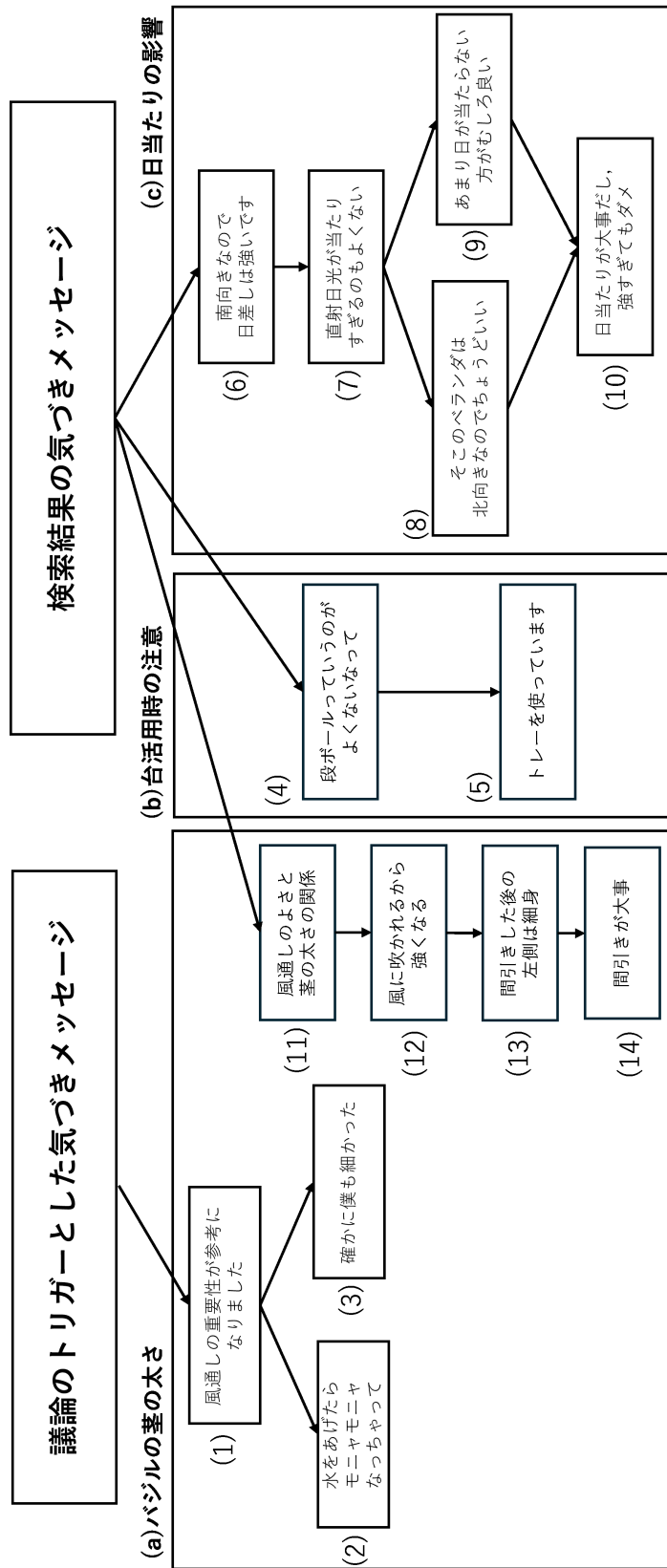


図 7.7: 試行したバジル栽培ワークショップで表出した会話の流れ

7.4 評価方法

知識共有ワークショップの実施後に参加者全員に対してアンケートと半構造化インタビューを実施した。アンケートの内容は、知識共有ワークショップの表出した知識や検索機能の有用性に関する項目を設定し、半構造化インタビューではアンケートの回答内容をもとに実施し、知識共有ワークショップにおける検索機能の評価を行った。

7.4.1 アンケートによる評価

表 7.6 にアンケートの項目を示す。Q1 から Q4 は知識共有ワークショップに関する内容であり、Q5 と Q6 は AI 検索機能に関する内容である。各質問は 4 段階のリッカート尺度、2 択の質問形式、自由記述のいずれかの形式で回答を求めた。4 段階のリッカート尺度を採用した理由として、どちらでもないといった回答を避け、有益であったか、有益でなかったかのどちらかを明確にするためである。

表 7.6: 知識共有ワークショップに関するアンケートの内容

知識共有ワークショップに関する内容
Q1: つぶやきをきっかけとして栽培方法に関する有意義な知識共有ができたと思いますか？ (1: 思わない～4: 思う)
Q2: あなたがピックアップしたつぶやきに関して十分な議論ができたと思いますか？ (1: 思わない～4: 思う)
Q3: ワークショップの議論の中で、あなたが実践中に気が付かなかった知識はありましたか？ (はい（気が付かなかった知識があった） / いいえ（気が付かなかった知識はなかった）)
Q3 で「はい」と回答した参加者に対して： Q3-1: Q3 の気が付いていなかった知識に関して具体的な例を思いつく限りあげてください。 (自由記述)

(続き)
Q4: 知識共有を目的とした知識共有ワークショップにおいてファシリテータは必要だと感じますか？ (1: 感じない～4: 感じる)
AI 検索機能に関する内容
Q5: AI 検索機能が提供した気づきメッセージは議論にどの程度有効だと感じましたか？ (1: 有効でない～4: 有効)
Q5-1: 検索機能により，参加者のコミュニケーション量は増えたと感じますか？ (1: 増えない～4: 増えた)
Q5-2: 検索機能により，参加者のコミュニケーション質は向上したと感じますか？ (1: 向上していない～4: 向上した)
Q6: 事前にピックアップした気づきメッセージ以外に気になる気づきメッセージが検索結果として表示されましたか？ (はい (気になる気づきメッセージが表示された) / いいえ (気になる気づきメッセージは表示されなかった))
Q6 で「はい」と回答した参加者に対して： Q6-1: Q6 の気になる気づきメッセージに関して具体的な例を思いつく限りあげてください。 (自由記述)

7.4.2 インタビューによる評価方法

収集したアンケート結果を補完するため，半構造化インタビューを実施した．インタビューは以下の4つの観点から構成された質問項目に基づき実施した．インタビューは参加者7名に対して個別に実施し，1セッション約20分間の時間を設定した．インタビュー内容は，分析の信頼性を確保するため zoom による録画を行い，文字起こしを行った．

- 知識共有における事前準備プロセスの評価
参加者が気づきメッセージを選択する際の判断基準と、事前に記録された気づきメッセージの内容把握に関する評価を行った。
- 知識共有の効果に関する評価
知識共有ワークショップを通じて、実践では得られなかった知見が共有されたかを評価した。これは表 7.6 の Q3-1 の回答内容を詳細に分析する質問として位置づけられる。
- 検索機能の有効性評価
検索システムにより提示された気づきメッセージの有用性について、具体例を基に評価を行った。これは表 7.6 の Q6-1 の回答内容を詳細に分析する質問として位置づけられる。
- 検索機能の課題分析
知識共有ワークショップにおける検索機能の活用に関する課題点および改善案について、参加者からの意見を収集し分析を行った。

7.5 評価結果

現場知識共有の実験室実験を評価するために実施した、アンケート結果とインタビュー結果をそれぞれ示す。

7.5.1 アンケート結果

本試行の参加者に対して行った、知識共有ワークショップに関するアンケート(7.6)の結果に示す。自由記述形式のアンケート回答については、半構造化インタビューにおける補足資料として活用し、インタビュー結果と合わせて後述する。

Q1「つぶやきをきっかけとして栽培方法に関する有意義な知識共有ができたと思いますか？」の設問に対する結果(図 7.8)では、4 段階評価において、「思う」

と回答した参加者が6名（85.7%）、「やや思う」と回答した参加者が1名（14.3%）であった。この結果から、全参加者が気づきメッセージをトリガーとした知識共有の有効性を肯定的に評価したことが示された。

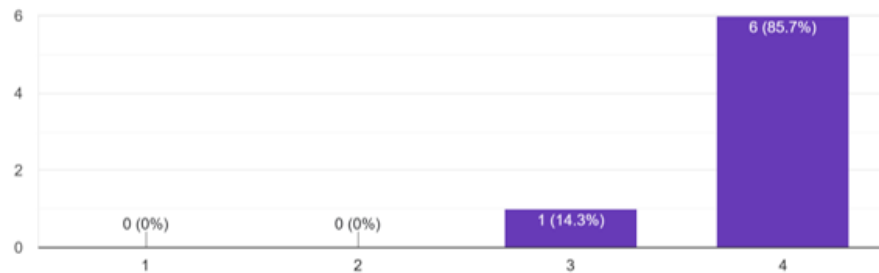


図 7.8: Q の設問に対するアンケートの結果

Q2「あなたがピックアップしたつぶやきに関して十分な議論ができたと思いますか？」の設問に対する結果(図 7.9)では、4段階評価において、「思う」と回答した参加者が4名（57.1%）、「やや思う」と回答した参加者が3名（42.9%）であった。

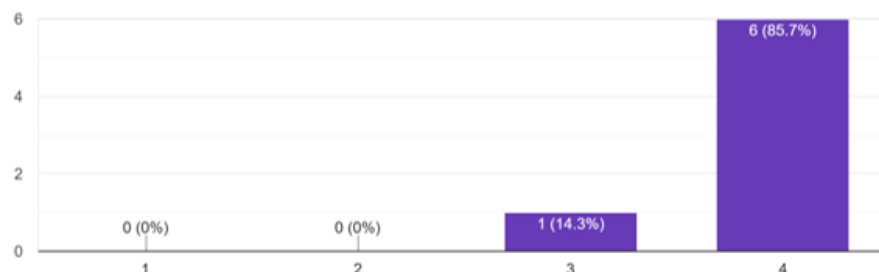


図 7.9: Q2 の設問に対するアンケートの結果

Q3「ワークショップの議論の中で、あなたが実践中に気が付かなかった知識はありましたか？」の設問に対する結果(図 7.10)では、すべての参加者が「はい（気が付かなかった知識があった）」と回答した。この結果は、知識共有ワークショップを通じて、参加者が自身の実践では経験しなかった事例や気づきに関する知識が共有され、新たな知見を獲得できたことを示している。

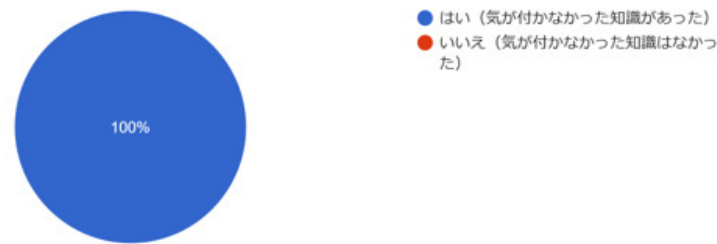


図 7.10: Q3 の設問に対するアンケートの結果

Q4「知識共有を目的としたワークショップにおいてファシリテータは必要だと感じますか？」の設問に対する結果（図 7.11）では，4 段階評価において，「感じる」と回答した参加者が 4 名（57.1%），「やや感じる」と回答した参加者が 2 名（28.6%），「やや感じない」と回答した参加者が 1 名（14.3%）であった．この結果から，大多数の参加者が知識共有ワークショップにおけるファシリテータの必要性を認識していることが示された．一方で，ファシリテータの必要性を否定的に評価した参加者も存在したため，インタビュー結果と合わせて詳細な分析が必要である．

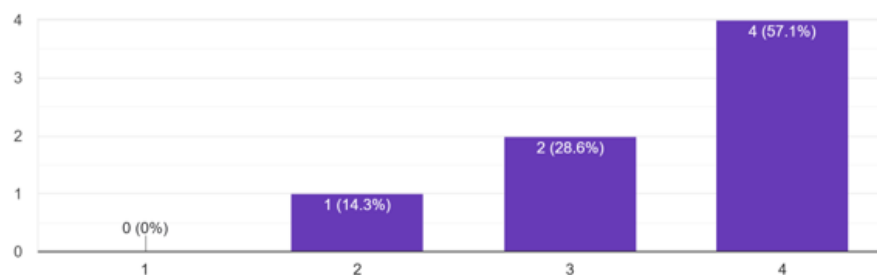


図 7.11: Q4 の設問に対するアンケートの結果

Q5「AI 検索機能が提供したつぶやきは議論にどの程度有効だと感じましたか？」の設問に対する結果（図 7.12）では，4 段階評価において，「有効」と回答した参加者が 4 名（57.1%），「やや有効」と回答した参加者が 2 名（28.6%），「やや有効ではない」と回答した参加者が 1 名（14.3%）で合ったことが示された．この結果は，多くの参加者に対して検索システムが議論に有効であると評価されたことを示して

いる。一方で、検索システムの有効性を否定的に評価した参加者も存在したため、インタビュー結果と合わせて詳細な分析が必要である。

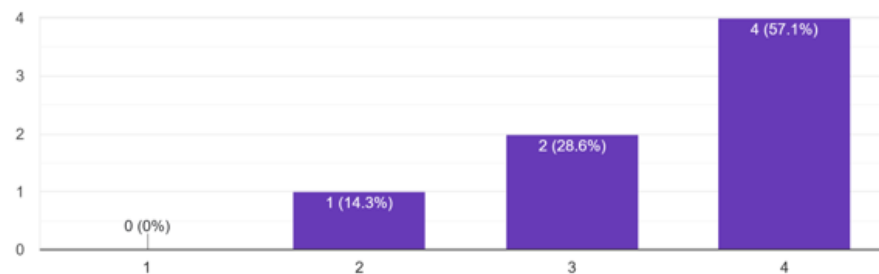


図 7.12: Q5 の設問に対するアンケートの結果

Q5-1「検索機能により、参加者のコミュニケーション量は増えたと感じますか？」の設問に対する結果（図 7.13）では、4 段階評価において、「感じる」と回答した参加 y さんが 5 名（71.4%）、「ややそう思う」と回答した参加者が 2 名（28.6%）であった。参加者の全員が検索機能により、コミュニケーション量が増えたと評価したことが示された。

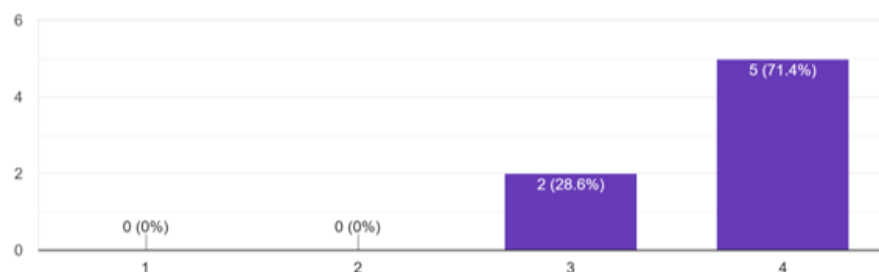


図 7.13: Q5-1 の設問に対するアンケートの結果

Q5-2「検索機能により、参加者のコミュニケーションの質は増えたと感じますか？」の設問に対する結果（図 7.14）では、4 段階評価において、「感じる」と回答した参加者が 3 名（42.9%）、「ややそう思う」と回答した参加者が 4 名（57.1%）であった。この結果から、参加者の多くが検索システムによりコミュニケーションの量が増えたと評価したことが示された。

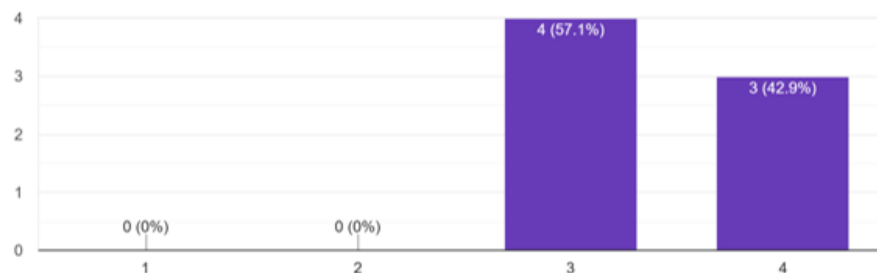


図 7.14: Q5-2 の設問に対するアンケートの結果

以上の結果から、知識共有ワークショップにおける検索システムの活用は、コミュニケーションの量・質の双方に対して肯定的な影響を与えることが示された。特に図 7.13 と図 7.14 の比較から、本提案手法はコミュニケーションの質的向上よりも量的増加に対してより顕著な効果があることが確認された。この結果は、検索システムによって提示された関連する気づきメッセージが議論の発展を促す一方で、議論の深化に関してはさらなる改善の余地があることを示唆している。

Q6「事前にピックアップしたつぶやき以外に気になるつぶやきが検索結果として表示されましたか？」の設問に対する結果 (7.15) は、「はい（他にも気になるつぶやきが表示された）」4 名、「いいえ（他に気になるつぶやきが表示されなかった）」が 3 名であった。この結果は、検索システムにより提示された気づきメッセージが参加者の関心を引く内容を含む気づきメッセージを抽出できると評価できる一方で、参加者によっては関心のある内容が表示されない場合もあることを示しているため、インタビューの内容と合わせて詳細な分析が必要である。

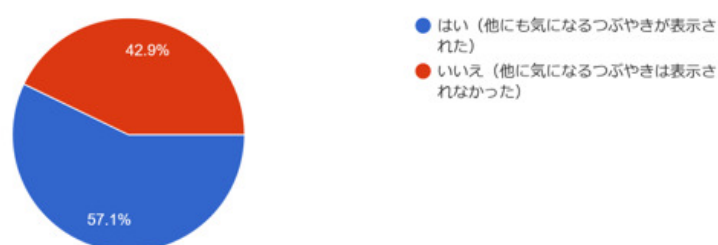


図 7.15: Q6 の設問に対するアンケートの結果

7.5.2 インタビュー結果

アンケート結果を基に実施した半構造化インタビューの内容を整理する。本項では、アンケート Q3-1 で得られた回答内容をより詳細に分析するため、半構造化インタビューにおいて追加の質問を実施した。

7.5.2.1 知識共有における事前準備プロセスの評価

質問内容:

議論したつぶやきをどのような基準で抽出したのか？

また、蓄積された気づきメッセージを網羅することはできたか？

《参加者の回答》

参加者 F：

事前に一通り網羅することはできたと思います。気づきメッセージを選択した理由は、自分のところで起こっていないこと、印象的な気づきメッセージを選んだつもりです。どう対処したとかどうなったというのが個人的には気になったので、そういった基準で選んだ。定期的に週報が送られていたので見ていた。

参加者 D:

網羅するのはやっぱり大変で、だから結構探すのは大変でしたね。同じような場所にあったのに、なんでそんなに差が出たんだろうっていう疑問、それがどういうことなのかっていうものを基準にしてたかと思います。

参加者 C:

(網羅することは) できなかったです。目につく気づきメッセージだけをピックアップして、あーこれ確かにみたいな感じで、(細かく読んでまで) しないです。(気づきメッセージの選択基準は、) 共感できる、同じ課題で悩んでいるなっていうところで議論できたらなっていうのと、あと何か参考にな

る自分が詰まっていたところで、何かこういうやり方しているんだみたいなところを中心になって感じですね。

参加者 B:

1つずつ順に確認したので、確かに結構時間かかりました。（中略）だいたい20分程度はかかりました。自分と違う所やり方を実践している気づきメッセージや参加者同士での成長の違いがある原因は何だろうと思い選択しました。

参加者 A:

実際に1つずつ、気づきメッセージを見たので時間はかかりましたが、網羅することはできたと思います。自分とは違うからこそ気になった気づきメッセージを選択しました。

参加者 G:

実際に自分が参考にしたものと、自分の中ではこういう部分で失敗したというのを共有できる気づきメッセージを選択しました。（気づきメッセージを把握した上で、）いろんな人が自分の肥沃度をつぶやいていた中でも、突出して参加者 D の肥沃度が高かった印象があったので、それに関連する気づきメッセージを選択しました。

参加者 E:

やっぱりそんなに時間をかけてられなかったので、さっと見て選びました。そんなに時間をかけていないので、ちゃんと見れているかはわかりません。どういう基準で選んだのかは、不思議なちょっと理解できないところを聞いたってことですね。

収集された気づきメッセージに対する参加者の事前準備プロセスについて分析を行った結果、以下の2点が明らかになった。第一に、参加者は自身の興味・関心に基づいて気づきメッセージを選択する傾向が確認されたものの、蓄積された膨大な量の気づきメッセージを網羅的に確認することは困難であると評価された。第二

に、気づきメッセージを網羅的に確認できたと回答した参加者においても、その作業に要する時間的負担が共通の課題として指摘された。これらの結果は、気づきメッセージの効率的な分類・整理の手法を必要としていることを示した。

7.5.2.2 ワークショップ内で共有された具体的な知識について

本項では、アンケート Q3-1 で得られた回答内容をより詳細に分析するため、半構造化インタビューにおいて追加の質問を実施した。

質問内容

《どのような有意義な知識が共有できましたか？》

《参加者の回答》

参加者 F:

上手く育っている人を見て、こうやればよかったんだとか、こういう判断でよかったんだっていうのはよくわかったなと思いました。例えば、肥料は積極的にあげた方がいい、水は積極的にあげたほうがいい、日当たりはそこで風当たりがよいところがいいというのと、いつ収穫すればいいのか、収穫の仕方っていうところも分かっていなかったので実際に行っている気づきメッセージが役に立ったと思います。

参加者 C:

水をあげる量に関してはセンサーを基準にして足りているならあげずにやっていたんですけど、参加者Dとか（センサーの）上限に合わせる感じであげていたと言っていたので、肥料に関してもそうです。そこら辺が何か気付いたなっていうところでありました。

あと肥沃度は、水をあげたら急増するから、センサーの値を見てからあげるとか、そういうことができたのかなっていうことはワークショップ中に気づいたところです。

参加者 B:

Dさんのプランターと参加者Cのプランターは似たような環境に置いていた

のですが、その中でも（成長の）差が出ていたので、比較して議論して風通しという大きな要因がでてきたので、室内で育てた自分のバジルが細かった原因に風通しが考えられるのではないかと気づきました。

参加者 E:

選定の方法、風通し、肥料のあげ方、直射日光の問題といろいろ勉強になるところは、あんまりちゃんと勉強してなかったから、参考になる点はありませんでした。

参加者 D:

今回は（私が）熟練者側みたいな立ち位置でになっちゃっていたので議論としては有益だったんですけど、個人の視点ではそんなに多くの知見がなかった。

半構造化インタビューにより得られた Q3-1 の回答内容を分析した結果、参加者自身の実践状況と類似する状況下での判断や行動に関する知識が特に有益であることが示された。これは、気づきメッセージをトリガーとした議論により、参加者の実践知と他者の経験知が結びつき、新たな知見の獲得に寄与したことを示唆している。

7.5.2.3 AI 検索機能

知識共有ワークショップにおける類似度検索機能の有効性について分析するため、半構造化インタビューにおいて追加の質問を実施した。

質問内容:

検索結果の気づきメッセージはどのようなものだったか

検索したときに気になるつぐ事前にピックアップしたもの以外で気になるつぶやきが検索結果として表示されたか

《参加者の回答》

参加者 F:

上から順に追っていくと時間が足りないので、似たような状況を網羅的に捉えた議論ができたというのは1つ有意義だったと思います。次にセレンディピティみたいのは発生していたような気がしますし、検索も素早かったので議論を妨げる事もなかったと思います。

議論をした上で気になり出したっていうのはありました。検索によって、そういう状況が出てきてディスカッションになったんで、検索機能がなかったら、そこにはもしかしたら議論として至らなかった可能性もあるし僕は少なくとも前もってピックアップすることはできてなかったです。

参加者 D:

コミュニケーションの量や質は上がったとは思いますが、（検索機能により）似たものが表示されると思うので、育たないものだったら育っていない関連のものだったり、；斬新性がすごいあったかと言ったら今回はそうでもなかった。

参加者 C:

検索をかけたときに、割と下にある項目でも、そうなんだっていう感じでピックアップして話し出したりしていました。そこで新しい会話ができたくて、何か関連していろいろ話して良かったなってやっぱりなかなか似たようなことを網羅的に見つけることはできないんで、（中略）AI で気になったものから引っ張ってくれるから面白いなと思いました。

参加者 E:

コミュニケーションの量は増えたけど、質はドンピシャな面白いものが検索されているわけではないということだと思います。（中略）ドンピシャだったらもっと盛り上がるんだろうけど、文章ではないもの（キーワード）が結構多かったなっていう印象です。

検索機能は議論におけるコミュニケーションの量に対する促進に効果を示した一方で、コミュニケーションの質への向上については限定的であった。具体的には、類似事例の網羅的な議論と予期せぬ発見による議論の創出に寄与したものの、検索

結果の斬新性や適合性には改善の余地が残されている。これらの結果は、検索機能が知識共有の基盤として機能する可能性を示唆すると同時に、より効果的な検索アルゴリズムの必要性を示している。

7.5.2.4 AI 検索機能の改善点

知識共有ワークショップにおける類似度検索機能の課題について分析するため、半構造化インタビューにおいて追加の質問を実施した。検索機能について、課題等の聞き取り調査を行った。

《参加者の回答》

参加者 F:

画像とかは検索できていないというのとセンサの値をとっているのにセンサのデータを使えていなかったのも、(中略) あらかじめ(気づきメッセージと)付け合わせて持ってきててもよかったのかなという風に思いました。

「今日は」とか(キーワード)で引っ張られてしまっているところとか、話し方によって引っ張られてしまって同じようなつぶやきが出てしまうってこいともあったのでそこが今後の改善点だろうなと思います。

参加者 D:

抽出されたつぶやきによってワークショップが変わってくると思うので、ただけいつぶやきが引っ張ってこれるかというのが重要かなと思いました。つぶやきの型を決めたり、この項目はつぶやくとか(中略)指定していた方が、後々につながるんじゃないかなと思います。

参加者 C:

事前に何かファシリテータが、その AI でピックアップしたやつを見といてっていうのは実際にやる時は必要だなんていうふうに思いました。AI やっても結局、触ってスクロールして見ていかなきゃいけないんで、そこをどう表示するかは結構重要かな。やっぱり下見なかったり、ないがしろにしちゃう

場合はファシリテータとてあると思うんで、そこをどう何か下の順位も会話で広がりそうなテーマなら、ちょっと上の方に出すとか何かそこら辺は重要だなと思います。

参加者 G:

検索の精度に加えて、説明するようなファシリテータ支援みたいなところまでいくと、(中略)それが適切じゃなかったとしてもファシリテータの解釈によって有益な方向にもっていくっていう改善ができるのかなと思います。

参加者 E:

あんまり関係ないものも(検索結果に)あったけれども、セレンディピティも重要なので、だから関係あるものとセレンディピティを起こしそうなものをもっと AI が選んでくれれば、より良いのでそこには改善の余地があるのではないかということですね。

検索機能の課題として、気づきメッセージの文章だけの類似度検索の限界が示された。具体的には、検索対象となる気づきメッセージの一般的な表現に検索結果が影響されることや検索結果に含まれると文脈的に類似する気づきメッセージと予想外の発見を促す気づきメッセージの比率、気づきメッセージの型による構造化の必要性など、より洗練された検索手法の開発の余地がある。

7.6 考察

提案手法は現場知識を共有するワークショップにおいて、提案手法の STEP2 と STEP3 の 2 段階に渡り気づきメッセージを活用することで、分散している現場において共有が困難であった現場知識を共有する。特に STEP3 に該当する、LLM を用いた類似度検索により抽出した気づきメッセージを活用した議論は、コミュニケーションの質・量に対して有効性を示し、ワークショップのログデータでも、有益な現場知識が関連する気づきメッセージを基にした議論でより表出していることが明らかになった。つまり、提案手法による検索結果に含まれる議論に関連する気づきメッセージがワークショップを促進する要因となり、知識を共有する議論に有

効に作用した。これは、6 章の提案手法が植物栽培の現場作業を対象とした場合でも有効であったことを意味する。

作業者が選択した気づきメッセージに基づく議論では、気づきメッセージをトリガーとして活用することで、表出した現場のコンテキストを再解釈し、現場知識を共有する。議論に関連する気づきメッセージに基づく議論では、周辺の関連する気づきメッセージを捕捉し、それらを議論することで、類似する現場のコンテキストの表出を支援する。これはアンカーとしての気づきメッセージの活用である。これにより、表出可能な現場のコンテキストを拡張した議論が可能になり、議論が促進された(図 7.16)。

以下では、観察された気づきメッセージを活用した議論について、それぞれの視点で考察する。

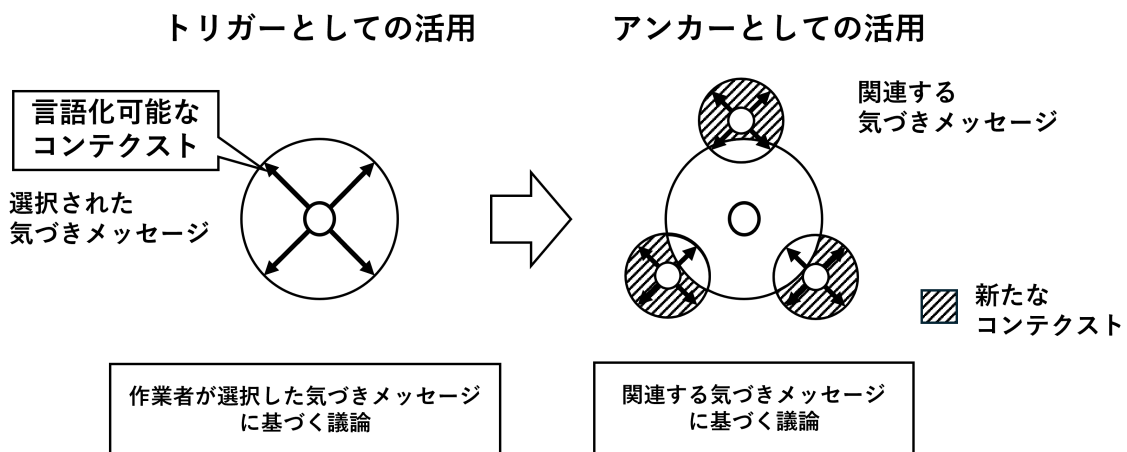


図 7.16: 気づきメッセージを基にした議論の概念モデル

7.6.1 類似した状況を網羅する議論

本提案手法は、関連する気づきメッセージを基に議論することで更なる知識共有する。これは、気づきメッセージに含まれる現場特有のコンテキストを議論を通して解釈することで、現場から離れた空間では表出が困難な現場知識を表出するためである。LLM を用いた類似度検索結果の気づきメッセージは、同じような文脈や特徴的な単語が含まれるため、関連する現場のコンテキストが含まれる可能性が高

い。STEP3 の議論では検索結果に含まれる議論に関連する気づきメッセージが議論に活用されたことで議論が促進した。

これらの関連する気づきメッセージは議論と似たような現場のコンテキストが含まれるため、議論に活用が容易である。関連する気づきメッセージから同じような状況における当事者の対応や現場知識が表出することで、議論が促進される。結果として、分散した作業者同士でも当事者でないと経験し得ない現場知識の共有を可能にする。この議論は、関連するコンテキストに基づいて現場知識が表出されやすいため、類似する状況を網羅する議論を可能にする。

森 (2018, p.96) の作業概念形成プロセスは、幾つもの個別への対応が集積されることで、応用できる作業概念が形成されると説明している。本提案手法における類似度検索の活用は、類似する個別への対応を含む可能性の高い気づきメッセージを抽出する。また、類似度検索を用いた知識共有ワークショップでは、複数の類似する個別への対応を参照して議論することができるため、従来手法と比較して現場を超えて応用可能な作業概念の形成に有効な手法である。

7.6.2 知識創造の場

提案手法は関連する気づきメッセージを議論に活用することで知識共有を促進する手法である。従来の気づきメッセージをトリガーとした知識共有手法 (井上・内平, 2023) は、気づきメッセージ同士の関連性に着目した研究はなく、トリガーとして取り上げた単一の気づきメッセージに基づいた議論が行わやすい。対して、本提案手法は検索結果の気づきメッセージから参加者に対して気づきメッセージに共通する現場の状況に着目した視座を与える。これは、現場ごとの環境や特性を比較した議論を促進することが可能であるため、本来意図的に表出することが困難である現場知識に対して、関連する気づきメッセージを基に現場に共通する潜在的な関連性を表出させる手法である。この手法は、参加者に対して、現場間の関連性など知識創造の余地を与え、Nonaka and Konno (1998) の「場」としてより促進させる手法であると考えられる。

7.6.3 気づきメッセージに対する人間によるの評価と LLM による評価の違い

議論の場で収集した気づきメッセージの中から関連する気づきメッセージを的確に選び出し、活用することは、収集した気づきメッセージを把握を要するため、困

難であった。本章で実施した植物栽培を対象に実施された知識共有ワークショップでも、議論を行うにつれて、気になり出した気づきメッセージが指摘されたように、議論の瞬間で気づきメッセージの評価は変化する。しかし、事前に気づきメッセージを閲覧していた参加者でもその場に適した気づきメッセージを提示することは困難である。

つまり、気づきメッセージの抽出においては、Lundberg et al. (2009) が指摘する探しているものしか見つからない (WYFWYG) といった現象に直面する。より有益なワークショップによる現場知識の実現を行う場合、Sharp End (現場) で実際に行われている業務 (Worker As Done (Hollnagel, 2008)) を適切に引き出し共有することが重要となる。本提案手法は、収集された気づきメッセージの中から関連する気づきメッセージをその場で抽出することが可能であり、関連する気づきメッセージを議論で活用することは現場知識を共有する議論に対して、セレンディピティをもたらす。LLM を活用した類似度検索は、統計的な共起関係や文脈的な類似性に基づいて関連性を評価するのに対し、人間は経験や直感に基づいて関連性を判断する。この違いにより、類似度検索によって提示される気づきメッセージは、参加者が予期しない新たな視点やアイデアを提供する可能性があるため、知識共有ワークショップで活用することは議論を活性化する可能性がある。

7.6.4 提案手法の応用可能範囲

本実験で知識共有の対象としたバジル栽培は、プランタを用いて試行参加者間で栽培環境が異なる状況で実施され、水やりや追肥、摘芯の判断など、バジルの栽培状況だけでなく周囲の環境を考慮した上で適切な判断が求められるため、参加者間でもバジルの育成具合に開きが生じた。それぞれの参加者により、栽培経験から得た知識は異なる一方で、栽培に共通した背景知識を獲得している状況で知識共有ワークショップが行われた。これは、現場を共有することが困難な状況で行われる知識共有の取り組みと同じ状況であり、本実験で明らかになった提案手法の有効性は、同様の状況の現場においても作用する可能性は高い。

7.7 まとめ

本実験では、6章の実験評価において関連する気づきメッセージの抽出に有効性を示した LLM を活用した類似度検索を用いた知識共有ワークショップ手法を提案した。提案手法の評価に伴い、植物栽培を対象に音声つぶやきシステムを試行することで気づきメッセージの収集と共に、植物栽培に関する背景知識を獲得した。現場知識を共有する知識共有ワークショップでは、事前に選定した気になる気づきメッセージをトリガーとして議論をした後に、LLM を活用した類似度検索を用いて収集した気づきメッセージの中から関連する気づきメッセージを抽出した。関連する気づきメッセージを参照しながら、更なる議論を促進した。実施した知識共有ワークショップはアンケート及び半構造化インタビューを用いて評価した。

実験結果から、本提案手法は潜在的な現場のコンテキストの表出を促進し、現場知識を共有する議論を活性化させる有効な手法であることを示した。議論の活性化は、議論の質に対しても影響を与えると考えるため、本提案手法は従来の現場知識の共有手法の課題である知識共有が議論の質に依存する課題に対して有効な手法となり得る。

第 8 章 結論

8.1 本研究のまとめ

本研究において実施した取り組みと得られた知見について以下にまとめる。音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップによる現場知識を共有するナレッジマネジメント手法は、現場作業中の気づきを作業者の負担を抑えながらも収集できる。一方で、収集した気づきを議論することで現場知識を共有する場である知識共有ワークショップにおいては、知識共有の効果が議論される気づきメッセージや事前の準備作業に大きく影響する。つまり、現場知識の共有時に生じる現場のコストが課題であった。そのため、現場知識を共有する取り組みを継続して実施するためには、現場のコスト軽減と現場知識の表出を促進するファシリテータ依存の課題を解決するナレッジマネジメント手法が求められる。

5 章では知識共有ワークショップの準備段階において、気づきメッセージを分類・整理する作業時間が知識共有定着の時間的な負担による課題を明らかにした。課題に対して提案した LLM の活用手法は、気づきメッセージの分類・整理に対して有効性を示し、気づきメッセージを分類整理する作業工数を削減するため、知識共有を取り組む現場の負担の軽減する可能性を示した。

6 章ではファシリテータ依存の課題に対して、議論の質を向上を目的に気づきメッセージを効果的に活用する LLM の活用手法を検討した。本章で提案した LLM を活用した気づきメッセージの類似度検索は、実験評価を通してトリガーと関連する気づきメッセージの抽出に対して有効性を示した。6 章で有効性を示した LLM の活用手法を用いた知識共有ワークショップを 7 章で実験評価を行うことで、提案手法による知識共有への有効性を評価した。ここでは、関連する気づきメッセージを知識共有ワークショップにて活用することで気づきメッセージをトリガーとする議論の活性化に対して有効性を示した。知識共有ワークショップにおいては、議論が活性化することで、議論で表出する現場知識にも幅が広がりより有益な議論が

行われ、質が向上する。また、LLM を活用した知識共有ワークショップは、トリガーと関連する気づきメッセージを拾い上げることで、議論を発散させ、意図した表出化が困難である現場知識に対して有効な知識共有のアプローチであることを示した。

8.2 リサーチクエスチョンへの回答

1.2 で設定したリサーチクエスチョンに基づいて、それぞれの SRQ に回答するための評価及び検討を行った。以下にリサーチクエスチョンに対して、本研究で得られた回答を示す。

SRQ 1:知識共有ワークショップの準備段階における LLM の活用はどのようなものか？

5 章において、音声つぶやきシステムにより収集した気づきメッセージに対して、収集した気づきメッセージをカテゴリに分類する LLM の活用手法の実験評価を行った。実験評価の結果、LLM を活用した気づきメッセージの分類・整理は、特定のカテゴリに対して有効性を示した。気づきメッセージの分類・整理作業は、作業時間を要することが予備調査から明らかである。LLM 活用手法は知識共有ワークショップの準備段階において、作業時間（コスト）を削減し、知識共有ワークショップの負担を軽減する。

SRQ 2:知識共有ワークショップの議論段階における LLM の活用はどのようなものか？

6 章では、知識共有ワークショップにおいて、膨大な数の気づきメッセージの中から議論のトリガーと関連する気づきメッセージを抽出する LLM 活用手法として、LLM を用いた類似度検索手法の実験評価を行った。7 章では、6 章で開発したモデルを用いて、議題として取り上げた気づきメッセージの類似検索を行う知識共有ワークショップを実施を行い、評価した。知識共有ワークショップの議論段階において、トリガーと関連する複数の気づきメッセージが共有されることで、類似する状況の気づきメッセージを踏まえた、網羅的な議論を可能にした。また、関連する気づきメッセージの提示

は、議論の流れに沿って関連する気づきメッセージを見つけ出す参加者の負担を軽減し、知識を共有する議論において、参加者の発話のトリガーとなり議論を促進する。まとめると、知識共有ワークショップの議論段階における LLM の活用は、気づきメッセージに基づく参加者の志向を発散させ、議論内のコミュニケーションを活性化させた。

MRQ:LLM を活用した知識共有ワークショップはどのようなものか？

LLM を活用した知識共有ワークショップは、現場知識の共有に要する現場の負担を軽減するだけでなく、表出化が困難な現場知識に対して、意図的に関連する現場知識の表出化を支援する。

LLM を活用した知識共有ワークショップは現場知識の共有を効率的に支援するだけでなく、関連する気づきメッセージを網羅的に取り出した上で新たな知見を与えることで議論を深化させることを示した。

音声つぶやきシステムを活用した知識共有ワークショップによる現場知識の共有は、現場に負担を要するため知識共有の取り組みが現場に定着しにくい課題がある。本研究では、知識共有ワークショップに伴う準備段階と知識共有段階の課題に対して、LLM の活用は現場の負担を軽減することを示した。これは、現場における知識共有の取り組みを定着に期待できる知識共有手法である。

現場知識の共有においては、LLM を活用した知識共有ワークショップは、関連する複数の気づきメッセージをトリガーとして議論するため、似たような状況についての現場知識を網羅的に議論できる。そのため、関連する現場知識に対して意図的にアプローチし、表出化する、現場知識を効果的に共有する知識共有手法である。

8.3 学術的貢献

本研究では、LLM を中心とした NLP の活用手法と音声つぶやきシステムを統合した現場知識を共有するナレッジマネジメント手法を提案した。従来の現場知識を共有する知識共有ワークショップは、準備作業や議論に活用する気づきメッセージ

の選定に割く労力に依存して知識共有が行われる。本研究では、これらの課題に対して有効な LLM の活用手法を示した。これは、Uchihira et al. (2023) による現場知識デジタルナレッジツインを実装するための技術的要件であるワークショップ支援部分の実装に相当する。LLM を活用することで、類似する事例から新たな気づきを引き出すことで、潜在的な知識を表出化するアプローチは本研究の新規性である。

また、本研究では、関連する気づきメッセージを提示する知識共有ワークショップにおける検索結果をトリガーとした議論の概念モデルを示した。関連する気づきメッセージの提示による議論は、表出可能なコンテキスト量を増やすことで、議論を促進し、現場知識の表出を支援する本提案手法を示したことに本研究の新規性がある。

8.4 実務的貢献

本研究では、知識共有における具体的な LLM の活用手法を検討し、ワークショップにより現場知識の共有手法を提案した。試行の過程において、保守点検や農業の分野において、実践的な試行評価を行っており、実際の保守点検、農業の場において、本研究で開発してきた手法、ツールは活用できると考えられる。

8.5 研究の限界

本研究は、音声つぶやきシステムを用いた気づきメッセージの収集・蓄積、LLM を活用したテキスト分類、類似度検索を試行することで、知識共有ワークショップにおける LLM の活用に関する有効性を評価した。その後、LLM の活用を統合した知識共有ワークショップを実施することで、現場を共有しない組織において有効な LLM を活用したナレッジマネジメントの有用性を示した。本研究の主な限界を以下に示す。

- ・5 章の気づきメッセージを対象にしたテキスト分類の活用を行う LLM の試行は、実際の一方で、収集した気づきメッセージには偏りが存在し、全てのカテゴリーにおいて十分な気づきメッセージの収集・蓄積がされたわけではない。

そのため、使用した気づきメッセージは不均衡なデータであり、高い精度の分類を実施に関しては検討の余地がある。また、本試行で提案する分類・整理作業は、提案する LLM によるテキスト分類により、人手での分類・整理作業を代替することを目的としているが、カテゴリーによっては不十分な精度も確認されているため、人と AI の協働による気づきメッセージの分類・整理作業を実施する半自動化の手法が有効であると考えられる。

- 6 章のクエリとなる気づきメッセージに対して、膨大な気づきメッセージの中から関連する気づきメッセージを抽出する類似度検索の研究は、本校の学生¹⁾であり、実際の現場で従事する作業者による評価ではない。また、検索に用いる気づきメッセージと関連する気づきメッセージが蓄積されていない場合、検索結果に関連する気づきメッセージが表示されないため、蓄積された気づきメッセージの多様性が検索結果の質に影響を与える。加えて、検索結果は cos 類似度に基づいて計算された値であるため、cos 類似度は低いに関連性が高いメッセージについては抽出できない可能性がある。
- 7 章では提案する LLM を活用したナレッジマネジメントによる知識共有ワークショップを実施した。この試行では、知識共有ワークショップの議論において、議論したい気づきメッセージをクエリとして類似度検索を実施し、検索結果を参照して議論を行った。試行は、単発のワークショップでの実施であり、複数のワークショップを通しての効果を評価することができなかった。

8.6 将来研究の示唆

近年の AI 技術の発展により、ナレッジマネジメントの支援に関する研究が活発化している。さらに、近年では ChatGPT に代表される Generative Process Language Model (GPT) の登場により、ナレッジマネジメントの新たな可能性が広がっている。従来は活用が困難であった音声、写真、映像などの非構造化データに対しても、誰もが容易に活用できる環境が整いつつある。しかしながら、GPT には誤った情報を生成してしまう「ハルシネーション」の課題をはじめ、進行技術のため様々な課題が指摘されている。GPT の有効活用方法については多くの議論が

1) 電気保安業務を対象に実施された知識共有ワークショップに参加した経験を持つ学生

行われ、本研究では活用には至っていない。

また、過去の気づきメッセージを業務フローを踏まえて体系的に整理した上で、ワークショップの内容を参照する仕組みは、作業者のより実践的な知識を可視化し、現場知識を業務フローに還元する手法として有効であると考えられる。例えばCHARM(Nishimura et al., 2013) などを活用した知識の構造化手法を用いた知識の記述が考えられる。気づきメッセージをトリガーとしたワークショップでの議論は、コンテキストのような現場ごとに異なる情報を含み、上手く取り出すことで、記述した知識に欠落したコンテキストを補完する構造化知識の支援のような取り組みが考えられる。

参考文献

- Abid, Abubakar, Ali Abdalla, Ali Abid, Dawood Khan, Abdulrahman Alfozan, and James Zou (2019) “Gradio: Hassle-Free Sharing and Testing of ML Models in the Wild,” June, DOI: 10.48550/arXiv.1906.02569, arXiv:1906.02569.
- Aboelmaged, Mohamed Gamal Shehata (2015) “E-maintenance research: a multifaceted perspective,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, Publisher: Emerald Group Publishing Limited.
- Acemoglu, Daron and David Autor (2011) “Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings*,” in Card, David and Orley Ashenfelter eds. *Handbook of Labor Economics*, Vol. 4, pp. 1043–1171: Elsevier, DOI: 10.1016/S0169-7218(11)02410-5.
- Ackoff, Russell L. (1989) “From data to wisdom,” *Journal of applied systems analysis*, Vol. 16, No. 1, pp. 3–9.
- Alwert, Kay and Ingo Hoffmann (2003) “Knowledge Management Tools,” in Mertins, Kai, Peter Heisig, and Jens Vorbeck eds. *Knowledge Management*, pp. 114–150, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/978-3-540-24778-4_6.
- CEN (2001) “Maintenance terminology.”
- Clavié, Benjamin (2023) “Towards Better Monolingual Japanese Retrievers with Multi-Vector Models,” *arXiv preprint arXiv:2312.16144*.
- Cárcel-Carrasco, Javier and José-Antonio Cárcel-Carrasco (2021) “Analysis for the Knowledge Management Application in Maintenance Engineering: Perception from Maintenance Technicians,” *Applied Sciences*, Vol. 11, No. 2, p. 703, January, DOI: 10.3390/app11020703, Number: 2 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Davenport, Thomas and Laurence Prusak (1998) *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*, Vol. 1, DOI: 10.1145/348772.348775, Journal Abbreviation: Ubiquity Publication Title: Ubiquity.

- Devlin, Jacob, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova (2018) “Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding,” *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
- Dey, Anind K. (2001) “Understanding and Using Context,” *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 5, No. 1, pp. 4–7, February, DOI: 10.1007/s007790170019.
- Ericsson, K. Anders (2014) “The acquisition of expert performance: An introduction to some of the issues,” in *The road to excellence*, pp. 1–50: Psychology Press.
- Frey, Carl Benedikt and Michael A. Osborne (2017) “The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?” *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 114, pp. 254–280, January, DOI: 10.1016/j.techfore.2016.08.019.
- Gettier, Edmund L. (1963) “Is Justified True Belief Knowledge?” *Analysis*, Vol. 23, No. 6, pp. 121–123, DOI: 10.2307/3326922, Publisher: [Analysis Committee, Oxford University Press].
- Greff, Klaus, Rupesh K. Srivastava, Jan Koutník, Bas R. Steunebrink, and Jürgen Schmidhuber (2016) “LSTM: A search space odyssey,” *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, Vol. 28, No. 10, pp. 2222–2232, Publisher: IEEE.
- Grieves, Michael (2015) “Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication,” March.
- Gupta, Babita, Lakshmi S. Iyer, and Jay E. Aronson (2000) “Knowledge management: practices and challenges,” *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 100, No. 1, pp. 17–21, January, DOI: 10.1108/02635570010273018, Publisher: MCB UP Ltd.
- Hart, Christopher A. (2004) “The Global Aviation Information Network (GAIN),” in Johnson, Chris W. and Philippe Palanque eds. *Human Error, Safety and Systems Development*, pp. 17–30, Boston, MA: Springer US, DOI: 10.1007/1-4020-8153-7_2.
- Heinrich, Herbert William (1930) “Relation of accident statistics to industrial accident prevention,” *Proc. of the Casualty Act. Society*, Vol. 16, No. 33-34, pp. 170–174.
- von Hippel, Eric (1994) ““Sticky Information” and the Locus of Problem Solving: Implications for Innovation,” *Management Science*, Vol. 40, No. 4, pp. 429–439, April, DOI: 10.1287/mnsc.40.4.429, Publisher: INFORMS.
- Hollnagel, LEARNING Erik (2008) “INVESTIGATIONS AS AN IMPEDIMENT TO LEARNING,” in *Resilience Engineering Perspectives, Volume 1*: CRC Press, Num

Pages: 10.

- Hsieh, Ping Jung, Binshan Lin, and Chinho Lin (2009) “The construction and application of knowledge navigator model (KNMTM): An evaluation of knowledge management maturity,” *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 2, Part 2, pp. 4087–4100, March, DOI: 10.1016/j.eswa.2008.03.005.
- Inoue, Moritaro, Kenta Toya, Riku Ogawa, and Naoshi Uchihira (2023) “Fusion of Physical and Human Sensors for Condition Prediction: Preliminary Experiments in Smart Agriculture,” *IIAI Letters on Informatics and Interdisciplinary Research*, Vol. 4, December, DOI: 10.52731/liir.v004.171.
- International Organization for Standardization (2018) “ISO 30401:2018 Knowledge Management Systems - Requirements.”
- Iske, Louis, Paul (2021) 『失敗の殿堂：経営における「輝かしい失敗」の研究』, 紺野登・渡部典子訳, 東洋経済新報社, titleTranslation: Institute of Brilliant Failures: Make room to experiment, innovate, and learn.
- Ji, Ziwei, Nayeon Lee, Rita Frieske et al. (2023) “Survey of Hallucination in Natural Language Generation,” *ACM Computing Surveys*, Vol. 55, No. 12, pp. 1–38, December, DOI: 10.1145/3571730.
- Karl, Weick (2001) 『センスメーカー イン オーガニゼーションズ』, 西本直人訳, 文眞堂.
- Kim, Daniel H. (1997) “The Link Between Individual and Organizational Learning,” in *The Strategic Management of Intellectual Capital*: Routledge, Num Pages: 22.
- Kondoh, Shinsuke, Leon Akiyama, Jumpei Goto, Yasushi Umeda, and Hideaki Takeda (2024) “Human-Centered Problem Solving in Manufacturing: The Digital Triplet Approach,” *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 58, No. 19, pp. 169–174, January, DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.09.132.
- Lave, Jean and Etienne Wenger (1991) 『状況に埋め込まれた学習』, 佐伯胖訳.
- Lucky, Robert W. (1989) “Silicon dreams: Information, man, and machine,” (*No Title*).
- Lundberg, Jonas, Carl Rollenhagen, and Erik Hollnagel (2009) “What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals,” *Safety Science*, Vol. 47, No. 10, pp. 1297–1311, December, DOI: 10.1016/j.ssci.2009.01.004.

- Lundgren, Camilla, Jon Bokrantz, and Anders Skoogh (2021) “A strategy development process for Smart Maintenance implementation,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32, No. 9, pp. 142–166, January, DOI: 10.1108/JMTM-06-2020-0222, Publisher: Emerald Publishing Limited.
- Mansor, M. A., A. Ohsato, and S. Sulaiman (2012) “Knowledge Management for Maintenance Activities in the Manufacturing Sector,” *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, Vol. 5, pp. 612–621, DOI: 10.15282/ijame.5.2012.7.0048.
- Marshall, Hannah Meara (1972) “Structural Constraints on Learning: Butchers’ Apprentices,” *American Behavioral Scientist*, Vol. 16, No. 1, pp. 35–44, September, DOI: 10.1177/000276427201600104, Publisher: SAGE Publications Inc.
- Matayong, Sureena and Ahmad Kamil Mahmood (2013) “The review of approaches to knowledge management system studies,” *Journal of Knowledge Management*, Vol. 17, No. 3, pp. 472–490, January, DOI: 10.1108/JKM-10-2012-0316, Publisher: Emerald Group Publishing Limited.
- McDonald, David D. (2010) “Natural language generation.,” *Handbook of natural language processing*, Vol. 2, pp. 121–144.
- Mikolov, Tomas, Ilya Sutskever, Kai Chen, Greg S. Corrado, and Jeff Dean (2013) “Distributed representations of words and phrases and their compositionality,” *Advances in neural information processing systems*, Vol. 26.
- Mohamed, Mirghani, Michael Stankosky, and Mona Mohamed (2009) “An empirical assessment of knowledge management criticality for sustainable development,” *Journal of Knowledge Management*, Vol. 13, No. 5, pp. 271–286, January, DOI: 10.1108/13673270910988105, Publisher: Emerald Group Publishing Limited.
- Nakano, Davi, Jorge Muniz, and Edgard Dias Batista (2013) “Engaging environments: tacit knowledge sharing on the shop floor,” *Journal of Knowledge Management*, Vol. 17, No. 2, pp. 290–306, January, DOI: 10.1108/13673271311315222, Publisher: Emerald Group Publishing Limited.
- Naqvi, Syed Meesam Raza, Mohammad Ghufraan, Safa Meraghni, Christophe Varnier, Jean-Marc Nicod, and Nouredine Zerhouni (2022) “Human knowledge centered maintenance decision support in digital twin environment,” *Journal of Manufac-*

- turing Systems*, Vol. 65, pp. 528–537, October, DOI: 10.1016/j.jmsy.2022.10.003.
- Nishimura, Satoshi, Yoshinobu Kitamura, Munehiko Sasajima, Akiko Williamson, and Chikako Kinoshita (2013) “CHARM as activity model to share knowledge and transmit procedural knowledge and its application to nursing guidelines integration,” *Journal of Advanced Computational Intelligence Vol*, Vol. 17, No. 2.
- Nonaka, Ikujiro and Noboru Konno (1998) “The Concept of “Ba” : Building a Foundation for Knowledge Creation,” *California Management Review*, Vol. 40, No. 3, pp. 40–54, April, DOI: 10.2307/41165942.
- Nonaka, Ikujiro, Ryoko Toyama, and Noboru Konno (2000) “SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation,” *Long Range Planning*, Vol. 33, No. 1, pp. 5–34, February, DOI: 10.1016/S0024-6301(99)00115-6.
- Orr, Julian E. (1990) *Talking about machines: An ethnography of a modern job*: Cornell University.
- Orr, Julian E. (1996) *Talking about Machines: An Ethnography of a Modern Job*: Cornell University Press.
- Polanyi, Michael (2003) 『暗黙知の次元』, 高橋勇夫訳, ちくま学芸文庫.
- Radford, Alec, Karthik Narasimhan, Tim Salimans, and Ilya Sutskever (2018) “Improving language understanding by generative pre-training,” Publisher: OpenAI.
- Riege, Andreas (2005) “Three-dozen knowledge-sharing barriers managers must consider,” *Journal of Knowledge Management*, Vol. 9, No. 3, pp. 18–35, January, DOI: 10.1108/13673270510602746, Publisher: Emerald Group Publishing Limited.
- Rowley, Jennifer (2007) “The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy,” *Journal of Information Science*, Vol. 33, No. 2, pp. 163–180, April, DOI: 10.1177/0165551506070706.
- Ruggles, Rudy L. (1996) “Tools for Knowledge Management: An Introduction,” in *Knowledge Management Tools*: Routledge, Num Pages: 8.
- Segal, Avi, Shaked Hindi, Naomi Prusak, Osama Swidan, Adva Livni, Alik Palatnic, Baruch Schwarz, and Ya’akov (Kobi) Gal (2017) “Keeping the Teacher in the Loop: Technologies for Monitoring Group Learning in Real-Time,” in André, Elisabeth, Ryan Baker, Xiangen Hu, Ma. Mercedes T. Rodrigo, and Benedict du Boulay eds. *Artificial Intelligence in Education*, pp. 64–76, Cham: Springer International Pub-

- lishing, DOI: 10.1007/978-3-319-61425-0_6.
- Shengli, Wei (2021) “Is Human Digital Twin possible?” *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update*, Vol. 1, p. 100014, January, DOI: 10.1016/j.cmpbup.2021.100014.
- Sternberg, R. J. (2000) *Practical intelligence in everyday life*: Cambridge University Press.
- Styhre, Alexander (2008) “The role of social capital in knowledge sharing: the case of a specialist rock construction company,” *Construction Management and Economics*, Vol. 26, No. 9, pp. 941–951, September, DOI: 10.1080/01446190802259035, Publisher: Routledge _eprint: <https://doi.org/10.1080/01446190802259035>.
- Uchihira, Naoshi and Masami Yoshida (2018) “Agricultural Knowledge Management Using Smart Voice Messaging Systems: Combination of Physical and Human Sensors,” in *Joint International Conference on Service Science and Innovation (ICSSI 2018) and on Serviceology (ICServ2018)*, Taichung.
- Uchihira, Naoshi, Sunseong Choe, Kunihiko Hiraishi, Kentaro Torii, Tetsuro Chino, Yuji Hirabayashi, and Taro Sugihara (2013) “Collaboration management by smart voice messaging for physical and adaptive intelligent services,” in *2013 Proceedings of PICMET’13: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET)*, pp. 251–258: IEEE.
- Uchihira, Naoshi, Takuichi Nishimura, and Koki Ijuin (2023) “Human-centric Digital Twin Focused on “Gen-Ba” Knowledge: Proposal of Conceptual Model and Examples,” Publisher: IEEE.
- Umeda, Yasushi, Jun Ota, Fumio Kojima et al. (2019) “Development of an education program for digital manufacturing system engineers based on ‘Digital Triplet’ concept,” *Procedia manufacturing*, Vol. 31, pp. 363–369, Publisher: Elsevier.
- Vaswani, Ashish, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, \Lukasz Kaiser, and Illia Polosukhin (2017) “Attention is all you need,” *Advances in neural information processing systems*, Vol. 30.
- Wang, Kexin, Nils Reimers, and Iryna Gurevych (2021) “TSDAE: Using Transformer-based Sequential Denoising Auto-Encoder for Unsupervised Sentence Embedding Learning,” in *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP*

- 2021, pp. 671–688.
- Wenger, Etienne C. and William M. Snyder (2000) “Communities of practice: The organizational frontier,” *Harvard business review*, Vol. 78, No. 1, pp. 139–146.
- Wenger, Etienne, Richard McDermott, and Snyder M. William (2002) 『コミュニティ・オブ・プラクティス: ナレッジ社会の新たな知識形態の実践』, 野村恭彦・櫻井祐子訳, 翔泳社.
- Yamada, Ikuya, Akari Asai, Hiroyuki Shindo, Hideaki Takeda, and Yuji Matsumoto (2020) “LUKE: Deep Contextualized Entity Representations with Entity-aware Self-attention,” October, DOI: 10.48550/arXiv.2010.01057, arXiv:2010.01057 [cs].
- Zeleny, Milan (1987) “Management support systems: Towards integrated knowledge management,” *Human systems management*, Vol. 7, No. 1, pp. 59–70, Publisher: IOS Press.
- Zhao, Qingliang, Huong Dang, Nichole Sullivan, K. C. Chang, T. M. Clemons III, Gen-she Chen, Erik Blasch, and Khanh Pham (2022) “S-KISS: semantic based knowledge and information sharing system for defense training and operations,” in *Sensors and Systems for Space Applications XV*, Vol. 12121, p. 1212102: SPIE.
- Øien, Knut (1998) “Improved quality of input data for maintenance optimization using expert judgment,” *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 60, No. 2, pp. 93–101, May, DOI: 10.1016/S0951-8320(98)83002-0.
- 丸山悠那・内平直志 (2023) 「製造業における情報共有・知識創造～音声つぶやきシステムを用いた現場作業員間の振り返り学習の提案～」.
- 井上杜太郎・内平直志 (2023) 「作業員の気づきを活用した船舶保守のナレッジ・マネジメント手法の提案」, 『ナレッジ・マネジメント研究年報』, 第 21 号, 31–46 頁.
- 伊丹敬之 (2005) 『場の論理とマネジメント』, 東洋経済新報社.
- 内平直志 (2013) 「音声つぶやきによる看護・介護サービスの記録・連携支援 (<特集> 介護・医療システムの現場参加型開発)」, 『人工知能学会誌』, 第 28 巻, 第 6 号, 893–898 頁, 11 月.
- 内平直志 (2014) 「音声つぶやきによる気づきの収集と活用で看護・介護サービスの質を向上する」, 『サービスロジー』, 第 1 巻, 第 2 号, 14–17 頁.
- 内平直志・西村拓一・伊集院幸輝 (2024) 「潜在的で暗黙的な現場知識をデジタル技

- 術で抽出・活用~JAIST 支援機構デジタルナレッジツイン研究会の活動紹介~,
『電波技術協会報 FORN』, 第 357 号, 20-23 頁.
- 千代島史弥・内平直志 (2024) 「状況に依存した現場知識の抽出を支援するデジタル技術を活用した組織学習」.
- 古川康一・植野研・尾崎知伸ら (2005) 「身体知研究の潮流-身体知の解明に向けて-」, 『人工知能学会論文誌』, 第 20 巻, 第 2 号, 117-128 頁, Publisher: 一般社団法人 人工知能学会.
- 吉村慎浩・内平直志・佐々木康朗 (2018) 「警備業務におけるリアルタイム気づき組織学習の提案と有効性の評価」, 『第 8 回知識共創フォーラム』.
- 堀公俊・加藤彰 (2008) 『ワークショップ・デザイン』, 大日本印刷株式会社.
- 大西朔永・椎名広光・保森智彦 (2022) 「ニューラルネットワークモデルによる授業対話に対する学びの種類の推定と可視化」, 『IEICE Conferences Archives』, 第 IEICE-122 巻, 第 IEICE-ET-241 号, IEICE-ET 頁, 10 月, Publisher: The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers.
- 宇都幸男 (2018) 「電気保安管理と IT 化」, 『電気設備学会誌』, 第 38 巻, 第 11 号, 641-641 頁, Publisher: 一般社団法人 電気設備学会.
- 山内祐平・森玲奈・安斎勇樹 (2013) 『ワークショップデザイン論-創ることで学ぶ』, 慶應義塾大学出版株式会社.
- 末永聡 (2009) 「農林水産業とナレッジマネジメント」, 『農業経営研究』, 第 46 巻, 第 4 号, 8-16 頁, Publisher: 日本農業経営学会.
- 松田寛 (2020) 「GiNZA-Universal Dependencies による実用的日本語解析」, 『自然言語処理』, 第 27 巻, 第 3 号, 695-701 頁, Publisher: 一般社団法人 言語処理学会.
- 森和夫 (2015) 「見直されるべき基礎技能教育の大切さ: 現場を離れ「原理原則」を考えさせる経験が応用力のある技能者をつくる」, 『企業と人材』, 第 48 巻, 第 1028 号, 8-13 頁, 6 月, Publisher: 東京: 産労総合研究所.
- 森和夫 (2018) 『技術・技能論-技術・技能の変化と教育訓練-』, 大妻女子大学人間生活文化研究所.
- 森和夫 (2020) 「熟練技の特性と次世代への継承, 育成における課題」, 『日本労働研究雑誌』, 第 11 巻, 74-84 頁, Publisher: 労働政策研究・研修機構.
- 深山篤 (2023) 「人のデジタルツインの動向: もう一人の自分” Another Me” 実現への挑戦」, 『電子情報通信学会誌= The journal of the Institute of Electronics,

- Information and Communication Engineers』, 第 106 巻, 第 8 号, 728–734 頁,
Publisher: 電子情報通信学会.
- 畑村洋太郎 (2005) 『失敗学のすすめ』, 講談社.
- 真鍋・岡照晃・海川祥毅・高岡一馬・内田佳孝・浅原正幸 (2019) 「複数粒度
の分割結果に基づく日本語単語分散表現」, 『言語処理学会年次大会発表論文集
(Web)』, 第 25th 巻, 8–5 頁.
- 細野一雄 (2024) 『経験知の継承から協創へ – IT 企業におけるベテラン経験知の解
明と活用 – 』, 文眞堂.
- 角谷恵太郎 (2012) 「電気保安全管理の技術者教育」, 『電気設備学会誌』, 第 32 巻, 第
5 号, 349–352 頁, Publisher: 一般社団法人 電気設備学会.
- 遠矢健太・井上杜太郎・内平直志 (2023) 「スマート農業における物理センサと人
間センサを活用した機械学習による知識抽出」, 『電子情報通信学会技術研究報
告; 信学技報』, 第 122 巻, 第 435 号, 164–167 頁, 3 月, Publisher: 電子情報通信
学会.
- 野中郁次郎・竹内弘高 (2020) 『知識創造企業 (新装版)』, 東洋経済新報社.
- 野中郁次郎・紺野登 (2003) 『知識創造の方法論』, 東洋経済新報社.
- 露木恵美子 (2019) 「「場」と知識創造—現象学的アプローチによる集团的創造性を
促す「場」の理論に構築に向けて—」, 『研究 技術 計画』, 第 34 巻, 第 1 号,
39–57 頁, Publisher: 研究・イノベーション学会.
- 高道駿・佛田利弘・佐藤那央・内平直志 (2021) 「IoE を活用した農業における知識
共有 音声つぶやきシステムを用いた農作業者の気づきの表出化方法の提案」.
KKK

研究業績

国際学会口頭発表論文（査読有）

Inoue, M., Toya, K., Ogawa, R., Uchihira, N., 2023. Fusion of Physical and Human Sensors for Condition Prediction: Preliminary Experiments in Smart Agriculture. IIAI Letters on Informatics and Interdisciplinary Research 4. 11 pages.
開催日時：2023 年 9 月 20 日～22 日，場所：北九州国際会議（福岡県）

Ogawa, R., Inoue, M., Uchihira, N., 2024. Enhancing Knowledge Sharing Workshops with Natural Language Processing in Maintenance Work, ITC-CSCC2024. 5 pages

開催日時：2024 年 7 月 2 日～5 日，場所：OIST（沖縄県）

-> 6 章に対応

Ogawa, R., Inoue, M., Uchihira, N., 2025. The Gen-Ba Knowledge Sharing Workshop Support System Using Large Language Models: Experimental Evaluation in a Plant Cultivation Workshop., ETLTC-ICEM2025 January Edition.

開催日時：2025 年 1 月 21 日 26 日，場所：会津大学 (福島県)

-> 7 章に対応

国内学会口頭発表論文（査読無）

小川陸, 井上杜太郎, 内平直志, 2023. 自然言語処理を活用した保守業務の知識共有支援システムの提案, in: IEICE Conferences Archives. Presented at the 電子情報通信学会 2023 年ソサエティ大会, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers. 1 page

開催日時：2023 年 9 月 12 日～15 日，場所：名古屋大学

-> 4 章に対応

小川陸, 井上杜太郎, 内平直志, 2023. 自然言語処理を活用した知識共有ワークショップの活性化支援-電気保安業務における音声つぶやきシステムの適用・

評価- 電子情報通信学会技術研究報告 123, 95-100.

開催日時:2023 年 11 月 16 日～11 月 18 日, 場所:那覇市 IT 創造館 (沖縄県)

-> 5 章に対応

謝辞

本論文を執筆するにあたり、多大なるご指導とご支援を賜りました多くの方々に、心より感謝申し上げます。

まず、内平直志教授には、研究計画書から修士論文の執筆に至るまで3年間に渡り多くのご助言と温かいご指導をいただいたき、自身の目標以上の学術成果を築くことができ、無事本研究を最後まで遂行することができました。改めて心より感謝申し上げます。また、本年度でご退官となることをお祝い申し上げます。

中間審査、最終審査にてご助言頂いた教授方へも感謝申し上げます。

本研究活動に関するシステムの開発をはじめ、ご助言いただいた井上杜太郎氏をはじめ、内平研究室の学生には、勉強会やゼミなど日頃から多くの刺激をいただき、活発な議論や貴重なアドバイスが、私の研究をより良いものにする大きな力となりました。井上氏には、在学中に投稿した学会論文のすべてに共著としてご協力いただきました。同じ研究室の皆様へ、同時期に卒業を迎えることができたことを、心より喜ばしく思います。内平研究室と同じ居室を共有する西村研究室には、主催する懇親会にも参加させていただき、より楽しい学生生活を送ることができました。感謝申し上げます。伊集院先生には、学会の発表練習に加え、日頃より温かく見守っていただき、日常生活の面でも大変お世話になりました。

さらに、北陸電気保安協会の保安作業者の皆様にご協力いただいた音声つぶやきシステムの試行により収集したデータは、本研究の遂行において重要な役割を果たしました。ご多忙の中、試行実験にご協力いただき、貴重なデータを提供してくださいました皆様へ心より感謝申し上げます。さらに、研究を進める中でデータ収集や実験にご協力いただいた JAIST 学生の皆様にも、この場を借りて深くお礼申し上げます。

最後に、これまで私を支え続けてくれた家族に御礼と感謝の意を表し謝辞とさせていただきます。本研究が少しでも学術の進展や社会の発展に貢献できれば幸いです。

令和7年3月

北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科

小川陸