

Title	人間の気づきと機械センサの統合による人間・機械協働型ナレッジマネジメント
Author(s)	井上, 杜太郎
Citation	
Issue Date	2025-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/19912
Rights	
Description	Supervisor: 内平 直志, 先端科学技術研究科, 博士

博士論文

人間の気づきと機械センサの統合による
人間・機械協働型ナレッジマネジメント

井上 杜太郎

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

While the rapid development of AI technology such as ChatGPT has been seen in recent years, its main application has been for office workers such as programmers, and it has not provided sufficient support for knowledge sharing and knowledge utilization in the field, where awareness, experience and judgment are important, which depend on situations such as maintenance, inspection, and agriculture and are difficult to be formalized (manualized). The support for knowledge sharing and knowledge utilization in the field, where awareness, experience and judgment are important, is not sufficiently provided. In this study, we define the knowledge possessed by workers in the field, especially the knowledge such as work tips and experiences that workers in the field have tacitly, as “Gen-Ba knowledge (Gen-Ba means the work field in Japanese)” and propose a method for collecting and utilizing this knowledge.

This research aims to realize knowledge management that utilizes Gen-Ba knowledge and ① to investigate the usefulness of human awareness by supporting knowledge sharing through the use of field workers’ awareness. ② Improving models and extracting knowledge through a knowledge management method that combines human awareness and machine sensors (physical device sensor), ③ we propose a knowledge management method that captures and utilizes Gen-Ba knowledge in a shared way by means of human awareness and machine sensors.

To achieve those purposes, ① the effectiveness of knowledge management utilizing human awareness was verified through the use of a smart voice messaging system to collect the awareness of the field workers in the engine department of a pelagic tuna long-line fishing boat, and through knowledge sharing with the onshore manager. ② Then, through a plant cultivation experiment in a planter, a prediction model integrating human awareness and sensor data was constructed, and its effectiveness was evaluated. ③ Based on these results, we proposed a new human-machine collaborative knowledge management method that integrates human awareness and machine sensors.

The following three points were identified as research results. First, we proposed a method for effective collection and sharing of Gen-Ba knowledge, and demonstrated its effectiveness through trials at actual sites. In particular, trials in the engine room of

a pelagic tuna longline fishing vessel showed that effective knowledge sharing with on-shore managers, who are temporally and spatially distant, is possible through knowledge sharing triggered by audio recordings of human noticing. Second, we showed that integrating data from human noticing and machine sensors enables the construction of more accurate prediction models. In a planta cultivation experiment, it was demonstrated that the addition of human awareness improved prediction accuracy in predicting soil moisture content compared to sensor data alone. Third, integrating these findings, we proposed a framework for human-machine collaborative knowledge management that can continuously collect and utilize Gen-Ba knowledge.

The significance of this study is that it focuses on the utilisation of Gen-Ba knowledge, which has not been sufficiently addressed in conventional knowledge management research, and presents a new approach based on the integration of human awareness and machine sensors. In particular, the proposed method shows academic novelty and practical knowledge, such as knowledge sharing in an environment with temporal and spatial constraints and the construction of a prediction model by integrating sensor data and human awareness. Future work will involve investigating the applicability of the proposed method to other fields and further pursuing methods for structuring and utilizing the collected knowledge.

This study shows a new direction for future knowledge management research in terms of the fusion of human knowledge and experience with the development of digital technology. In particular, it shows the feasibility of more practical and effective knowledge management by effectively combining technologies such as IoT and machine learning with human awareness.

Keywords: Knowledge Management, Smart Voice Messaging System, Gen-Ba Knowledge, Knowledge Sharing, Digital Knowledge Twin

概要

近年、ChatGPT に代表される AI 技術の急速な発展がみられる一方で、その主な活用はプログラマーなどオフィスワーカーを対象としており、保守点検や農業といった状況に依存し、形式知化（マニュアル化）が難しい現場の気づき、経験、判断が重要となる現場の知識共有や知識活用における支援は十分に行えていない。本研究では、現場の作業者が持つ知識、特に現場の作業者が暗黙的に持つ作業のコツや経験といった知識を「現場知識」と定義し、その収集と活用手法を提案する。

本研究では、現場知識を活用するナレッジマネジメントを実現することを目的として、①現場作業者の気づきを活用した知識共有支援の有用性の検討②現場作業者の気づきと機械センサ（物理的なデバイスによるセンサ）の統合による予測モデルの向上と知識抽出③人間の気づきと機械センサを組み合わせたナレッジマネジメント手法を通じて、現場知識を人間の気づきと機械センサによって捉え、共有活用するナレッジマネジメント手法を提案する。

上記の目的を達成するために、①遠洋マグロはえ縄漁船の機関部において、音声つぶやきシステムを用いて現場作業者の気づきを収集し、陸上の管理者との知識共有を通じて、人間の気づきを活用したナレッジマネジメントの有効性を検証した。続いて、②プランタでの植物栽培実験を通じて、人間の気づきとセンサデータを統合した予測モデルを構築し、その有効性を評価した。これらの結果を踏まえ、③人間の気づきと機械センサを統合した新しい人間・機械協働型のナレッジマネジメント手法を提案した。

研究成果として、以下の3点が明らかになった。第一に、現場知識の効果的な収集と共有を実現する手法を提案し、実際の現場での試行を通じてその有効性を実証した。特に、遠洋マグロはえ縄漁船の機関部における試行では、作業者の気づきを音声で記録し、それをトリガーとして知識共有を行うことで、時間的・空間的に離れた陸上管理者との効果的な知識共有が可能となることを示した。第二に、人間の気づきと機械センサのデータを統合することで、より精度の高い予測モデルの構築が可能であることを示した。プランタでの栽培実験では、土壌水分量の予測において、センサデータのみの場合と比べて、人間の気づきを加えることで予測精度が向上することを実証した。第三に、これらの知見を統合し、現場知識を継続的に収

集・活用できる人間・機械協働型のナレッジマネジメントの枠組みを提案した。

本研究の意義は、従来のナレッジマネジメント研究では十分に扱われてこなかった現場知識の活用に焦点を当て、人間の気づきと機械センサの統合による新しいアプローチを提示したことにある。特に、時間的・空間的な制約のある環境での知識共有や、センサデータと人間の気づきの統合による予測モデルの構築など、学術的に新規性があるとともに実践的な知見を示している。今後は、提案手法の他分野への適用可能性の検討や、収集した知識の構造化・活用方法の更なる追及が課題となる。

本研究は、デジタル技術の発展と人間の知識・経験の融合という観点から、今後のナレッジマネジメント研究における新たな方向性を示すものである。特に、IoTや機械学習などの技術と人間の気づきを効果的に組み合わせることで、より実践的で効果的なナレッジマネジメントの実現可能性を示唆している。

キーワード： ナレッジマネジメント，音声つぶやきシステム，現場知識，知識共有，デジタルナレッジツイン

目次

第1章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	3
1.3	リサーチクエスチョン	4
1.4	研究方法	5
1.5	論文構成	6
1.6	本論文で用いる用語の定義	8
第2章	先行研究調査	14
2.1	ナレッジマネジメントにおける知識	14
2.1.1	ナレッジマネジメントにおける知識の定義	15
2.1.2	知識の種類	16
2.2	ナレッジマネジメント	20
2.3	保守管理のナレッジマネジメント	23
2.4	自然言語処理及び AI	24
2.5	デジタルナレッジツイン	26
2.6	レジリエンスエンジニアリング	29
2.7	まとめ	31
第3章	音声つぶやきシステム	33
3.1	音声つぶやきシステムの概要	33
3.2	音声つぶやきシステムの実装	36
3.3	まとめ	40
第4章	音声つぶやきシステムによる船舶分野での気づき活用	41
4.1	はじめに	41
4.2	船舶機関部の現場の現状と機関部のナレッジマネジメント	41
4.3	提案手法及びシステム概要	43
4.4	試行評価概要	45

4.5	試行評価結果	47
4.5.1	音声つぶやきシステムによって収集した気づきメッセージ	47
4.5.2	ワークショップによる知識共有	49
4.5.3	気づきメッセージ評価の分析	51
4.5.4	気づきメッセージの具体例	52
4.5.4.1	ラインエースの劣化に関する気づきメッセージの例	53
4.5.4.2	不必要な予備品に関する気づきメッセージの例	54
4.6	考察	55
4.7	まとめ	56
第5章	機械センサデータと人間センサデータによる知識抽出	58
5.1	はじめに	58
5.2	農業におけるIoTの活用・DX推進	59
5.3	実験室実験概要	61
5.3.1	目的	61
5.3.2	実験環境	62
5.3.3	人間センサからの入力	62
5.3.4	機械センサからの入力	64
5.3.5	システム構成	64
5.4	予測モデルの構築方法	64
5.5	実験結果	65
5.6	まとめ	69
第6章	人間の気づきと機械センサデータによる人間・機械協働型ナレッジマネジメント	72
6.1	知識構造化手法	72
6.2	人間・機械協働型ナレッジマネジメント	74
6.3	既存の事例に基づく説明	77
6.3.1	気づきメッセージの収集	79
6.3.2	気づきメッセージワークショップ	81
6.3.2.1	ワークショップ準備	81
6.3.2.2	ワークショップにおけるディスカッション	82
6.3.3	現場知識の本事例における例	83

6.3.4	知識の運用と更新	85
6.4	考察	85
6.4.1	Work-As-Done を高めるナレッジマネジメントの実現	86
6.4.2	現場知識を継続的に収集し活用するナレッジマネジメント	86
6.4.3	人間センサと機械センサの統合によるナレッジマネジメント	87
6.5	まとめ	88
第7章	考察	89
7.1	人間の気づき及び気づきメッセージ活用の分類	89
7.1.1	背景知識が共有されている状況下でのベテランからの知識共有支援 [4章のケース]	92
7.1.2	人間センサとしての活用 [5章のケース]	92
7.1.3	背景知識が十分に共有されていない状況での知識共有 [6章のケース]	93
7.1.4	準リアルタイムでの知識共有	94
7.2	人間のセンサ, 人間モニタの限界と機械センサ統合による改善と補完	95
7.2.1	人間の気づき活用	96
7.2.2	人間センサ	99
7.2.3	人間モニタ	101
7.2.4	機械センサによる人間の気づきの補完と支援	105
7.2.4.1	人間センサにおける機械センサによる補完と支援	105
7.2.4.2	人間モニタにおける機械センサによる補完と支援	105
7.3	デジタルナレッジツインへの貢献	106
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に対する回答	110
8.3	理論的含意	112
8.3.1	人間の気づきをトリガーとしたナレッジマネジメント	113
8.3.2	人間の気づきと機械センサデータを用いた予測モデルの構築手法の提案	113

8.3.3	人間の気づきとセンサデータを用いたナレッジマネジメント 手法の提案	114
8.4	実務的含意	114
8.4.1	気づきメッセージの保守点検・農業の現場での活用	115
8.4.2	人間の気づきと機械センサの統合によるナレッジマネジメント	115
8.5	本研究の限界	116
8.6	将来研究への示唆	117

目次

1.1 本博士論文の構成	8
1.2 DIKW model	9
1.3 人間センサと人間モニタ	12
2.1 再考された DIKW モデル	17
2.2 知識の氷山モデル	18
2.3 SECI モデル	22
2.4 デジタルツインモデル	27
2.5 Human Centric Digital Twin コンセプト (知識構築時)	28
2.6 Human Centric Digital Twin コンセプト (知識活用時)	29
3.1 PC 版音声つぶやきシステム	37
3.2 スマートフォン版音声つぶやきシステム	38
3.3 音声つぶやきシステム構成	40
4.1 機関部業務の流れ	43
4.2 人間の気づきを活用した機関業務ナレッジマネジメントの提案手法及びシステム概要	44
4.3 開発丸前面	46
4.4 提案手法の概念モデル	57
5.1 IoE を活用した農業ナレッジマネジメント	61
5.2 気づきメッセージの例と人間センサからの入力	63
5.3 機械センサの実装	65
5.4 試行評価に用いたシステム構成	66
5.5 実験室実験の様子	67
5.6 試行評価の流れ	68
5.7 SHAP を用いた人間センサモデルの可視化	70
6.1 CHARM	74
6.2 HCDT 実装コンセプト	76
6.3 HCDT 実装コンセプトにおける知識追加, 更新のフロー	77
6.4 植物栽培時に用いるセンサ	78

6.5	気づきメッセージ報告書の事例	80
6.6	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	82
6.7	ワークショップでの議論を元に構築されたバジル栽培の構造化知識	84
6.8	構造化知識に対応する詳細	84
7.1	人間センサと人間モニタ（再掲）	95
7.2	作業概念の形成プロセス	104
7.3	Human Centric Digital Twin コンセプト（知識構築時） 再掲	107
8.1	提案手法の概念モデル（再掲）	111

表目次

1.1 MABA-MABA リストの一部抜粋	3
2.1 研究のポイントと先行研究との関係	32
3.1 必要な機能及び他アプリケーションとの比較	35
3.2 開発した音声つぶやきシステムの機能	39
4.1 試行対象の船舶概要	45
4.2 試行評価概要	46
4.3 気づきメッセージ対象機器	48
4.4 気づきメッセージ配管系統別	49
4.5 ワークショップ概要	50
4.6 工務監督による現場知識の「トリガー」評価	50
4.7 機器別「トリガー」評価	51
5.1 本実験の実施環境	62
5.2 天候データのダミー化	65
5.3 予測モデル構築に使用した変数	66
5.4 人間センサの日照強度・土壌表面・土の感触の評価尺度	69
5.5 予測モデルの評価	69
5.6 モデル構築に用いたハイパーパラメータ	70
6.1 仮想事例概要	78
7.1 気づきメッセージの活用と有効性	90
7.2 音声つぶやきシステムを活用した試行とその試行における気づきメッセージ数	99
7.3 MABA-MABA リストの一部抜粋（再掲）	101
7.4 デジタルナレッジツインへの貢献	108

第 1 章 序論

1.1 研究背景

本研究では、人間の気づきを活用したナレッジマネジメントとそれを昇華させ、IoT によって収集できる機械センサのデータと人間の気づきを組み合わせたナレッジマネジメントについて検討し、提案する。「気づき」とは、作業現場において、作業者が五感を通じて現場で感じたこと、考えたこととする。

近年、生成系 AI に代表されるような AI やデジタル技術の発展が著しい一方で、現場での判断や熟練の技によって支えられている業務も多く存在する。AI の代替可能業務の調査によれば、事務作業や一部のデスクワークでの業務は代替可能性のある程度高いとされている一方で、設計など人間の創造性が重視される業務、サービスなどの対人業務、保守点検など現場で主体的に考え、行動するような業務においては、AI による代替可能性が低いことが指摘されている (Frey and Osborne, 2017)。

しかし、AI による代替性の低い業務でありながら、少子高齢化による人手不足や、ベテランの引退による知識継承は大きな課題であり、AI や自然言語処理を活用した非構造化データの検索や知識の構造化、機械センサデータと人間の気づきの融合といった取り組みは、今後必須と考えられる。本研究が現場として調査を行う農業・水産業といった現場においては、汚れ作業であったり、作業時に両手を使う必要あり、デジタル端末を現場で操作することが困難であったり、通信環境といった問題から、先に上げたようなデジタル技術を、デスクワークのように自由に活用することができない場合が多い。

調査フィールドの一つとして選定した海運・水産の分野においては、熟練者の高齢化が進行する一方で、若手を育成する難しさに直面している。西井ら (2014) は船乗りが一人前になるのに必要な時間についてアンケート調査を行ったところ、最低でも 5 年はかかると指摘している。加えて、その理由として、単純な仕事の習

熟以外にも役職・立場、タイミングによって体験できる業務の違いなどを挙げている。

この事例が示すように、若手から、一人前と呼ばれるような自立した熟練者として育成するまでには、メンテナンスなどイベントや運転時間に基づく業務において、定期的実施される点検や直接体験しないと理解できないような体験などを経る必要がある。本人の努力や素質といった部分のみでは困難なことも多く、現場での体験を代替する形で、同僚や先輩の体験を聞くことによるストーリーテリング (Swap et al., 2001) による知識継承が行われることも多い。しかし、この手法による知識継承では、その現場、組織ごとの在り方に強く依存し、効果的に知識継承を行うことは現状困難である。

コンピュータによって周囲の状況を認識する取り組みとして、Context-aware Computing (Schilit et al., 1994; Dey, 2001) が取り組まれてきた。しかしながら、コンピュータへの入力インターフェースとしての機械センサの限界があるのではないかと考えられる。カメラやサーモグラフィのような映し出された空間を捉える機械センサも一部には存在するが、基本的にはその機械センサの触れているその一点だけを捉えることのみができる。このことは、センサ機械はその一点しか捉えることができず、その周りの状態を十分には取得することはできないともいえる。例えば、水槽に水温センサを設置するときを考えた場合、その水槽の上部に設置するか、下部に設置するか、それによって得られる温度は大きく変化してしまう。一方で、人間の五感は信頼性が低くとも、幅広く、その前後を見渡し、感じ取ることができる。

Fitts (1951) は航空管制について調査を行った報告書の中で、機能の中で人間が行うべきか、機械が行うべきか調査を行った。それらの機能は Dekker and Woods (2002) によってまとめ直された後、Men-Are-Better-At/Machines-Are-Better-At (MABA-MABA) リストとして紹介され、広く知られるようになっていく (表 1.1)。人間は全体を認識し、センサとは違った視点で、状況に応じて広く、または深く物事を見ることができる。これはシステムに関するものであるが、人間とセンサにも同様の関係があると考えられ、これらを適切に活かせるナレッジマネジメントがデジタル時代においては有益だと考えられる。そこで、本研究では、人間の気づきの有用性を検証した上で、人間の気づきと機械センサをベースとした人間機械協働型ナレッジマネジメントについて提案を行う。

メンテナンスや農業の分野においては、常に想定外の事態が付き纏う。例えば、農業は天候に強く依存すると言われていたが、気温が 35 度を超える真夏日の日数は長期的に見ても増加傾向にあり、以前の気象状態とは異なった環境で耕作を行わなければならない状況になりつつある。また、メンテナンスは AI に代替されにくい業務の一つと考えられる。技能・知識の伝承について研究を行っている森 (2020) は、製造業において、最後の最後まで、熟練技能が残る部分として、新たな知識を創造する「研究開発」と経験を必要とする「機械のメンテナンス」を上げている。

表 1.1: MABA-MABA リストの一部抜粋
(Fitts, 1951; Dekker and Woods, 2002) を参考に作成

	機械	人間
速度	非常に速い	比較的遅い
出力	レベルの大きさ、一貫性優秀	比較的弱く、持続性も弱い
堅牢性	変化のない反復運動向き	疲労を起こす
情報処理能力	多重チャンネル動作可能、高速	主に単一チャンネル、低速
記憶容量	逐次再生の場合、極めて大	原則や戦略には向く
推論計算	演繹的	帰納的

これらを踏まえ、本研究では人間の気づきや経験といったものを活かすナレッジマネジメント、さらにそれを拡張し、機械センサとの組み合わせによるナレッジマネジメントの実現を探求する。

1.2 研究目的

本研究の目的は、作業者の持っている現場知識を収集し活用する手法、機械センサと人間の気づきの統合による知識抽出、知識共有を支援するナレッジマネジメントとそれを支援するナレッジマネジメントツールを提案することである。

具体的には、以下の 3 つを目的とする。

本研究の目的

- ①現場作業者の気づきを収集・活用する手法を提案し、その有効性を検証する。これにより、状況に依存し形式知化が困難な「現場知識」を、時間的・空間的な制約を超えて、共有可能にする。
- ②現場作業者の気づきと機械センサを統合した知識抽出手法を提案する。これにより、人間の五感による観察と機械センサによる定量的データを組み合わせ、より高度な予測と知識抽出を実現する。
- ③上記の取り組みを統合し、人間の気づきと機械センサを組み合わせた人間・機械協働型のナレッジマネジメント手法を提案する。これにより、現場知識を継続的に収集・活用・更新できる実践的なナレッジマネジメントの実現を目指す。

本研究は、従来のナレッジマネジメント研究では十分に扱われてこなかった現場知識の活用に焦点を当て、人間の気づきと機械センサの統合による新しいアプローチを提示する点に意義がある。特に、メンテナンスや農業など作業者の経験や判断が重要となる分野における知識共有・活用を通じて検証する。

1.3 リサーチクエスチョン

本研究では以下の問いを明らかにする。本研究における「気づきメッセージ」とは、作業者の現場での「気づき」とその気づきに基づく解釈を、言葉や写真によって表出化したものである。

機械センサと人間の気づきの統合の実現手法と、その統合によって得られた知見を活用するナレッジマネジメント手法において検討する。そこで、下記の MRQ と SRQ を設定した。

MRQ: 人間の気づきと機械センサの統合による人間・機械協働型ナレッジマネジ

メントシステムは、どのように現場知識を収集し、知識共有を支援できるか？

SRQ1: 現場で収集した人間の気づきをトリガーとして、どのように現場知識を共有できるか？

SRQ2: 人間の気づきと機械センサを統合することで、どのような現場知識を引き出すことができるか？

SRQ3: 人間の気づきと機械センサの統合による人間・機械協働型ナレッジマネジメントシステムは、どのような仕組みになるか？

1.4 研究方法

設定したリサーチクエスチョンに回答するため、個別に対応した試行、検討を行うことで研究を進める。実際の現場において、機械センサと人間センサを併用したナレッジマネジメントを試行・検証することは困難であると考えられる。そこで、本研究では、人間センサによる気づきの有効性を、船舶機関部の事例をもとに検証した上で、機械センサと人間センサの併用について、プラントでの実験を通じて検証する。その後、それらの結果を統合した上で、人間センサと機械センサを統合したナレッジマネジメントについて提案する。

1. 船舶機関部における音声つぶやきシステムを活用した気づきの収集と評価 [SRQ1 に対応]

実際の遠洋マグロはえ縄漁船の機関部において、音声つぶやきシステムを活用して、気づきメッセージを収集し、得られた気づきメッセージを、陸上の船舶管理者への知識共有を通じて、人間の気づきを活用したナレッジマネジメントについて検討を行う。検証、分析に関しては4章にて取り扱う。

2. 人間センサデータと機械センサデータの融合と評価 [SRQ2 に対応]

人間センサと機械センサの融合といった新たな試みに対して、プラントによる植物栽培を通じて、人間の気づきとセンサデータを記録する。そのデータを用いて、一定時間後の土壌水分量を予測することで、その有効性を評価する。

5] 章にて取り扱う。

3. 人間・機械協働型ナレッジマネジメント手法の提案 [SRQ3 に対応]

SRQ1 にて人間の気づきを活用したナレッジマネジメント，SRQ2 にて人間の気づき（人間センサ）と機械センサの統合による予測モデル構築を行った。それぞれの試行評価の結果を踏まえ，人間・機械協働型のナレッジマネジメントモデルを構築・提案する。さらに，提案手法をバジル栽培の事例を用いて，事例による説明する。6 章にて取り扱う。

1.5 論文構成

本論文では，音声つぶやきシステムの実装（3 章）現場主体のナレッジマネジメントを実現する手法として，人間の気づきの基本となる気づきメッセージの活用による現場知識の共有，人間センサと機械センサの組み合わせによる知識抽出を経て，これらを土台として，人間センサと機械センサの統合による人間機械協働型のナレッジマネジメントの提案を行う。以下に本博士論文の構成を示す（図.1.1）。

本研究の人間の気づき及び，人間の気づきと機械センサの両方を活用する手法は他研究ではあまり見られず，一般的な手法とは言えない。そこで，人間の気づき（人間センサ+人間モニタ）の有用性及びそれぞれ組み合わせた場合の有用性に言及した上で，人間の気づきと機械センサを統合したナレッジマネジメント手法について提案する。

第 1 章 はじめに

本研究の背景，研究目的，リサーチクエスチョンの設定，本論文で用いる用語の定義について，研究方法について記述する。また，本論文の論文構成を示す。

第 2 章 先行研究調査

本研究と関連する研究であるナレッジマネジメント，人間中心のデジタルツイン（デジタルナレッジツイン）を軸に調査を行い，関連する研究を整理する。

第3章 音声つぶやきシステム

本研究において、人間センサを実現する実装として、音声つぶやきシステムを用いる。本システムの概要及び、新規開発した部分において記述する。

第4章 音声つぶやきシステムによる船舶分野での気づき活用

人間の気づきを収集し、活用するナレッジマネジメントについて行った試行について記述する。人間モニタの有用性を検証するため、実際の船舶において、現場の気づきを収集し、気づきメッセージを基にした知識共有ワークショップを行った。これにより、時空間が離れた環境における気づきメッセージをトリガーとした現場知識の共有手法、及びそのモデルを示した。

第5章 機械センサデータと人間センサデータによる知識抽出

本論文の主要コンセプトである、機械センサと人間センサの統合によるナレッジマネジメントを実現するための第一段階として、植物プランタでカブの栽培を行い、土壌の状態をセンサと人間の気づきによって記録し、予測モデルを構築した。

第6章 人間の気づきと機械センサデータによる人間・機械協働型ナレッジマネジメント

4章、5章で検証した人間モニタ及び人間センサと機械センサの組み合わせの有効性から、これらを活用した人間・機械協働型ナレッジマネジメントのコンセプトを提案する。

第7章 考察

本研究によって得られた知見を先行研究と照らし合わせ、差分や新たな知見を明らかにする。特に、本論文を通じて取り扱いを行ってきた人間の気づきについて議論する。

第8章 まとめ

リサーチクエスチョンに回答し、本研究の学術的含意、実務的含意に言及する。その後、本研究の限界、将来的研究への示唆を記述する。

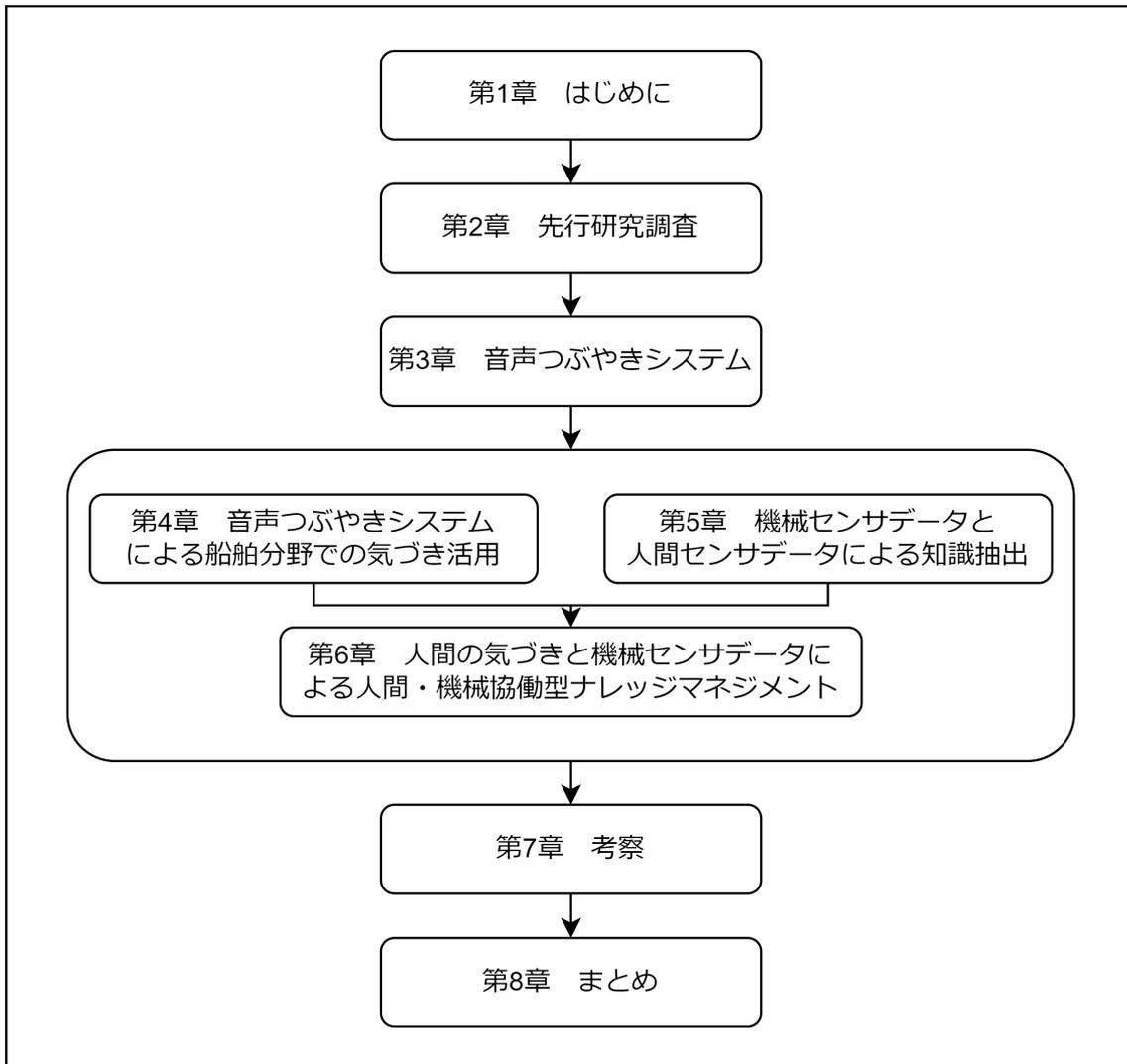


図 1.1: 本博士論文の構成

1.6 本論文で用いる用語の定義

本論文で用いる用語の定義を以下に示す。まず、本論文は知識を取り扱うため、知識を組織内で共有する知識共有が立脚する上で重要となる情報、データに関して整理を行う。

知識及び近接する情報、データなどの概念の整理

基本的には Ackoff (1989) 及びその概念を基礎として, Rowley (2007) によって提案された DIKW モデルに基づいて取り扱う¹⁾. ただし, Wisdom については, 十分な検討が行われていないなどの指摘 (Rowley, 2007) に加え, 本論文において新たに言及することがないため本論文では取り扱わない. しかし, Ackoff (1989) がデータ・情報・知識のピラミッド階層であることを明らかにし, その関係を示したことは重要である. Rowley (2007) を元に本研究におけるデータ, 情報, 知識の定義を以下に定める.

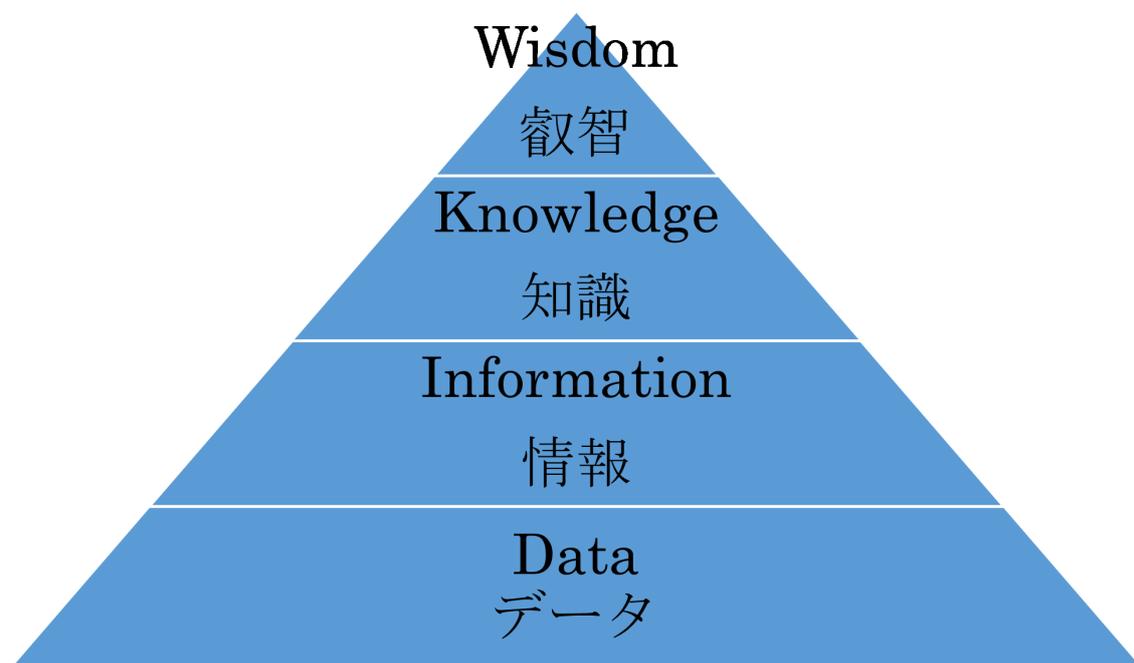


図 1.2: DIKW model

Rowley (2007) の図を元に著者作成

データ

DIKW ピラミッドにおける最小の断片である. 本研究では, 物事や事象, 環境の特性を表す記号であり, 観察によって得られるものである. 利用可能な (すなわち

1) Ackoff 自体は, Data, Information, Knowledge, Understanding を経て Wisdom へと至ると指摘しているが, 後述する文献による DIKW モデル (図 1.2) においては, Understanding に対して言及されていることはほとんどない

関連性のある) 形になるまでは価値を持たない。データと情報の違いは構造的なものではなく、機能的なものとする。

情報

誰が、何を、いつ、どのように、といった問いに対する記述や回答に含まれるものである。情報システムはデータを生成、保存、取得、処理する。情報はデータから推論される。

知識

知識の定義は古くから試みられてきており、その中には、一般的定義と実務的定義が存在する。前者の定義的視座において、西洋哲学の中では、プラトンの定義による「正当化された真なる信念 (Justify True Belief: JTB)」が長らく用いられてきた。しかし、Gettier (1963) がゲティア問題として、JTB の反証を示したことで、一般的な知識の定義は未だ定まっていないと言える。本研究では、Davenport et al. (1998) も参考としつつ、知識の定義を経験、コンテキスト、ノウハウ、解釈及び省察と組み合わせられた情報とする。

暗黙知

野中・竹内(1996)は「個人的なものであり、特定の文脈に依存し、感情と密接に結びついている。(中略)明確に言葉にしたり、人に伝えたりするのが難しい。個人の行動や身体的な経験のほか、主観的な直観、理想に深く根差した知識 (p.50)」としている。ここでは森 (2020) の定義を流用し、「表現が困難で、記述しにくい知 (p.73)」と定義する。

形式知

野中・竹内(1996)の定義では「容易に文章化し、計量化し、一般化できる。言葉や、数字や、データや、絵や、公式や、マニュアルとして表現することも、定式化された言語で伝達することも可能な、客観的、合理的な知識 (p.50)」とされている。ここでは、森 (2020) の定義を流用し、「表現が容易で言葉で記述できる知 (p.73)」と定義する。

現場知識

Uchihira et al. (2023) の定義を援用し、現場であれば簡単に表出化を行うことが

できるが、現場とは離れた場所において、表出化が困難な知識のこと。現場知識は暗黙知と形式知の中間に位置する知識であり、表出化する前は暗黙知に属し、表出化された後は形式知として取り扱うこともできる。

ナレッジマネジメント

主に Ruggles (1996) の定義した「創造・解釈・移転の3つの主要な知識活動を担うもの (p.1)」とする。ただし、本論文では、知識創造については深く掘り下げない。

ナレッジマネジメントツール

ソフトウェアを含むナレッジマネジメントを行うために必要な道具のこと (Gold et al., 2001)。

ナレッジマネジメントシステム

ナレッジマネジメントツールの中で、ソフトウェアに該当する部分及びもの。

知識共有

ナレッジマネジメントの3つの知識活動の一つであり、組織内で知識を共有すること。

知識抽出

個人の中に存在する暗黙知を形式知化すること。野中・竹内 (1996) の SECI モデルにおける表出化に該当するプロセス。

機械センサ及び機械センサデータ

本論文では、デジタルもしくは AD コンバータなどを用いてアナログ入力からデジタルデータに変換可能なセンサのことを機械センサとする。例えば温度センサなどは抵抗値の変動によるアナログ出力だが、AD コンバータにより、数値データとして取得できる。また、そのセンサから得られた生のデータを機械センサデータとする。

機械モニタ及び機械モニタデータ

本論文では、先の機械センサから得られた生データを機械学習などのモデルやキャリブレーションなどを行い、得られたデータのことを機械モニタデータとする。そのデータ取得部全体を機械モニタとする。

人間の気づき

本論文では、現場の状態や現場固有の知識である現場知識にアクセスする手段として、人間の気づきを活用している。一方で、人間の気づきは、音声つぶやきシステム研究の中で Uchihira et al. (2013, 2023) などによって、取り扱われてきたがユニークな概念であり、改めて整理し、Uchihira et al. (2023) の定義を参考に人間センサと人間モニタ、及び関連する概念を以下のように定義する。

Uchihira et al. (2023) による定義を参考に、人間センサ、人間モニタを図示すると図 1.3 のように表せる。

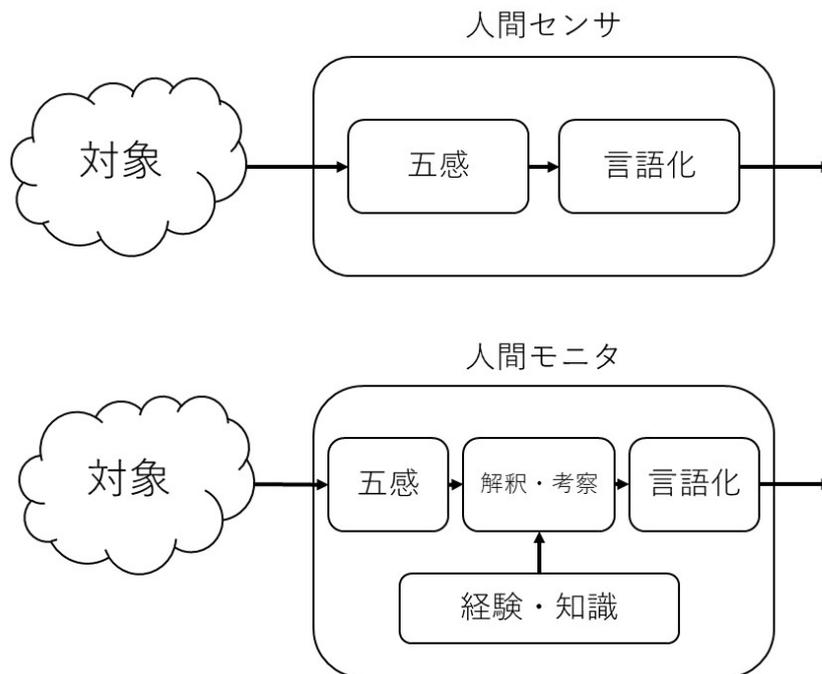


図 1.3: 人間センサと人間モニタ
(Uchihira et al., 2023) を参考に著者作成

人間センサ及び人間センサデータ

観察対象を人間の五感から得られた気づきを元に、可能な限りそのまま言語化され出力されたメッセージ（音声または写真）を人間センサデータと定義し、その仕組み全体を人間センサとする。

人間モニタ及び人間モニタデータ

観察対象を人間の五感から得られた気づきを元に経験や知識を元に解釈、考察を経て、言語化され出力されたメッセージ（音声または写真）を人間モニタデータとし、その仕組み全体を人間モニタとする。

人間の気づき

本論文では、現場での気づきとその気づきをきっかけとした、試行、行動及びその言語化の一連の行動、仕組みのこととする。人間センサ、人間モニタを統括した名称として取り扱う。

気づきメッセージ

作業者の現場での「気づき」とその気づきに基づく解釈を、言葉や写真によって表出化したもの。言葉は多くの場合、その場で音声にて記録される。写真も撮影対象やタイミング、撮影方法によって、作業者の意図と考えが挿入され、メッセージ化される。本研究においては、気づきメッセージは、人間センサデータ同様、後述する音声つぶやきシステムによって収集される。また、気づきメッセージは、5章においては、人間モニタ、4章、6章においては、先に定義した人間モニタの出力として取り扱う。

第2章 先行研究調査

本章では、ナレッジマネジメント、及びその中でも知識共有に関連するものや、本研究で着目する暗黙知のナレッジマネジメント、農業や保守現場におけるナレッジマネジメント、自然言語及び、自然言語に係る生成 AI などの分野に関して調査する。

2.1 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を語る上で、知識の概念に関する整理を行う必要がある。西洋哲学では、古来より知識を「正当化された真なる信念 (Justify True Belief: JTB)」として、定義してきた。これは合理的根拠に基づき、正しいと考えられる信念であり、単なる意見や憶測ではなく、証拠や理論的な推論によって裏付けられた確かな知識とされてきた。しかし、Gettier (1963) がゲティア問題として、JTB の反証を示したことで、一般的な知識の定義は未だ定まっていない。

決定論的な知識の定義は定まっていないものの、ナレッジマネジメントの観点から、いくつかの実用的な知識の定義は試みられてきた (例「知識とは、経験、コンテキスト、解釈及び省察と組み合わせられた情報である (Davenport et al., 1998, p. 43)」)。

ナレッジマネジメントを追求するにあたり、知識そのものの定義を厳密に定義する必要がないといった指摘もある。ナレッジマネジメントについて調査を行った Alavi and Leidner (2001) は、ナレッジベースドビューの観点から、知識の定義は決定要因でなく、組織の知識を管理することに対する研究者や実務家の関心を喚起するものでもないと述べている。そのため、ここではナレッジマネジメントにおける知識の定義、ナレッジマネジメントにおいて取り扱われる知識の形態について議論する。

2.1.1 ナレッジマネジメントにおける知識の定義

知識の定義は、先に述べたように、哲学的視点からの定義は非常に困難であり、統一した見解を得ることはできていない。実務的視点から知識の定義を試みた Davenport and Prusak (1998) は、以下のような定義を試みている。

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り合ったもので、新しい経験や情報を評価して組み込むためのフレームワークを提供する。それは、知っている者の頭の中で生まれ、応用される。組織では、多くの場合、ドキュメントやリポジトリだけでなく、組織のルーチン、プロセス、実践、規範にも組み込まれる。(p. 4)

この定義では、知識は単純なものでなく、複数の要素が絡み合った混合流体のようなものであることを示しており、知識は個人の頭の中で生み出され活用される。加えて組織の中でも知識が保持され、運用されることも的確に表している。

ナレッジマネジメントを IT システムの分野から扱う場面において、暗黙的に図 1.2 に示すような Ackoff (1989) が提唱した DIKW(Data, Information, Knowledge, Wisdom) ピラミッドをベースで述べられることが多いとされる (Rowley, 2007)。Ackoff (1989) は、DIKW の中で、Data, Information, Knowledge から Wisdom に至る過程で、Understanding があることを示しており、他の DIKW ピラミッドとは正確には異なる。Wisdom については、定義づけが困難であることが指摘されており (Rowley, 2007)、本論文では触れない。

Rowley (2007) は、知識はノウハウであり、情報を命令に変換可能にするもので、知識はそれを持つ他者から伝授されるか、指示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得られるとしている。Ackoff (1989, p. 4) は、知識を「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。」と断言している。

また、情報と比較した上での知識の定義として、いくつかの視点から定義が試みられている。Vance (1997) は知識を「承認され、真実であると考えられている情報 (p.1)」と定義している。情報やデータを比較しながら、知識の定義を試みる手法の

多くは、IT システムの視点に立った文献から見られるものである。Bouthillier and Shearer (2002) は、ナレッジマネジメントと情報マネジメントの違いを理解するには「知識」と「情報」を区別することが重要であると指摘している。Fahey and Prusak (1998) は、もし知識がデータや情報と異なるものではないなら、ナレッジマネジメントには新しさや面白さがないと述べている。実際、ナレッジマネジメントシステムと情報マネジメントシステムの違いについて、特段明確にされているわけではなく、IT システムの視座にたったナレッジマネジメントシステムでは、情報マネジメントシステムと異なる技術が開発・活用されているわけではなく、情報マネジメントシステムはナレッジマネジメントシステムのサブシステムとなっている。

DIKW ピラミッドが示す構成によると、一番小さな断片であるデータを基盤に情報、知識、叡智 (Wisdom) の定義を試みている。言い換えれば、知識は情報に基づき、情報は多くのデータを基盤にして存在していると理解できる。DIKW ピラミッドの構成に対する批判として、データに基づく知識もあれば、ビッグデータ時代においては、数多くのデータが多く存在し、情報や知識に結び付かないデータも無数に存在する。Van Meter (2020) は、DIKW ピラミッドを再考し、従来とは異なる DIKW モデルを提案している (図 2.1)。

2.1.2 知識の種類

Polanyi (1966) は「われわれは語れる以上に多くのことを知っている」と指摘し、人間の知識は暗黙知と形式知に分けられ、言葉に表現できる知識の下に、土台となる言葉に表現することが困難な多くの知識があることを示した。Nonaka and Konno (1998) は Polanyi (1966) の暗黙知と形式知のコンセプトをベースに、ナレッジマネジメントにおける暗黙知と形式知の定義を以下のように再定義した。

暗黙知：「個人的なものであり、特定の文脈に依存し、感情と密接に結びついている。(中略) 明確に言葉にしたり、人に伝えたりするのが難しい。個人の行動や身体的な経験のほか、主観的な直観、理想に深く根差した知識 (p.50)」

形式知：「容易に文章化し、計量化し、一般化できる。言葉や、数字や、データや、絵や、公式や、マニュアルとして表現することも、定式化された言語で伝達することも可能な、客観的、合理的な知識 (p.50)」

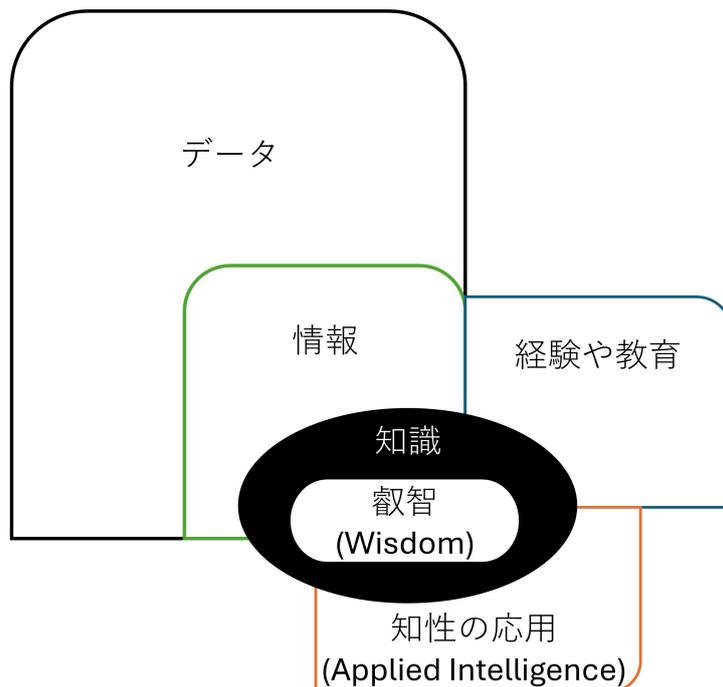


図 2.1: 再考された DIKW モデル
(Van Meter, 2020) を参考に著者作成

加えて、これらの暗黙知と形式知の関係はそれぞれが繋がりながら別の側面を表していることから、氷山のメタファー¹⁾によって説明されている (図 2.2)。

また、暗黙知や形式知といった区分とは別に、Mokyr (2019) は、Kuznets (1965) が近代の経済成長の源泉を語る際に用いた有用な知識の概念を拡張し、人工物、材料、エネルギー、生物など、潜在的な操作可能性を有する自然現象を取り扱う知識を有用な知識と定義した。有用な知識には、 Ω 型と λ 型の知識があると Mokyr (2019) は指摘し、前者は自然現象や自然に関わる命題的知識、後者を指図的知識 (テクニック) と定義した。ナレッジマネジメントが対象とする知識は一般的に入型の知識と考えられる。

Al-Hawamdeh (2002) はナレッジマネジメントが取り扱う知識の形態として、①形式知 (information)、②「ノウハウ」または暗黙知 (情報として獲得・コード化できるもの)、③暗黙知 (情報として獲得・コード化できないもの) があると分類し

1) 氷山モデル (図 2.2) は他の文脈、例えば異文化理解 (Hall, 1976) などでも用いられることがある

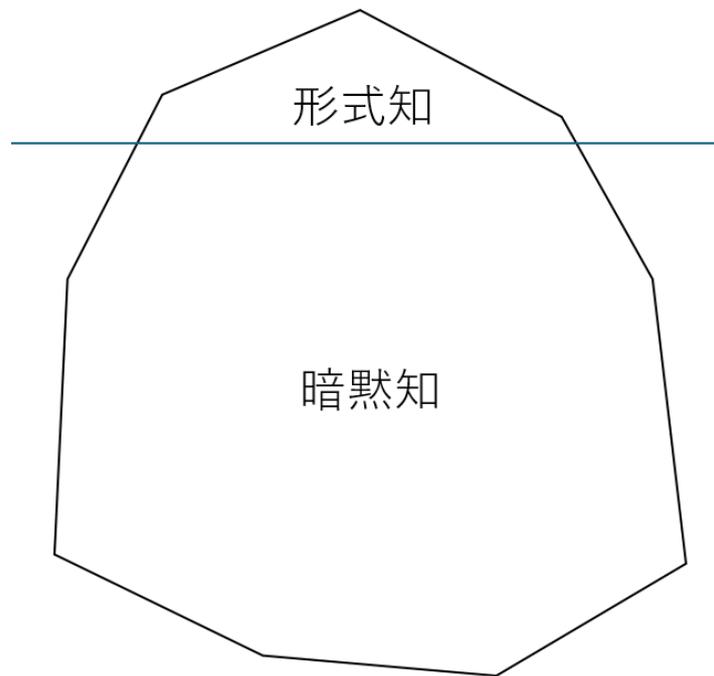


図 2.2: 知識の冰山モデル

ている²⁾。森 (2020) はより実用的な定義として暗黙知を「表現が困難で、記述しにくい知」、形式知を「表現が容易で、言葉で記述できる知」と定義している。

加えて、それぞれの形態として様々な知識の定義が試みられている。代表的なものであれば、身体知 (古川ら, 2005; 諏訪, 2005) などが挙げられる。Uchihira et al. (2023) は現場における知識共有に再度着目し、知識はそれぞれのコンテキストに依存することを背景として、「現場知識」を現場や作業中であれば比較的容易に表出化できるが、現場から離れると表出化が困難な知識として定義した。Uchihira et al. (2023) が定義した「現場知識」は、Al-Hawamdeh (2002) の定義した「ノウハウ」または形式知 (情報として獲得・コード化可能なもの) の一形態と考えられる。

暗黙知は Polanyi (1966) が提唱して以来、ナレッジマネジメントの文脈において、どのように取り扱うかについて、大きな関心が寄せられてきた (Garavan et al., 2014)。暗黙知の効果的な活用が価値を生み出し、財務業績を向上させるという説得力のある証拠がある (Fletcher and Harris, 2012)。このことは暗黙知が競争優位の源泉となりうることを示唆しており、暗黙知がどのように交換され、共有され、従

2) ②における暗黙知を原文では implicit knowledge, ③における暗黙知を tacit knowledge と表現している。

業員によって獲得されるかを理解することに組織の焦点が当てられている。

形式知に関しては比較的定義が定まっているのに対し、暗黙知に関しては、心理学、経済学、マネジメントなど様々な分野からの定義の試みが行われている (Muñoz et al., 2015)。例えば Sternberg et al. (1995) は暗黙知の特徴として、①実践の有用性が高いこと②手続き的構造を持つこと③知識の習得に対する環境的な支援が低いことを上げている。また森 (2020, p. 80) は暗黙知を現場の技術・技能の潜在的な基盤と捉え、以下の4種類に細分化した。

1. 判断型暗黙知

質的判断（判定）を行い、環境・状況・自体を診断し推測し予測するものである。判定の対象とする内容は幅が広い。対象物の状況や事態がどのような状態になっているかを判定するものである。対象の観察ポイントの設定、状況把握、それらの集合としての判定が内容となる。特に質的判断の良否のボーダーラインに関する事柄は最も重要である。いわゆるグレーゾーンを扱う。

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である。質的判断と比較すると容易のように受け取られがちであるが、決して容易ではない。微妙な把握、調整の基準の確立が求められる。

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である。感覚の表現には難しいものがある。色や振動、音、表面粗さなどは数値化も困難である。

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である。手続き型暗黙知は企画や設計、管理、コンピュータを使用する業務などがこれに属する。何を見て、どう判断したか、なぜそうするかなどが理解の鍵となる。

本研究が対象とする保守点検作業においては、主に1と4の暗黙知が対象となる。2の感覚型の暗黙知は、共有が困難なものが多くある一方で、1の判断型、4の手続き型は、その暗黙知が活用される現場（コンテキスト）であれば表出化しやすいと考える。

前掲した Uchihira et al. (2023) の提唱した「現場知識」が、暗黙知のどの形態に入るか議論の余地があるが、恐らく、Al-Hawamdeh (2002) のいう変換可能な暗黙知に該当すると考えられる。Polanyi のいう真の意味での暗黙知は交換不能であることから、ナレッジマネジメントを通じて取り扱うべきは交換可能な暗黙知であろう。

2.2 ナレッジマネジメント

従来から企業や組織における、知識の共有・移転・継承・活用手法としてナレッジマネジメントの取り組みは広く行われており、どのように組織で実装するかについて、多くの研究が行われてきた (Greiner et al., 2007)。野中・紺野 (2003) は、ナレッジマネジメントの目的として、「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するもの」といった2つがあることを指摘している。

Ruggles (1996) は、知識を「コンテキスト、情報、数値、経験、規則が流動的に混ざり合ったもの」と定義した上で、ナレッジマネジメントを創造・解釈・移転の3つの主要な知識活動を担うもの、それらを支援する IT システムを含む仕組みを、ナレッジマネジメントツールと定義している。また Myers (2014) は、トートロジーを避けたナレッジマネジメントの定義として、「ナレッジマネジメントとは、目的達成を支援するために、文脈化された情報、専門知識、その他知的資産を取得し、作成し、体系化し、共有し、利用するための正式なアプローチである。(p.30)」と定義している。

近年のナレッジマネジメントでは、IT の活用が重要である。Matayong and Kamil Mahmood (2013) は、ナレッジマネジメントの実践には IT によるシステム支援が必要であり、組織の知識を効果的に共有、創造、活用するための仕組みとしてのナレッジマネジメントシステムの構築・活用が有効であることを指摘している。

ただし、情報技術を活用したナレッジマネジメントシステムに対する見方として、Wilson (2002) はナレッジマネジメントを「様々な組織活動の総称であり、いずれも知識の管理 (management of knowledge) には関係しない (p. 1)」と指摘し、多くのナレッジマネジメントと称した企業における取り組みが、知識創造や知識共有といったものに直結せず、情報管理に留まっていると批判している。Ruggles

(1996) の定義のように、ナレッジマネジメントには、知識創造、知識共有・知識解
積など多くの観点を含むが、本論文では、主に知識共有におけるナレッジマネジ
メントに着目する。実際に実践されているナレッジマネジメントは、形式知の共有
を促進されていることを意味し、他の共有以外の知識創造などのナレッジマネジ
メントプロジェクトにおいても、共有は重要視されていることが指摘されている
(Bouthillier and Shearer, 2002).

知識は野中・竹内 (1996) が指摘するように、「暗黙知」と「形式知」の二種類が
あるとされ、特に暗黙知の知識の共有には困難を伴う。von Hippel (1994) は、イノ
ベーションや問題解決に必要な情報や知識の取得・移転・利用に関してコストが
かかることに着目し、「情報の粘着性 (sticky information)」の概念を導入した。ま
た、von Hippel (1994) は情報や知識の粘着性とその解決の傾向として以下を示して
いる。

1. 獲得・移転・利用にコストが掛かる粘着性の高い技術情報が1つの場所にある
場合、イノベーションに関連する問題解決活動は、その場所に移動する傾向が
ある。
2. 粘着性の高い技術情報が複数の場所にある場合、イノベーション開発作業の進
捗に従って、問題解決活動はそれらの場所を繰り返し移動する（反復する）傾
向がある。
3. 反復コストが高い場合、問題解決活動は、それぞれが1つの場所の粘着性情報
にアクセスすればよい単位に「タスク分割」されることもある。
4. 反復コストが高いとき、情報の脱粘着化あるいは粘着性を減らすことに対して
投資が行われる場合がある。

本論文が対象とする保守点検業務や農業の分野は、基本的な業務知識や業務指針
に関してはマニュアル化されていたとしても、状況・文脈に依存した粘着性の高い
知識であると考えられる。また、メンテナンスに関する知識は状況に強く依存し、
SECI モデル (図 2.3) が指摘するような共同化（暗黙知から暗黙知）の形での移転
が要となる。実際、ブルーカラーのような現場作業員において、構造化された習慣
がない場合、知識の共有と学習は口コミや個人的接触に依存することが指摘されて
いる (Styhre, 2008)。

知識共有に関しては Lave and Wenger (1991) の状況に埋め込まれた学習 (Situat

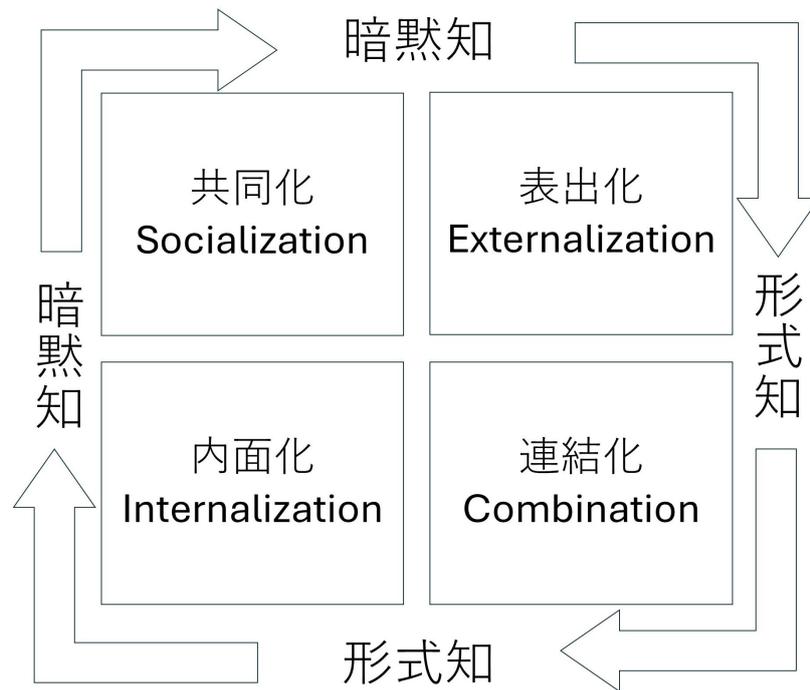


図 2.3: SECI モデル

(野中・竹内, 1996) を参考に著者作成

Learning) から連なる Community of Practice(実践共同体) (Wasko and Faraj, 2000; Wenger and Snyder, 2000) においても取り組まれてきた。実践共同体とは、専門知識を共有し、共同での取り組みへの情熱によって、インフォーマルに構築された人々のグループとしている (Wenger and Snyder, 2000)。Wenger et al. (2002) においては、「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 (p.33)」としている。

実践共同体と似たような概念として、知識創造や知識共有が行われる場 (Ba) がある。Nonaka and Konno (1998) は西田幾多郎の場の概念を援用し、SECI モデルに当てはめ、知識創造が行われる文脈であり、知識創造のための基礎と説明している。加えて、場とは、物理的なもの (例：オフィス、分散されたビジネス空間)、仮想的なもの (例：電子メール、遠隔会議)、頭 (mental) の中にあるもの (例：共有された経験、アイデア、理想) など、様々なものが組み合わさって構築される (Nonaka and Konno, 1998)。また、伊丹 (2005) は場を「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 (p.42)」と定義している。

Nonaka et al. (2000) は実践共同体と場の違いとして、実践共同体は、構成員が共同体に組み込まれた知識を学ぶ生活の場所であるのに対し、場は新しい知識が生み出される場所であることを指摘している。また、共同実践体はそのコミュニティーの文化、歴史に依存し、帰属意識によって成り立っている。これに対し、場は流動的であり、その場その場の参加者によって、構築されるため、歴史に縛られることなく、「今、ここ」で動いている (Nonaka et al., 2000)。

加えて、Nakano et al. (2013) は多くのナレッジマネジメント研究が現場作業者の暗黙知のナレッジマネジメントは重要であるにも関わらず、現場の労働者の知識を無視し、象徴的な労働者³⁾の知識を取り扱っていると批判している。

このことから実践現場におけるナレッジマネジメントについて追及する余地が大いにあり、現場主体のナレッジマネジメントの実現が求められている。

2.3 保守管理のナレッジマネジメント

保守管理 (maintenance) を EN standard 13306:2001 では「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 (CEN, 2001)」と定義されている。また、メンテナンスの目的として、Dekker (1996) は「システム機能の確保 (可用性、効率性、製品品質)」、「システムライフの確保 (アセットマネジメント)」、「安全の確保」、「人間の幸福の確保」の 4 要素をあげている。この観点から、保守管理は幅広い視点と知識が要求され、現場の作業者のみならず、監督者など多くのステークホルダーを巻き込んだ行為と言える。

企業におけるメンテナンス活動に関して調査を行った Cárcel-Carrasco and Gómez-Gómez (2021) は、メンテナンス業務は暗黙知が多く人的要素が大きいという特徴があると指摘した上で、実際の企業におけるメンテナンスでは、時間的制限、メンテナンス業務以外に割かれる労力、必要な情報が分散しており、更新されていないことを指摘している。

保守管理に関しては、対象物によって様々なコンテキストが存在するが、多くの研究が体系的に取り組まれているのは、主に建物などの建築物を体系的にマネジメ

3) Nakano et al. (2013) では、ブルーカラーに分類される現場作業員や末端の作業員に対応して、開発者やマネージャーなど一般的に知識を生み出すような労働者を象徴的な労働者としている。

ントするファシリティマネジメントの分野である。例えば、Naqvi et al. (2022) は収集したメンテナンスの作業記録 (Maintenance Work Order: MWO) を検索する仕組みを SBERT⁴⁾により構築し、曖昧でコンテキスト依存の強い作業知識を管理するシステムを提案している。

ICT を活用したメンテナンスの取り組みとして、E-Maintenance が提唱されており、例えば、Bjorling et al. (2013b) は E-maintenance の追求するところとして、障害の検出や診断ではなく、健全性の低下の監視と予測に重点を置き、ICT を通じて資産 (機械、プラント、製品など) を積極的に監視及び管理するためのインテリジェントなツールを組織に提供することされている。加えて、E-maintenance 研究のレビューを行った Aboelmaged (2015) は、現在の E-maintenance 研究が狭義の保守・点検に留まらず、運用、リモートメンテナンスや保守計画など、多角的に研究が行われていることを指摘している。

一方で、保守管理におけるマネジメントでは、保守計画に基づき、実際に行われた保守の記録であるメンテナンス記録のデジタル化に注力しているように見受けられる。メンテナンス記録の中核を担う MWO やメンテナンス記録を管理する Computer Maintenance Management System に代表される断片化されたシステムの統合 (例 (Björling et al., 2013a)) など、既存の機械センサや既に入力されデジタル上に存在するデータ、情報を活用することに注力しているように見受けられる。

Aboelmaged (2015) は今後の研究課題として、メンテナンス領域におけるナレッジマネジメントも一つの研究課題として挙げており、現場の作業者の持つ知識の活用や、人間の五感でしか得ることができない、臭いや振動といった情報も重要であると考え。今後は、機械センサに加え、人間センサを活用した保守点検のナレッジマネジメントを検討する必要があると考える。

2.4 自然言語処理及び AI

自然言語をどのようにコンピュータを用いて処理するかに関しては、コンピュータが実用化されて以来取り組まれてきた課題であった。古くは、チョムスキー生成文法に代表されるような構造解析より分野として取り組まれるようになった。加え

4) BERT 派生モデルで、文をベクトル表現に変換し、文同士の類似度を効率的に計算するための手法

て、日本語の自然言語処理においては、辞書やかな漢字変換などの基礎的技術開発が 1970-80 年代に発達し、EDR 電子化辞書 (松井・内田, 1989) や日本語ワードプロセッサ⁵⁾の形で実現された。さらに、コーパスを用いたベクトル表現である Word2Vec(Mikolov et al., 2013) や RNN, LSTM(Hochreiter and Schmidhuber, 1997) に代表されるニューラルネットワークを活用, Transformer(Vaswani et al., 2017) などのブレイクスルーを経て, BERT(Devlin et al., 2019) や GPT(Radford et al., 2018) に代表されるような大規模言語モデル (LLMs) などが登場し, ほぼ人間と同等の自然言語処理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。

自然言語処理は大きく, 自然言語理解 (NLU) と自然言語生成 (NLG) のタスクに分けられる。前者では, 与えられたテキストからの意味理解や, テキストの内容の抽出, 検索などの下流タスクを実行する。後者は, 構造化データ, テキスト, グラフィックス, オーディオ, ビデオを入力し, 人間が理解できる自然言語でテキストを生成するタスクである (McDonald, 2010)。加えて, NLG においては, 自然言語処理を超え, 生成 AI として取り扱われることも多い。

自然言語処理を用いることで, 企業においては, データ分析などの特定のタスクを自動化できることが指摘されている。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と自然言語処理との統合に関しては以前より行われており, 主にデータの検索などのタスクで取り組まれてきた。

一方で生成 AI の活用においては, ハルシネーションといった現象が問題となっている (Ji et al., 2023)。一見文章が成り立っているように見えるものの, 意味のない, もしくは誤った回答を生成することがあり, 生成 AI を利用して得られた回答をそのまま利用することができない場合もある。

最新の手法として, 生成 AI と非構造化データを活用して, データを検索する Retrieval Augmented Language model(RAG)(Gua et al., 2020) があり, 質問への回答の精度を向上させる試みが行われている。RAG を用いることで, ベースとなる LLM に含まれない固有のドメイン知識を活用できる。

RAG や生成 AI を活用したナレッジマネジメントはまだまだ発展途上であり, 管見の限りあまり多くの研究が取り組まれていないが, いくつかの研究が存在する。Earley (2023) は, Earley Information Science 社において, RAG を活用したナレッ

5) <http://museum.ipsj.or.jp/computer/word/0049.html>

ジマネジメントシステムの運用を行い、ハルシネーションや情報漏洩が許されない環境下において、経営幹部が経営資源をどのように配分するかについての意思決定を有効に支援できたことを報告している。

RAG は、従来の自然言語処理やナレッジマネジメントシステムが活用することができなかった、非構造化データ（例：ドキュメント、画像、音声など）を活用できることが明らかになっており、人間と機械の協調によるナレッジマネジメントを支える技術となりうると考えられる。画像認識などのニューラルネットワークなどにおいては、転移学習（神畠, 2010）、BERT などの言語モデルなどにおいてもファインチューニング（Zhou and Srikumar, 2022）などを行い、対象とする特定のタスクに合わせる形でのカスタムが行われてきた。

Edge et al. (2024) の提案している GraphRAG など、RAG モデルは常々進化を続けており、より多くの問い合わせのコンテキストを保持しながら、効率的に非構造化データを活用できるように改良され、新たなモデルが提案されている。一方で、現場の作業者の持つ知識はドキュメントや写真として記録されていない部分も多く、人間の気づきから知識を収集し、蓄積し、活用するかが重要となる。

また、ナレッジマネジメントの中で AI を活用する試み（大島・内平, 2018; 森・内平, 2019）もいくつかある。しかし、これらの取り組みもナレッジマネジメントと AI、人間の入力を組み合わせに留まっており、現場の気づきを取り入れたナレッジマネジメントの実現には至っていない。

2.5 デジタルナレッジツイン

工場の生産性向上や新製品の開発の加速を目的として、製造業を中心にデジタルツインの活用が取り組まれている。デジタルツインは、元々 Michael Grieves と NASA のエンジニアである John Vickers との共同研究に起因し、2003 年のプロダクトライフサイクルマネジメントに関する講義において、この概念を提唱したことが始まりである（Grieves, 2015）。Grieves (2015) が示したモデルでは、①現実空間における物理的な製品、②仮想空間における仮想的な製品、③仮想空間と現実空間を結び付けるデータと情報の繋がりから構築される（図 2.4）。初期のデジタルツインモデルの提案は、製品のライフサイクルマネジメントのコンテキストにて行われた。実際、当時の生産中の製品についての情報は紙ベースの手作業にて行われ、仮

想空間におけるデジタル表現は限られていた (Grieves, 2015).

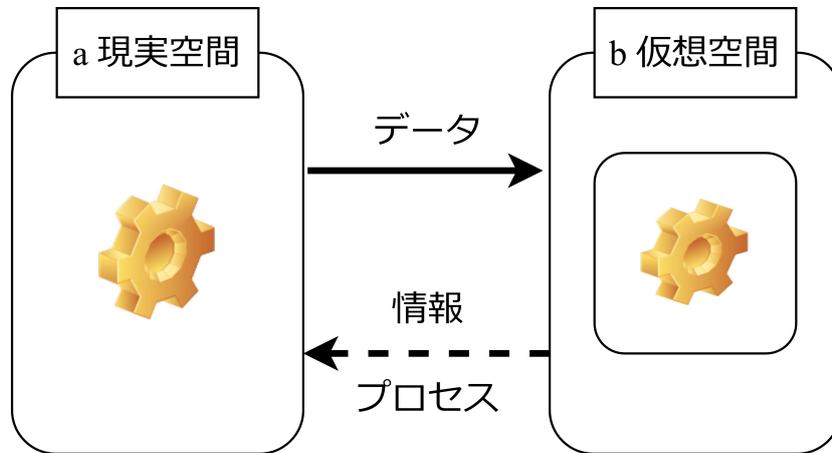


図 2.4: デジタルツインモデル
(Grieves, 2015) を参考に著者作成

加えて, Grieves (2015) は, デジタルツインは, 人間にとって重要な知的ツールである概念化, 比較, 協働を助ける, と指摘している. 例えば, 概念化においては, バーチャル空間による工程の再現による工程の理解などの役割を果たすとしている.

近年, デジタルツインの研究領域は広がりを見せており, 従来の製品とその製品の仮想化のみならず, 生産現場でのロボットとの協働 (Tuli et al., 2021), 人間を対象としたヒューマンデジタルツイン (Shengli, 2021), 仮想空間を拡張し, 拡張した試行空間の 3 つの空間で製品の開発を加速させる Digital Triplet (Umeda et al., 2019; Kondoh et al., 2024) など様々な拡張型デジタルツインが提案されている.

しかしながら, これらの知識駆動デジタルツインや知識に基づいたデジタルツインは, すでに表出化された形式知を仮想空間上にモデル化した上で, 現実空間の生産効率を向上させる取り組みに留まっている. そのため, 本論文が重視している暗黙知をデジタルツインのループの中に取り入れ, 取り扱うこと, 現場作業者の暗黙知の活用を行うことまで踏み込むことはできていない.

Uchihira et al. (2023); 内平ら (2024) は, 人間中心のデジタルツインとして, 「Human-Centric Digital Twin (HCDT)」, さらにはこれを広く捉えなおした「デジタルナレッジツイン」を提案している. HCDT では, 従来のデジタルツインにおいて, 仮想空間と現実空間を結び付けるデータと情報の繋がりとして使われてきた機

械モニタ（機械センサ + アルゴリズム）に加えて、現場の作業者が五感を通して得られたデータ・情報を、経験や作業者の持つ知識を人間モニタを通じて、現実空間から仮想空間に繋ぐことで、従来の機械センサ主体のデジタルツインが導入が困難であった現場での導入や熟練作業者の暗黙知を、仮想空間に取り入れることを可能にした (Uchihira et al., 2023). HCDDT では従来のデジタルツインとは異なる形で知識をモデル化することを試行しており、IF-THEN ルールと比較して、現場のコンテキストを取り込んだやわらかい知識の構造化を目指している (図 2.5, 図 2.6)(Uchihira et al., 2023).

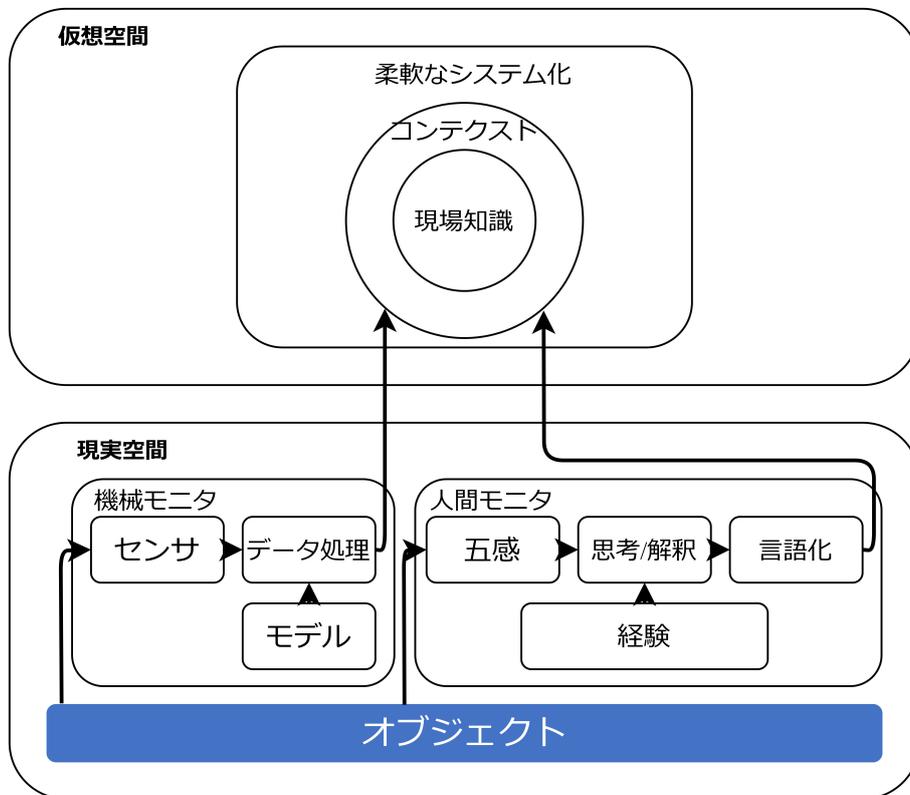


図 2.5: Human Centric Digital Twin コンセプト (知識構築時)
(Uchihira et al., 2023) を参考に著者作成

一方で、Uchihira et al. (2023) での提案は、システム全体の構成と音声つぶやきシステムを活用した人間モニタによる現場知識の収集の提案に留まっている。現場知識を収集し活用するナレッジマネジメント手法を提案、検討し確立する必要があると考える。

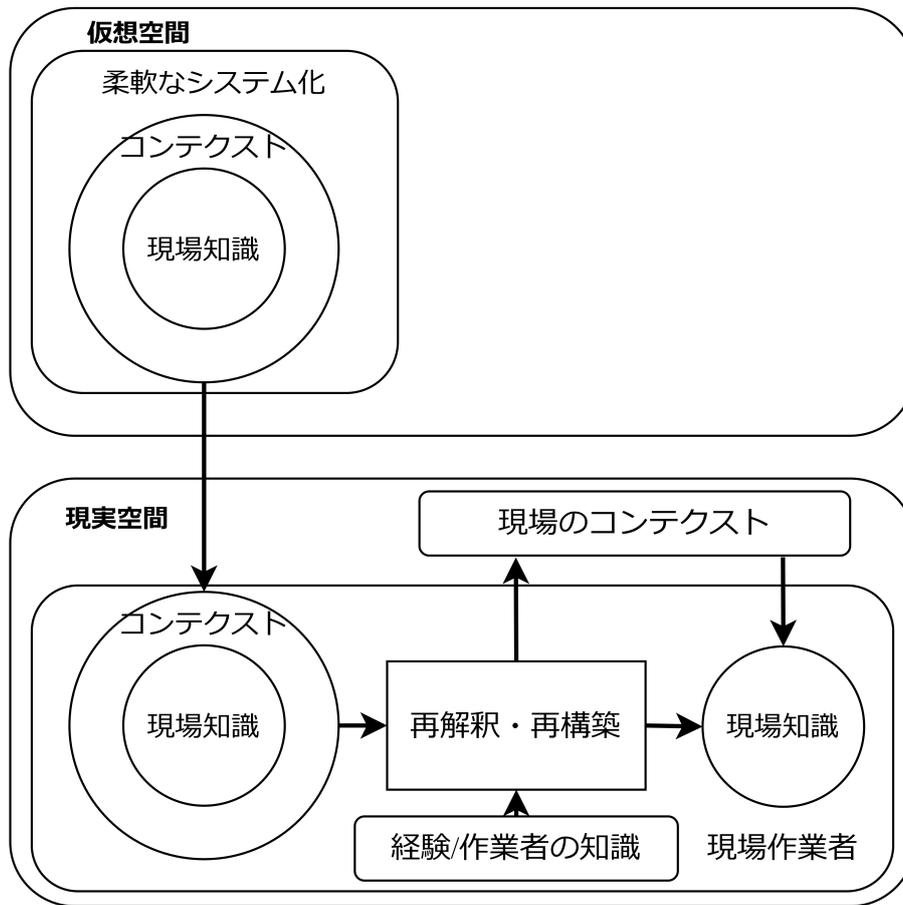


図 2.6: Human Centric Digital Twin コンセプト (知識活用時)
(Uchihira et al., 2023) を参考に著者作成

2.6 レジリエンスエンジニアリング

レジリエンスエンジニアリング (RE) は、Hollnagel が提唱した、安全に対する新たな取り組みである。Hollnagel は、従来の安全に対する手法を Safety-I と定義した上で、新たな安全の手法を Safety-II と定義している。Safety-I において、安全は「望ましくない結果の数ができるだけ少ない状態 (Hollnagel, 2015, p. 60)」と定義され、Safety-II では、「物事ができる限りうまくいく状態、あるいはできるならばすべてがうまくいく状態 (Hollnagel, 2015, p. 149)」と定義している。

レジリエンスエンジニアリングにおいて、レジリエンスは「システムが想定され

た条件や想定外の条件の下で、要求された動作を継続できるために、自分自身の機能を条件変化や外乱の発生前、発生中、あるいは発生後において調整できる本質的な能力のこと (Hollnagel, 2019, p. 23)」と定義している。加えて、レジリエンスを発揮するための能力（レジリエンスポテンシャル）として、「対処するポテンシャル」「監視するポテンシャル」「予見するポテンシャル」「学習するポテンシャル」を挙げている (Hollnagel, 2019)。

従来、安全システムにおいては、人間はヒューマンエラーの原因として扱われ、高度な安全が求められる環境では、人間をシステムから排除した自動化やマニュアルによる手順の徹底などが行われてきた。一方で、レジリエンスエンジニアリングにおいては、人間には状況に応じて、柔軟に問題に対処する能力があるとされ、通常状態から逸脱した事象に対し、その能力を発揮して対処し、エラーを回避する能力を持つと考えられている。

また、現場 (Sharp End) (Flin and O'Connor, 2008) とマネジメントとの一貫性の重要性をレジリエンスエンジニアリングでは指摘している。Hollnagel (2019) は、これを「想定された仕事: Work-as-Imaged」と「実際になされた仕事: Work-as-Done」という言葉で定義し、この乖離を減らすことが、レジリエンスエンジニアリング実現の一手段である。また、Hollnagel (2023) は、レジリエンスエンジニアリングを発展させ、生産性、品質、安全、信頼性を統合した組織変化のマネジメント手法である Synesis を提唱している。

安全とは、レジリエンスエンジニアリングにおいて、システムや組織が持つ特性ではなく、システムや組織が実現するものと定義している (Hollnagel et al., 2006)。レジリエントな安全を達成するためには、継続的にレジリエンスを発揮するために能力を向上が求められる。特に「監視する能力」、「学習する能力」は、対象とするシステム内の知識（現場知識）を取り扱うため、ナレッジマネジメントと直結する要素と考えられる。

また、Hollnagel (2008) は、ユーザインターフェースの領域で使われてきた What-You-See-Is-What-You-Get(WYSIWYG) をもじり、探しているものしか見つけられないという意味で、What-You-See-Is-What-You-Get(WYSIWYG) の語で、従来の危険な箇所や問題点を探しだしてから、それに対応する策を講じる安全対策の限界性を示した。

実際に、レジリエンスエンジニアリングを現場レベルで当てはめて活用する

取り組みは、原子力や鉄道など、多くの安全が求められる領域で試みられている (Nemeth and Hollnagel, 2017)。レジリエンスエンジニアリングにおけるレジリエンス向上のためには、まず、レジリエンスポテンシャルの能力の向上が求められており、先に示した4つのレジリエンスポテンシャルの向上が重要となる。

2.7 まとめ

ナレッジマネジメントに関する取り組みは多く行われてきた。一方で、多くのナレッジマネジメントに対する取り組みは、知識と情報を混同している場合や、形式知といった表層的な知識を対象としたものが主体であった。また、多くのナレッジマネジメントに対する取り組みは、ホワイトカラーのデスク主体の取り組みを対象としている部分があり、現場や保守点検のコンテキストでは、不十分であると考えられる。

現場主体の暗黙知のナレッジマネジメントの観点からは、近年の効率化や生産性向上への圧力に伴って、現場では Hollnagel (2009) の指摘する効率と完全性の両方を追求できないとする効率—完全性トレードオフ (ETTO) が起きていると考えられる。このような状況下では、現場の知識共有やベテランから若手への知識継承といった余裕はなく、動機も減退する。

また、IoT などのデジタル技術の革新と幅広い利用により、多くのデータや情報が集まるようになったことから、効率的にデータや情報から活用可能な知識に変換を行うナレッジマネジメントの方策も必要となる。Cisco は IoT の更なる拡張として Internet of Everything (IoE) を提案している (Evans, 2012)。Van Meter (2020) が指摘するように、知識がデータ・情報とともに人間の経験を土台としているならば、膨大な数のデータと情報から有益なものを抽出し、人間の解釈を組み合わせることで、利用可能な知識であるノウハウを引き出せるのではないかと考えられる。

表 2.1 に、特に本博士論文の新規性と関係する先行研究を整理した。

表 2.1: 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	本研究の提案と新規性
<p>現場に強く依存した Orr (1996) が指摘した、現場のサービスマンが、その場の創意工夫によって生み出される知識である「war story」、Uchihira et al. (2023) の指摘する「現場知識」のように、それぞれの現場のコンテキストに依存しながら、現場作業において有益な知識を共有するナレッジマネジメントは追求する余地がある。加えて、Nakano et al. (2013) が指摘するように、現場作業者に着目したナレッジマネジメント研究は少ない。</p>	<p>保守点検や農業の現場など、知識の送り手と受け手が離れた状態での現場依存の高い知識の共有手法の提案と評価 (4 章)</p>
<p>人間センサと機械センサの統合は、新たな試みであり、一部先駆的に農業分野での取り組み (Uchihira and Yoshida, 2018) や、メンテナンス分野での従来の CMMS と MWO といった現場作業者の保全記録の統合などの試み (Naqvi et al., 2022) が示されているに留まっている。機械センサデータと人間の入力の実績分析はあったが、人間の気づきを融合した研究は、管見の限り見当たらない。そのため、人間の気づきと機械センサを統合した手法を提案し、具体的な事例を通じて、その有効性や獲得できる知識について検証する必要がある。</p>	<p>デジタルナレッジツイン実現に向けた、人間センサと機械センサの統合による知識抽出の実現 (5 章)</p>
<p>先行研究の Uchihira et al. (2023); 内平ら (2024) によるコンセプト提案をより具体化させ、継続的に現場知識を収集し、柔軟な知識構造化の活用を行うナレッジマネジメント手法として昇華することが、今後の課題とされていた。機械学習と人間の知識を融合したナレッジマネジメントの研究 (大島・内平, 2018; 森・内平, 2019) はあったが、汎用的なナレッジマネジメントシステムを提示したものはなかった。</p>	<p>デジタルナレッジツインを活用した、人間機械協働型ナレッジマネジメントの提案 (6 章)</p>

第3章 音声つぶやきシステム

3.1 音声つぶやきシステムの概要

本章では、本論文の人間センサデータを取得するツールとして活用する音声つぶやきシステム及びその実装について説明する。常に移動や動作を伴う現場において、作業者の気づきを収集し活用することは、デスクワークを主体とした職場と比較して、非常に困難であった。動きながら現場で観察、思考し判断を伴う業務は「状況適応・行動型サービス」と定義され、準リアルタイムでの音声による記録と巧妙な配信によって気づきを共有することが、気づきやサービスの質向上に有効であることを、介護・看護などの分野において実践、検証が行われてきた (Uchihira et al., 2013; 内平, 2014; Torii et al., 2014)。

本システムの有効性としては、準リアルタイム性や音声による手軽な入力、気づきメッセージ入力時の位置情報の記録が挙げられる。

多くのナレッジマネジメントシステムが、形式知化された知識に注目し、その保存、活用に着目している。一方で、音声つぶやきシステムは、暗黙知の表層部分に存在し、現場であれば用意に表出化可能な知識である、「現場知識」の収集と活用に着目した数少ないナレッジマネジメントシステムだと考えられる。

音声つぶやきシステムによる気づきの共有支援の試みは、発端となった、介護・看護の分野 (Uchihira et al., 2013; 内平, 2014) を始めとして、警備 (吉村ら, 2018)、農業 (Uchihira and Yoshida, 2018; 高道ら, 2021; 遠矢ら, 2023a)、製造業 (丸山・内平, 2022)、保守点検 (知野ら, 2015; 千代島・内平, 2024) など、様々な文脈において試行し、それぞれ有効性を示してきた。

例えば、介護看護の分野では、異なる病室間での準リアルタイム連携や、気づきによる簡易的な記録による引継ぎ内容の充実を実現した (Uchihira et al., 2013)。製造業の現場における活用では、作業場での連携、気づきメッセージに基づいた工程の見直し、作業の意図抽出などに貢献することを明らかにしている (丸山・内平,

2022).

現場での気づきメッセージの収集に対応したツールは、商用ツールとしていくつか発売されている。しかし、6章にて提案するシステムを実装する観点から、APIやCSVなどの形で気づきメッセージを抽出可能であること、センサデータとの連携を実現する観点から、既存の商用ツールでは十分に対応することができないため、独自に開発している。必要な機能及び他の類似するアプリケーションとの比較を表3.1に示す。

表 3.1: 必要な機能及び他アプリケーションとの比較

機能	Teams	Slack	LINE	Budycom	フィールドボイス
日本語の音声認識と音声ファイルの保存	○	×	×	×	○
メッセージのダウンロード分析	○	△	×	×	○
画像のアップロードとダウンロード	○	○	○	○	○
メッセージと位置情報の連携	○	×	×	×	○
チャネネル機能	○	○	○	○	○
外部 API との連携	○	△	○	×	△
音声のリアルタイム配信	○	×	×	×	○
オンプレミスでの運用	○	×	×	×	×
ヘッドセットの Bluetooth 接続	○	×	×	×	○
運用コスト	サーバー代のみ	フリーミアム	フリーミアム	無料	ライセンス

○：機能として不自由なく利用できる

△：機能として存在するが、一部制約がある

×：利用できない、または、機能として存在せず、利用できない

3.2 音声つぶやきシステムの実装

つぶやきシステムは、クライアントとして、PC (図 3.1), iPhone, Android (図 3.2) の各ネイティブアプリケーションとして、動作するよう開発されている。

システムはサーバ及びクライアント (PC・スマートフォン) で構成され、図 3.3 のようなシステム構造となっている。本システムは Kubernetes¹⁾を利用したオーケストラレーション, Google Cloud Platform²⁾にデプロイすることを前提として構築している。サーバサイドとして、Java Virtual Machine 上で動作するポスト Java 言語のひとつである kotlin³⁾を使用し、kotlin で実装された Ktor⁴⁾を用いてサーバを実装した。クライアントサイドのアプリケーションは、マルチプラットフォームに対応した Flutter⁵⁾によって実装されている。

本研究を通じて開発されたシステムは、(内平, 2013, 2014) で開発されてきたシステムと比較して、運用できるデバイスの拡張、音声のリアルタイム送受信、また、つぶやき分析用に、メッセージ一覧の Excel ダウンロードなどの改良が行われている。表 3.2 に機能の概要を示す。

従来システムと比較して大きく改善した点として、モバイルでの通信安定性とリアルタイム性を考慮し、通信部分に gRPC⁶⁾を用いることで、通信容量の削減と音声のストリーミングを実現している。そして、位置情報の共有に関しても、IoT 向けの Pub/Sub 通信プロトコルである MQTT⁷⁾により、安定した位置情報の配信と記録を実現している。

開発されたアプリケーションのうち、Android 版のクライアントに関しては、Google Play Store (URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.jaist.uchihiroalab.svms&hl=ja>) にて公開している⁸⁾。

1) コンテナのオーケストラレーションツール <https://kubernetes.io>

2) <https://cloud.google.com/>

3) <https://kotlinlang.org/>

4) <https://ktor.io/>

5) <https://flutter.dev/>

6) <https://grpc.io/>

7) <https://mqtt.org/>

8) 実際の運用には別途サーバの設定が必要になる。

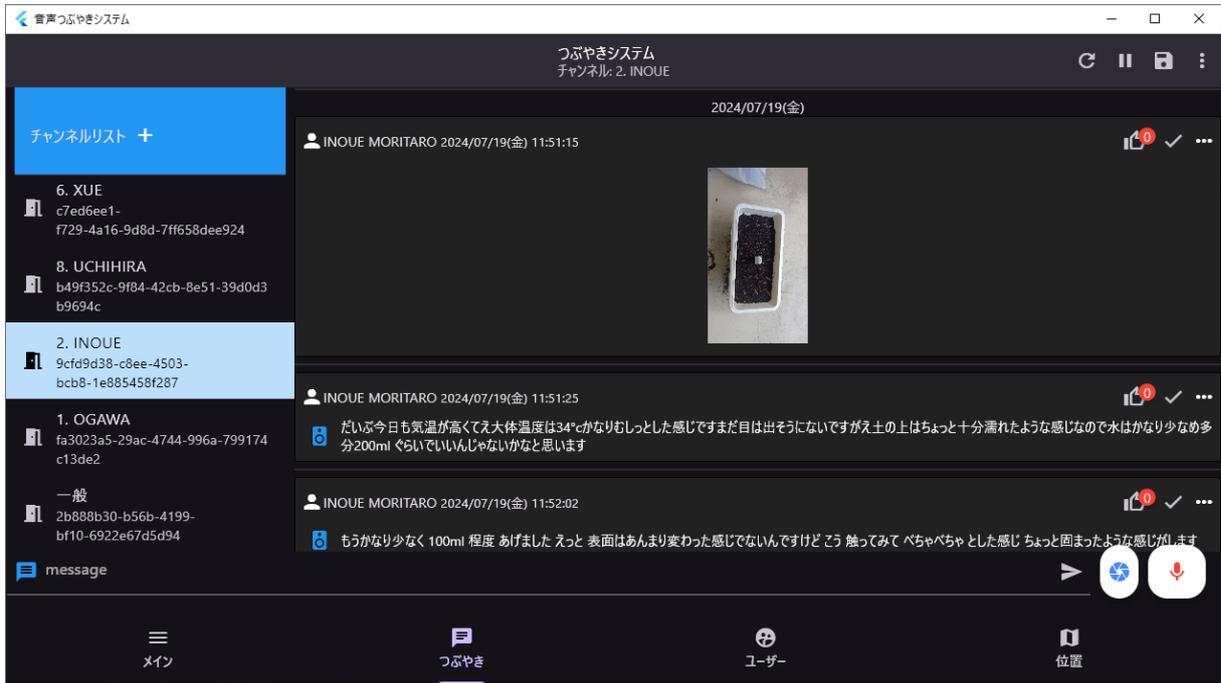


図 3.1: PC 版音声つぶやきシステム

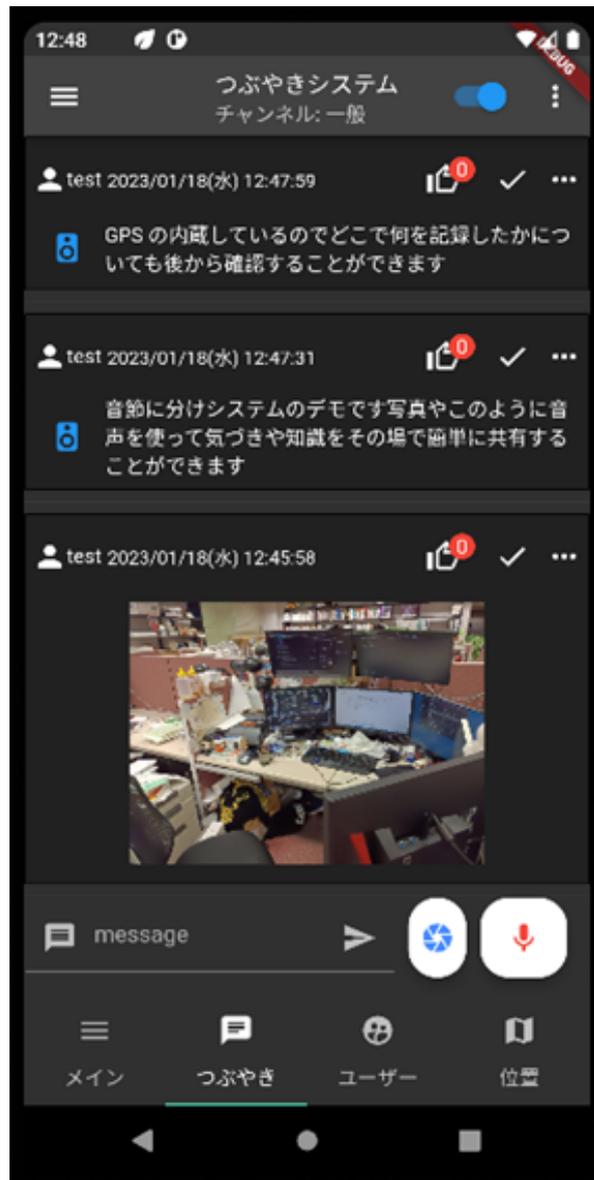


図 3.2: スマートフォン版音声つぶやきシステム

表 3.2: 開発した音声つぶやきシステムの機能

機能名	機能概要と説明
チャンネル切り替え	用途に応じてチャンネルを作成し、切り替えて利用できる。
リアルタイム更新と通知	他ユーザによって入力された気づきメッセージはリアルタイムで配信され、通知、再生される。
音声のリアルタイム記録	音声をリアルタイムで記録し、ストリームとしてクライアントからサーバに送信する。また同じチャンネルの他ユーザに配信し、自動で再生する。
音声のリアルタイム音声認識	Google Speech API により、リアルタイムに音声の文字お越しを行い音声認識結果を表示する。
位置情報の記録	気づきメッセージを記録した場所の緯度経度を記録し、気づきメッセージと紐づける。
写真の記録	音声以外にも写真を記録し配信できる。
Excel 出力	気づきメッセージの一覧をチャンネルごとにシートにまとめ、ダウンロードできる。
API 連携	gRPC, WebAPI を持ち、気づきメッセージの使った外部ツールとの連携が可能。
メッセージのフィードバックボタン	気づきメッセージへのフィードバックとしていいねボタンを実装している。

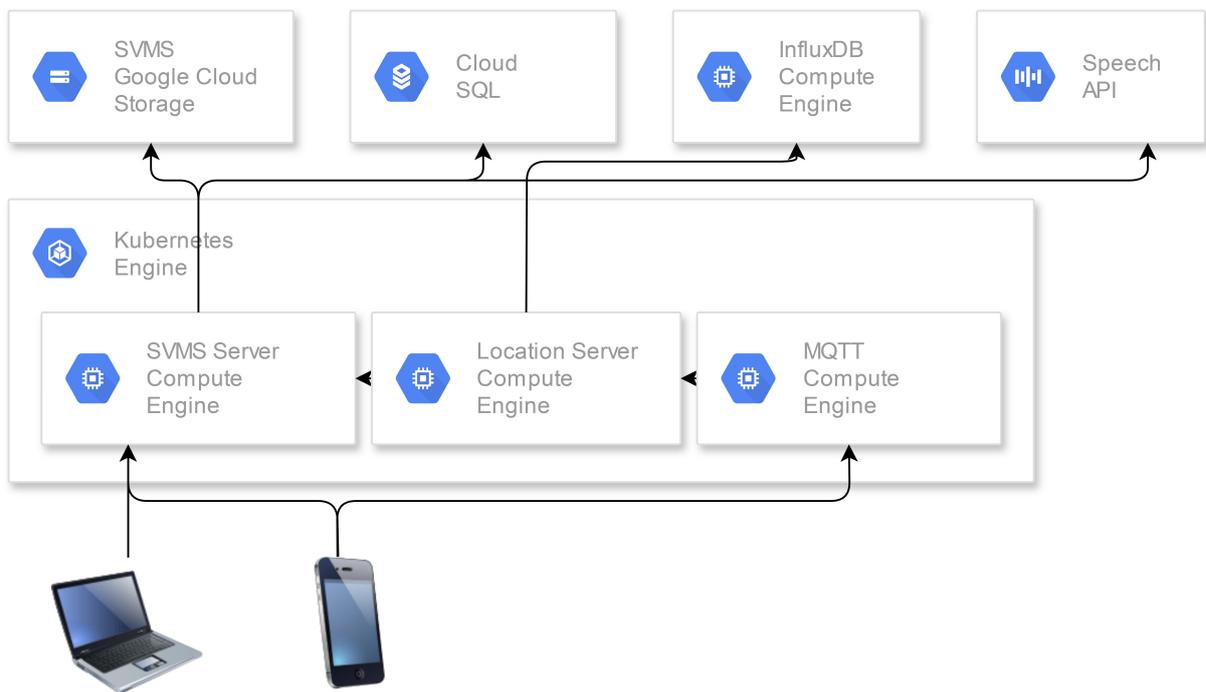


図 3.3: 音声つぶやきシステム構成
著者作成

3.3 まとめ

本章では、本研究で活用する音声つぶやきシステムの概要と実装について説明した。音声つぶやきシステムは、現場作業者の気づきを音声や写真で簡便に記録でき、その場で共有することが可能なツールである。従来システムと比較して、モバイルでの通信安定性とリアルタイム性を向上させ、gRPC や MQTT といった最新の通信プロトコルを採用することで、現場での実用に耐えうるシステムとして実装した。本システムは、6 章にて提案するナレッジマネジメント手法を、実現する重要なナレッジマネジメントシステムの重要な基盤の一つになる。

第4章 音声つぶやきシステムによる船舶分野での気づき活用

4.1 はじめに

本章では、本研究の重要な要素である人間モニタの有用性について、実際の現場（船舶の機関室）にて、音声つぶやきシステムによってベテラン作業者の気づきを収集し、船舶の陸上管理者（工務監督）の評価を通じて、その有用性を検証する。

実際の保守点検の現場においては、現場作業者の気づきや経験、それらを活かした機転によって、安全で継続的な運転が支えられている。一方で、これらを体系的に活用する手立ては、十分に開発されてこなかったと考えられる。一般的に、現場での点検や記録の手法として、チェックリストなどが用いられることがある。しかし、チェックリストは、作業者の経験のばらつきによって生じる点検精度を、ある程度収束させる役割がある一方で、チェックリストを行うことが目的化してしまい、チェックリストが対象としているもの以外を、対象とできなくなるといった問題が生じることもありうる（中田, 2013）。

ここでは、現場作業者の気づきや実際に行った作業を、音声つぶやきシステムを用いて自由な形で入力し、収集した後、収集した気づきメッセージを保守に活用するナレッジマネジメントを提案し、その有効性を評価する。

4.2 船舶機関部の現場の現状と機関部のナレッジマネジメント

本章で対象とした、船舶の機関部の環境は、他の工場などの現場とは異なる環境や独特の職制を有している。そこで、本節では、船舶特有の環境の特色について説明する。

実際の遠洋漁船における機関の運転・保守は、現場の機関長を中心とした機関士

が主体となり行われる。多くの場合、入渠¹⁾する際に比較的大がかりな点検・修理を行うことで、船体を維持している(図4.1)。一般的に、船舶の職制として、船舶の運航を担う甲板部と、主機や発電機及び補機など、機関室に配置された機器を中心に機械の運転と保守を行う機関部に分かれている。本章においては、漁船における機関部に着目する。漁船においては、機関部が機関区域の機器だけでなく、漁撈機械など、多くの甲板上の機器も掌握しており、業務内容は多岐に渡る。さらに、機器の高度化に伴い、航海中修繕することが困難な機器も多い。そのため、漁船の場合は水揚げのための入港時に合わせて、修繕を行うこともある。船舶運航の予算は限られており、修繕の際に、優先順位や修繕の程度を調整して対応を行う必要がある。予算執行に当たり、機関長、機関分野を担当する陸上管理者たる工務監督、造船所間での調整が重要となる。しかし、知識の送り手である機関士と知識の受け手である工務監督では、時間的・空間的に大きな距離がある。

船舶は工業製品でありながら、要求に基づいて、一隻毎異なる設計となっており、一品ものとなっている。したがって、それぞれの船舶の適正值、管理状態も異なるため、その船舶の特性を把握しておくことは必要不可欠である。しかし、上記のように業務が多岐に渡り、打ち合わせの際に、効率的に修繕の要求を伝えることが困難になることも考えられる。すなわち、船舶の状態や船舶で行われた作業といった知識はコンテキスト依存で粘着性があり、形式知化(マニュアル化)を行うことは困難である。さらに、作業量が多く、狭い機関室での点検中に現場での記録は困難であり、詳細な記録を行う時間的余裕も存在しない。

加えて、船員だけでなく令和4年度の水産白書によれば、船体の老朽化が進んでいることに関しても指摘されている。遠洋マグロはえ縄漁船の現状として、濱田(2011)は、平均船齢が18~19年と老朽化が進み、中には25年を超えて稼働しているような船舶もあるため、修繕費の上昇や漁撈時の安全性の問題を指摘している。

さらに、近年は乗組員の高齢化や減少により、漁業会社間での人材獲得競争が激しく、短期間での転船なども生じており、前任者から後任者への知識共有も重要となっている。外航海運におけるナレッジマネジメントの研究は行われているが(米澤, 2009)、多国籍な船内環境における船員育成に着目しており、機関の保守点検及び陸上管理者と機関長・機関士との関係に焦点を当てた研究及び遠洋漁船における

1) 船舶をドライドックに入れて検査すること

ナレッジマネジメントは、ほとんど行われていないのが現状である。

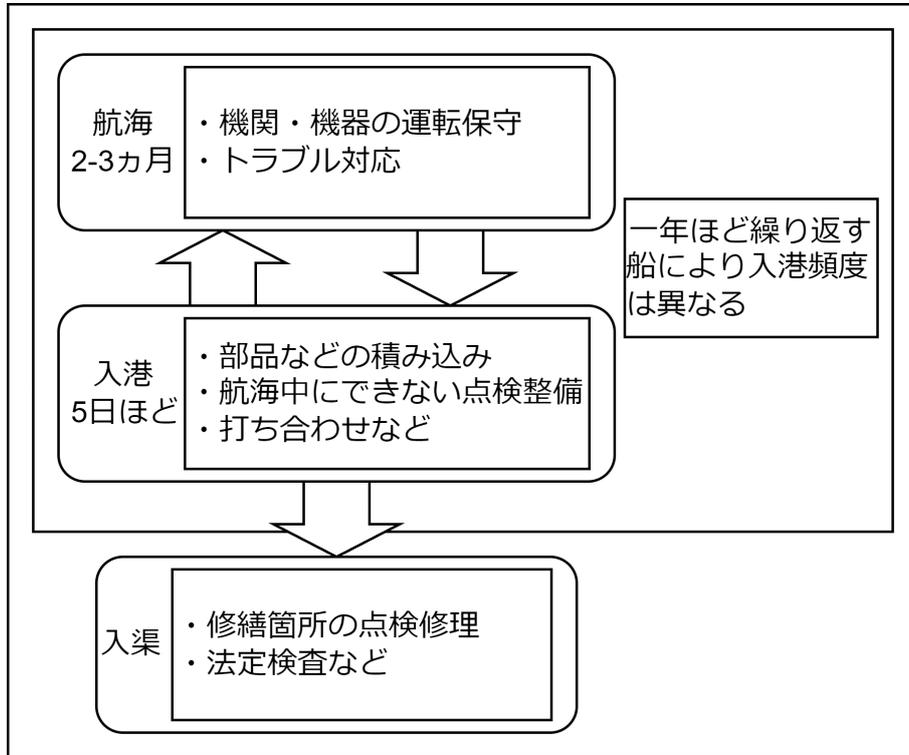


図 4.1: 機関部業務の流れ

著者作成

4.3 提案手法及びシステム概要

本提案手法では、乗船中に、現場の機関長・機関士は、作業時や当直時の気づきメッセージ（現場知識の「トリガー」）を音声つぶやきシステムで入力し、入港後、記録・蓄積された気づきメッセージをトリガーとするワークショップを行う。提案手法を図 4.2 に示す。具体的には、第一段階として、作業・当直時に音声や写真を用いて、作業内容や作業時に気づいたことを記録する。第二段階として、記録されたメッセージをそれぞれの作業ごとにまとめた上で、陸上の管理者と共にワークショップを行い、行った作業や今後必要になる修繕などの知識を共有する。

船舶は航行中、機関部は24時間連続で稼働しており、2時間交代の当直²⁾で運航を行っている、点検・修理などを限られた時間の中で要領よく行う必要があり、機関長・機関士は、作業時や当直時に気づいたことを、従来の期間日誌や記録として十分に記録することが困難である。そこで、音声つぶやきシステムを用いることで、作業時や当直時に気づいたことを音声で記録する。入港後、記録された気づきを整理し、陸上の管理者と共にワークショップを行うことで、機関部の知識を共有することができる。

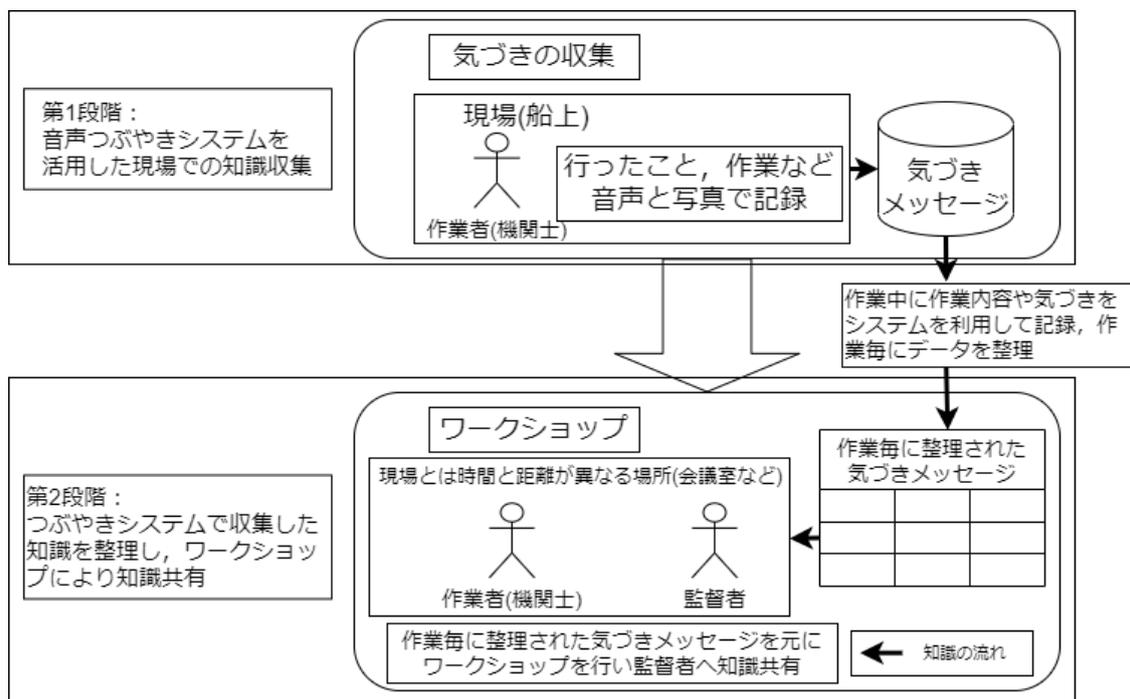


図 4.2: 人間の気づきを活用した機関業務ナレッジマネジメントの提案手法及びシステム概要

著者作成

2) 本試行を行った船舶では、2時間交代の当直となっていた。漁船では2時間交代、商船では4時間交代での当直が一般的となっている。また、外洋を航行する比較的大型の船舶は居住区に延長警報盤を備えるなど、機関室無人運転(M0)の設備を備え、出入港時以外、昼間に点検整備を行い夜間当直を行わない船舶もある。

4.4 試行評価概要

提案手法及びシステムの有用性を明らかにするため、遠洋マグロはえ縄漁船（開発丸）において試行評価を行った。試行評価の対象とした船舶の詳細は、表 4.1 に示す。本船舶を試行評価対象とした理由としては、本船舶は実際の遠洋マグロはえ縄漁船と同等の運航形態をとりながら、研究機関の備船として運用されており、実際の運行環境に限りなく近い環境で、試行評価を行える環境であったためである。

試行評価期間は表 4.2 に示す通りである。フランス海外領土のタヒチ、パペーテ港を出港し、神奈川県三崎港に入港するまでのおおよそ 3 ヶ月間行った。本試行においては、慣れないシステムの操作や負荷など、運航への支障を最大限配慮するため、機関長の当直時、機関作業時に著者が立ち会い、機関長に代わって音声つぶやきシステムを用い、機関長の気づき、作業内容を記録した（機関長はスマートフォンなどの取り扱いに慣れていないため）。試行評価中、システムは特段異常なく運用され、現場での気づきメッセージ（音声＋写真）を収集した。その後、陸上で船舶の管理業務を行っている陸上管理者とワークショップを行った。その際合わせて、収集した気づきメッセージの知識共有としての有効性の評価を依頼した。

表 4.1: 試行対象の船舶概要

船主	日本鯉鮪漁業開発株式会社
備船主	国立研究開発法人水産研究・教育機構 開発調査センター
船種	第二種漁船（マグロはえ縄）
トン数	総トン数 489 トン
主機	新潟発動機 6M31BFT-4 736kW
発電機	新潟原動機 6NSD-G 353kW



図 4.3: 開発丸前面
著者撮影

表 4.2: 試行評価概要

対象船舶	開発丸 (第二種漁船) 489 トン
対象航海	平成 31 年度第 3 次航海 2019/9/7 パペーテ出港 2019/11/12 三崎港入港
実験期間	2019/9/7 パペーテ出港から, 2019/11/11 三崎港入港 前日までの合計 66 日間
気づきメッセージ 収集方法	音声つぶやきシステムによる気づきメッセージ (音声+テキスト+写真)

4.5 試行評価結果

4.5.1 音声つぶやきシステムによって収集した気づきメッセージ

試行において、合計 385 個の有効な気づきメッセージ (音声・写真) が得られた。気づきメッセージを、機器毎に分類した結果を表 4.3 に示す。「その他機関室」は分類された機械の中に入らないものだが、機関室内の機器を対象とした気づきメッセージで、「その他」は機械等を対象としていない気づきメッセージとしている。

気づきメッセージの機器毎の分類結果では、主機・発電機に関する気づきメッセージが多かった。また、漁船の特徴として、甲板機器・漁撈機械、冷凍機に関する気づきメッセージが多くなっている。一般的な商船では、甲板機器の掌握は甲板部が担うことが多いとされているが、漁船においては、一般的に甲板機器・漁撈機械の整備を機関部が担っている。これらの甲板機器は、海水を直接浴びる暴露部で設置されているため、特に操業前後に整備が必要となる。

さらに、得られた気づきメッセージを、関連する配管系統ごとにまとめたものを表 4.4 に示す。主機、発電機と機械の種類が異なっても、海水系統に関連する作業や滑油系統に関連する作業など、作業として同じ配管系統の作業を行うことが多くみられた。

表 4.3: 気づきメッセージ対象機器

対象機器	データ数
主機	72
発電機	57
クラッチ	21
冷凍機	41
空調機	12
造水機	33
セントラルクーラー ³⁾	11
船底	4
その他機関室	65
甲板機器・漁撈機械	67
その他	13
合計 ⁴⁾	396

3) 冷凍機及び空調機に用いる冷却清水用の冷却器。直接各機器を海水によって冷却する海水冷却と、一度海水で、冷却用の清水を冷却し、その冷却清水を利用して、各部を冷却する清水冷却の二種類がある。冷却船舶によって異なるが、本船では冷凍機と空調機に用いる冷却水は、清水を用いており、配管を共有している。

4) 気づきメッセージは 385 個であったが、11 個の気づきメッセージが一つの機器ではなく、複数の機器を対象としていた。

表 4.4: 気づきメッセージ配管系統別

配管系統	データ数
海水系統	72
滑油系統	57
燃料系統	21
空気系統	41
電気系統	12
その他	65
合計	396

4.5.2 ワークショップによる知識共有

得られた気づきメッセージを、陸上の船舶管理者である工務監督と知識共有する場（ワークショップ）を実施した（表 4.5）。実際のワークショップでは、あらかじめピックアップした気づきメッセージで知識共有を行うが、今回は研究目的のために、すべての気づきメッセージを示し、下記の 3 段階で知識共有としての有用性を確認した。

- ①特に情報として有用性はない
- ②アクションには活用しないが、状況把握に有効
- ③ドック等への連絡やアクションに活用できる

気づきメッセージ収集試行の結果、得られた気づきメッセージは合計 385 個であったが、ワークショップにおける負担と時間的制限を考慮して、同一作業の気づきメッセージをまとめ、111 群の「トリガー」データとして整理した上で、対象としている機器毎の分類を行った。

ここでのアクションとは、予備品の注文、機関長への確認、メーカーへの問い合わせといった状況を改善するために行う行動のこととしている。評価結果を表 4.6 に示す。分類の結果、②と③に含まれるものが合計 104 群あり、多くの「トリガー」が陸上管理者との知識共有に有益であったと言える。また、表 4.7 に各対象

要素におけるデータ群の数と②と③に分類されたものを有効な「トリガー」として集計した。この結果から、概ね、どの機器の気づきメッセージをベースとした「トリガー」は、何らかの形で陸上管理者との知識共有にとって有益なデータであったことがわかる。

表 4.5: ワークショップ概要

日時	2019年12月19日(木) 13時から16時までの3時間
場所	日本鯉鮪漁業開発株式会社

表 4.6: 工務監督による現場知識の「トリガー」評価

項目	「トリガー」データの評価	データ群
①	特に情報として有用性はない	7
②	アクションには活用しないが、状況把握に有効	48
③	ドック等への連絡やアクションに活用できる	56

表 4.7: 機器別「トリガー」評価

対象機器	データ群	内有効
1 主機関連	26	25
2 発電機	12	12
3 冷凍機	19	17
4 空調機	1	1
5 造水機	7	7
6 甲板機器・漁撈機械	14	14
7 セントラルクーラー	4	4
8 海水配管系	4	4
9 船底	3	3
10 予備品	2	2
11 その他	19	15
合計	111	104

4.5.3 気づきメッセージ評価の分析

工務監督によって、気づきメッセージの有用性のレベルごとに分析する。今回の試行結果から、入港時のその場での簡単な意見交換による状況の伝達では、十分に伝わっていなかったことが明らかになった。今回試行した「トリガー」による現場知識の共有が有効であることが明らかになった。遠洋マグロはえ縄漁船の船齢は従来よりも全体的に高齢化している。老齢船になるにしたがって、海水系などに大きなダメージを負いやすく、メンテナンス箇所も増えていく傾向にある。そのため、短時間の引継ぎで、現場での行ったことや感じたことを十分に伝えるには、困難であったと考えられる。

①特に情報として有用性はない

船内の時刻改正といったそもそも機関部の掌握ではないもの、個別の仕事のやり方で船員側にまかせているものなど、船内で完結し、陸上管理者に直接的に関係ないものが該当する。

②アクションには活用しないが、状況把握に有効

船内で、問題なく行われた機関部に関わる作業や工務監督も理解している既知のトラブルなどから、今まで把握できていなかった機関部の作業や、把握していたが改めて明らかになった船舶の問題やトラブルなどが該当する。

③ドック等への連絡やアクションに活用できる

例で紹介した予備品の状態や甲板機器の状態のように、速やかに対処した方がよく、対処できる問題がここに該当する。

船舶のそれぞれの状態を正しく理解するには、機関士としての知識に加え、その船舶特有の状況（船体及び機械構造や海象、船内文化、機器の運転状況、今までの機械の使われ方など）の把握が必要不可欠になる。陸上管理者が、正しく船舶の状態を理解するためには、これらのコンテキストを得る方法が、現在のところ欠けている。提案手法では、ワークショップにおいて、気づきメッセージを「トリガー」として、機関士の気づきメッセージ入力時の現場知識を、コンテキストを含めて再現でき、「情報の粘着性 (von Hippel, 1994)」を下げ、工務監督の理解を助けるものだと言える。

提案手法では、今まで捉えることが困難であった現場知識を多く捉え、工務監督にとって伝わっていなかった現場知識を多く伝えていることから、現場知識の発生場（気づきの場）と知識共有の場で、空間と時間が離れた状況において、現場知識を共有する手法として有効である。

4.5.4 気づきメッセージの具体例

気づきメッセージの具体例として、③ドック等への連絡やアクションに活用できるに該当するものの例を示す。それぞれの例のワークショップ内での発話は、発話の意図を適切に捉えた上で、わかりやすさを優先して修正している。

4.5.4.1 ラインエースの劣化に関する気づきメッセージの例

《音声》

不要な予備品ばかりあり，肝心のコントロールバルブなどが無い。

油圧ホースのジョイントも，鉄からステンへ交換した方がいい。

以前，外そうとしてスパナを入れるも，スパナが滑るぐらいサビで減っていた。

油圧機器は，グリステープを巻くのではなく，ペンキを塗った方がよい。

グリステープは巻いたときは良いが，すぐ腐ってくる。

ドックオーダーに書くつもりだが，甲板機器の油圧系統は，整備した方がいい。

整備しなければ，次の航海に保つかどうか分からない。

《ワークショップでの発言》

工務監督：

こういうもの（予備品）の情報は，オーダーしてほしいと伝えてほしい。

メーカーは部品を持っており，部品があるということは交換が可能。

前にラインエースなどは一台揃えていた方がいいですかと（メーカーに）聞いたら，高いですから修理すればと言われた。

これは（ラインエース^aは）パーツもあるので，大丈夫と言われたので，積極的に伝えてほしい。

^a はえ縄を敷く投縄やはえ縄を巻き上げる揚縄に用いる油圧装置

開発丸の甲板機器や漁撈機器は，開発丸の甲板機器や漁撈機械は，铸铁製のため，材質上錆びやすく，機器の管理上注意が必要であった。しかし，乗組員の交代等により，情報共有がうまく機能していなかった可能性が高く，油圧系統の激しい痛みが目立った。グリステープ処理は，確かに配管系統を保護する役割を持つが，時間が経過すると潮風を受け劣化し，却って逆効果になると機関長は考えている。

実際，今まで甲板機器に関する情報が，ドックオーダーとして，船側から挙げられることは無く，結果として整備されていなかった。陸上の管理者としては，船側

から指摘がない限り，先頭を切って動けない現状の仕組みから，甲板機器の状態などの些細な情報や問題も，ぜひあげてほしいと指摘している，このことから，音声つぶやきシステムにより適切に陸上と情報共有が行えていれば，大きく腐食することは妨げた可能性がある．今回の気づきメッセージで，陸上管理者が状態を把握したことにより，具体的な修繕や予備品手配にむけた動きが行えることで，③の評価となったと考えられる．

4.5.4.2 不必要な予備品に関する気づきメッセージの例

《音声》

サイズの合わない垂鉛^aや不要な洗剤はあるが，必要なものはない

《ワークショップでの発言》

工務監督：

聞いてみたら，一回も使ったことがないものの残りがあるなど，会社側ではわからない．船に行かないとわからず，船でも結局，ドックに入渠したときに初めてわかる．そのため，予備品の扱い方に関して，非常に情報がない．言ってもらわないとわからない．

a 犠牲電極に用いる垂鉛のこと．試行評価で対象とした船舶は海水冷却の船舶であり，塩害による配管や機器の劣化をおさえるため，イオン化傾向の高い垂鉛を犠牲電極として用いる．

今まで予備品に関する情報は，船から陸上の管理者に十分情報として行き届いていなかった．実際，垂鉛の注文は，船側から挙げられておらず，陸上の管理者もその点について把握していなかった．

予備品に関する情報を，つぶやきとして船側から挙げてもらうことで，陸上側としても確認事項として捉えることもでき，ドックオーダーや予備品発注を確認して，実際にアクションにつなげることができる．

船舶において，予備品管理は重要な仕事であるが，短期間での機関長交代や，新機関長が着任してからすぐ出航してしまうため，丁寧に対応することが難しい現状がある．気づきメッセージを活用して，予備品を把握しておくことができれば，迅速な対応が可能となる．

4.6 考察

本研究の対象である船舶機関保守業務のナレッジマネジメントの特徴は、知識の送り手である機関士と知識の受け手である工務監督が、時間的・空間的に密なコミュニケーションが難しく、同一職場内のナレッジマネジメントとは大きく異なる点である。これは、von Hippel (1994) の情報の粘着性を解消する4つのパターンでは、往復のコストが高い（往復が不可能）ケースに相当する。また、現場作業が多く狭い機関室での点検作業中に現場での記録は難しく、詳細な記録をする時間もない。コンテキスト依存で粘着性があり、形式知化によるナレッジマネジメントは困難であるなどの課題がある。

本研究では、これらの特徴・課題を考慮した、新しいナレッジマネジメントの概念モデルを提案する（図4.4）。現場では、コンテキスト依存で粘着性が高い知識の一部（「トリガー」）を、人間（知識の送り手）が言語化・画像化して、トリガー収集機能（音声つぶやきシステム）でデータベースに登録・蓄積する。時間と場所が大きく離れたワークショップのために、データベースからトリガー整理機能（現在は研究者が手動で準備）により、適切な「トリガー」を抽出する。ワークショップでは、その「トリガー」を種として人間（知識の送り手）がオリジナルの知識を再現し、人間（知識の送り手）から人間（知識の受け手）に知識を移転する。ここで、「トリガー」は、知識移転のためのバウンダリオブジェクトとして機能している。「トリガー」だけでは、受け手は知識を内面化することは難しいが、送り手と共にワークショップを行うことで、オリジナルの知識の内面化を実現できる。また、ワークショップには、知識の送り手も参加するため、知識の送り手と受け手の共同化も行われており、共同化と内面化を同時に行う場として捉えることもできる。ただし、送り手と受け手で、ある程度の背景知識が共有できていることが、内面化が成功する前提となる。

従来は、引継ぎ書類を用いて、送り手と受け手が知識移転を実施していたが、引継ぎ書類があったとしても、時間と場所が大きく離れた状況では、移転できない知識が多くあることが本研究で明らかになった。これは、von Hippel (1994) の示した情報の粘着性を解消する4つのパターン（特に、往復コストが高い場合の対処法）にはない、新しいパターンと考えられる。内平 (2010) の内面化ワークショップで

は、必ずしも知識の送り手は、ワークショップに同席する必要はなかったが、バウンダリオブジェクトとしての構造化ケースの作成には、かなりの労力が必要だった。本研究では、現場での気づきメッセージ（「トリガー」）の登録は、低コストで行うことができる。

以上をまとめると、本概念モデルでは、前述の課題を以下のように解決できる。

(1) 実際に作業を行い、現場知識の発生（気づきの場）と知識共有の場が、時間的・空間的に大きな距離がある。

⇒ 蓄積された「トリガー（気づきメッセージ）」を種にワークショップの中で知識を再現し、現場との時間的・空間的な距離を埋める。

(2) 現場作業が多く、狭い機関室での点検作業中に、現場での記録は難しい。詳細な記録をする時間もない。

⇒ 最新の情報通信技術の進化で、「トリガー（気づきメッセージ）」は、現場で簡単に記録・蓄積でき、コストをかけずに現場で実装可能である。

(3) コンテキスト依存で粘着性があり、形式知化によるナレッジマネジメントは、困難であるなどの課題がある。

⇒ 完全な形式知化は行わず、ワークショップの中で「トリガー（気づきメッセージ）」を種に、人間が補完する形で知識の移転を行う。これは送り手と受け手の間で、ある程度の背景知識を共有できていることで、実現可能になる。

4.7 まとめ

遠洋マグロはえ縄漁船における、音声つぶやきシステムを活用したナレッジマネジメント手法の試行評価により、船舶機関部における気づきメッセージが、工務監督の業務に必要な知識の共有に、有効であることを示した。気づきメッセージは、既存の機関日誌に記録されている数値には、現れない機械の状態などの現場知識を捉え、ワークショップにより内面化しやすい形で工務監督に伝えることができたと考えられる。

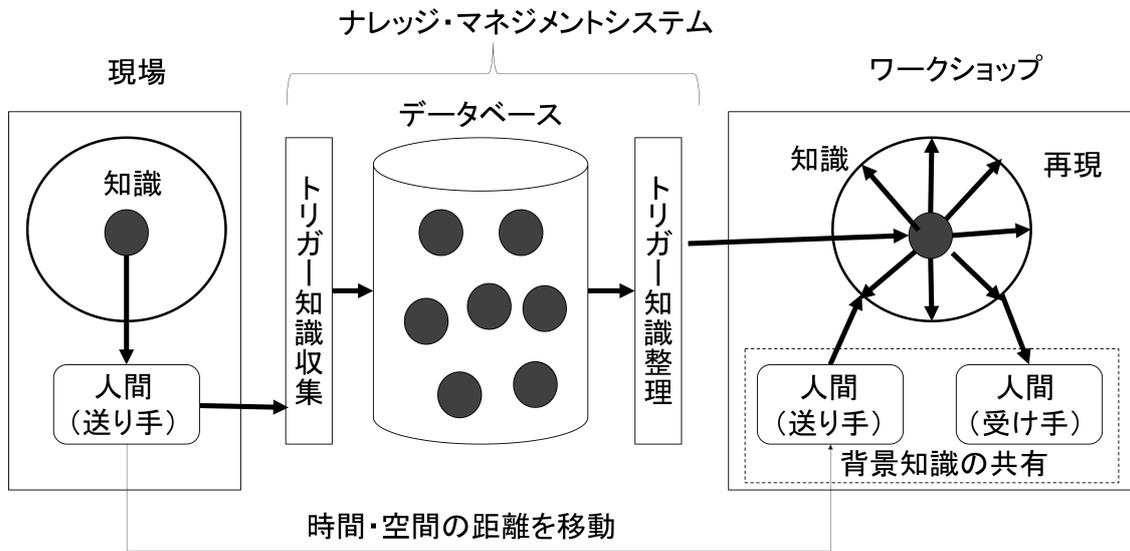


図 4.4: 提案手法の概念モデル

著者作成

人間の気づきも含めた次世代のデジタルツインコンセプトとして、内平・西村 (2022); Uchihira et al. (2023) は「Human Centric Digital Twin」を提唱している。本章で提案した「トリガー」としての気づきメッセージを、ワークショップで活用する手法は、「Human Centric Digital Twin」構想のコア機能の一つとして一般化していく予定である。また、ワークショップに参加していない関係者（造船所など）との知識共有の仕組みの構築も、今後の課題である。

本試行を通じて、本論文の核の一つとなる、人間の気づきの有用性を検証し、IoT を活用して、機械センサを直接収集することが困難な現場やメンテナンスなど、多くのコンテキストが埋め込まれている。作業者の柔軟な対応によって維持されている現場において、人間の気づきが特に有効であることを示した。

第5章 機械センサデータと人間センサデータによる知識抽出

5.1 はじめに

前章では、人間の気づきを活用したナレッジマネジメントについて述べた。本章では、現場の作業者の五感によって得られる気づきと、センサデータの統合による予測モデルの構築を試行し、人間機械協働型のナレッジマネジメントについて考察する。IoT などにより、圃場の状態をリアルタイムで監視し、予測や営農支援を行うシステムは、以前より開発されてきた。しかし、現場で多くのことを暗黙的に判断し、行動する人の五感を組み合わせて、活用する手法の提案は限られてきた。

日本の農業分野において、農業就業人口の減少と高齢化が進行しており（農林水産省）、これに伴い、熟練農業者の知識が、若手農業者に継承されることなく、失われるといった問題が発生しており、熟練作業者の持つ暗黙知を形式知化してくなどの取り組みが求められている（野坂, 2022）。これに対し、日本においてはスマート農業が推進されているが、IoT では作物に今どのような異変が生じているかといった情報把握が完全ではなく、人間の確認等が不可欠であることや、使用するIoT 機器・サービスが高コストであることが課題として指摘される（農業情報学会, 2019）。実際に、農業者は豊富な経験をもとに、病虫害の発見や農作物の環境変化を感知し、判断・作業を行っている。このような農業者の判断・作業に関する知識を収集するには、IoT による機械センサデータのみでは不十分である。

本章では、農業分野での利用を想定して、機械センサからのセンサデータと現場での人間センサによる気づきの活用について検討する。実際の農業の業務を切り取った形の実験室実験として、プランタにより、カブを栽培し、その際の栽培データをセンサにより取得収集するとともに、水やりの際に、温度などの周囲の環境や土の状態を五感によって感じ取り、記録することで、人間センサとしてのデータを入力する。

具体的には、現場での気づきの収集とセンサで収集した環境データ、土壌状態の

データを統合し、3 時間後の土壌水分量の予測モデルを構築し、人間センサと機械センサ統合による知識抽出や状態予測の可能性について検討する。水やり作業の難しさは、近接領域である園芸においては「水やり三年¹⁾」という言葉で表現される。これは、土の状態を正確に把握し、適切に水を撒くようになるには時間と経験が掛かるということであり、土の種類や天候、環境、巻き方によって植物の根に大きな影響を与えることを端的に表している。

今回はこのような繊細なタスクを試行対象として設定することで、人間センサの有効性と機械センサとの組み合わせを検証する。

5.2 農業における IoT の活用・DX 推進

今まで多くの研究において、デジタル技術を活用した農作業支援のアプリケーション開発が行われてきた (Hirafuji, 2000; Liqiang et al., 2011). 例えば、圃場に複数の埋め込み、もしくは移動式センサを設置するフィールドサーバのコンセプトは、Web ベースの IoT システムにより、リアルタイムでの圃場の情報取得を実現し、遠隔での監視や意思決定を支援した (Fukatsu and Hirafuji, 2005, 2014). このように、多くの農業研究において、機械センサによるデータ取得や活用の研究が行われてきた。

さらに、機械センサで収集したデータを、アプリとして活用した農業に関する研究として、個別の課題に対応したアプリケーションとして、農業用水のタンクの水位を監視する警告システムの研究 (Jisha et al., 2019) や画像解析による作物の健康診断と IoT を通じた環境パラメータの制御の研究 (Mathana and Nagarajan, 2020) などがある。これらの先行研究から、機械センサを活用した手法が作業の効率化やリモート監視などに有効であることを示している。しかし、多くの場合、土壌の湿り具合の偏りや土の柔らかさなどの状況を、特徴づけるあらゆる情報であるコンテキストは収集できないために、実際に取得可能な情報の種類は、限定的であることが課題としてあげられる。

いずれの取り組みも、多くの場合、農作業のある特定のタスクを対象としており、変化する作物や環境の状況を、十分にとらえることができていない。Dey

1) https://www.bonsai.co.jp/glossary/glossary_category/magyo/

(2001) は、コンピュータによって、周囲の環境や状況を認識する手法として、Context-aware Computing を提唱しており、コンテキストを以下のように定義している。

コンテキストは、エンティティ（実在物）の状況の特徴付けるために使用できるあらゆる情報である。エンティティとは、ユーザ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、ユーザとアプリケーション自身を含む (Dey, 2001, p. 5)。

IoT を活用した Context-aware な手法として、CA4IoT(Perera et al., 2012) など複数のセンサの情報を組み合わせ、オントロジーベースで記述するシステムなどが提案されているが、そもそも、経験豊富な現場作業者が感じ取る環境変化や経験を、予め取り込むことは困難である。Uchihira et al. (2023) は暗黙知と形式知の中間として、現場であれば表出可能な知識として、現場知識を提唱している。農業においては、この現場知識を収集し活用することが有効である。

また、農業 IoT の課題として、機械センサ設置のコストの課題が挙げられる。多くの農家において、複数の田畑を抱えており、すべての圃場にきめ細かに機械センサを設置し、収集することは現実的でない。Uchihira and Yoshida (2018) は、人間センサと機械センサによる、IoE ナレッジマネジメントを提案している。人間センサと機械センサの併用は、機械センサは点であるのに対し、人間センサは、フィールドを動きながら、時には広く面で捉え、必要に応じて、五感を駆使し、集中して捉えることもできる。これは、機械センサ単体で解決できなかった導入コスト、収集できるデータの限界を解決する。一方で、Uchihira and Yoshida (2018) の提案は、機械センサと人間センサの統合に関しては、IoE ナレッジマネジメントモデルのコンセプトを示したに留まっており、知識抽出手法や予測モデルの構築方法など、具体的な実装に向けた検討が十分になされていない。本章では、この課題に対して、実際のプランタ栽培実験を通じて、人間センサと機械センサの統合による知識抽出の可能性を検証する。

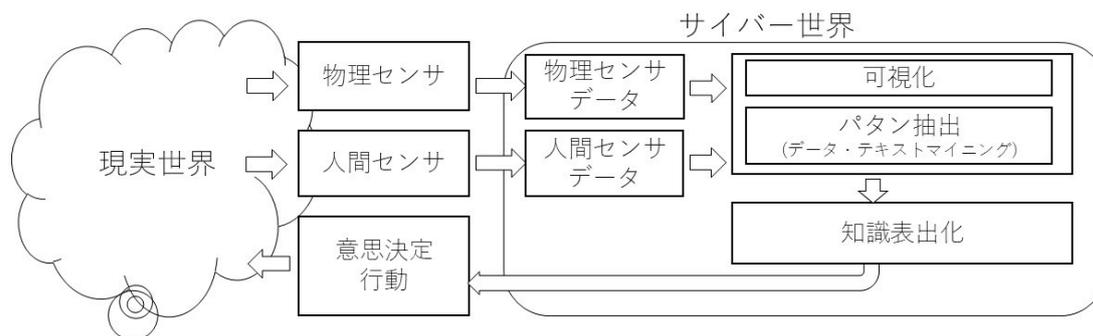


図 5.1: IoE を活用した農業ナレッジマネジメント
(Uchihira and Yoshida, 2018) を参考に著者作成

5.3 実験室実験概要

一般的に、人間は広く全体を見渡し、意識的・無意識的に己の持つ経験や知識を通じて状況を、認識・判断する。しかし、周りの環境や作業者の体調などに依存し、継続的に同じような判断を下すことは困難である。一方で、機械センサは、設置個所に強く依存する。加えて、場合によってはキャリブレーションなどが必要であるが、継続的かつ安定的に記録を行うことが可能である。今回、実際の圃場でなく、実験室実験を用いて検証した。その理由として、機械センサでのデータ取得の安定性、評価の観点から、各実験対象の土壌を、可能な限り均一化する必要があったためである。

5.3.1 目的

本実験の目的は、人間センサと機械センサの統合による、知識抽出手法の有効性を検証することである。具体的には、プランタ栽培における土壌水分量の予測を対象として、以下の2点を明らかにする：①人間センサデータと機械センサデータを統合することで、より精度の高い予測モデルが構築可能か、②人間センサデータの追加が、予測モデルの説明可能性にどのような影響を与えるかを明らかにする。

土壌の水分量管理は、熟練農業者の経験と勘に頼る部分が大きく、機械センサのみでは十分に捉えきれない現場知識が存在する典型的な例である。そのため、本実験では、土壌水分量の予測タスクを通じて、人間センサと機械センサの統合による

知識抽出の可能性を検証する。

5.3.2 実験環境

本実験では、プランタ栽培における機械センサデータ（気温、湿度、照度、土壤温度、土壤水分率）と人間センサデータ（日差しの強さ、土の表面の湿り具合、土の感触、天気）を統合・分析することで、土壤水分率の増減が適切な値になる時の条件に関する知識を抽出する。具体的には、3つのプランタでカブを栽培し、機械センサデータ（各プランタに2台の回路を設置）を収集するとともに、1日に1回、プランタの土壤の観察内容を音声つぶやきシステムで記録する。本実験の実施環境を表5.1に示す。

表 5.1: 本実験の実施環境

実施期間	2022年10月20日～2022年12月19日
参加人数	1人
実施場所	北陸先端科学技術大学院大学 学生寄宿舍ベランダ
収集した機械センサデータ	気温, 湿度, 照度, 土壤温度, 土壤水分率
収集した人間センサデータ	日差しの強さ 見た目の土の表面の湿り具合 土の感触
プランタに与えた水やり量 (1日1回)	プランタ1: 毎日 1L プランタ2: 毎日 2L プランタ3: 毎日 3L

5.3.3 人間センサからの入力

1. 天気：天候の様子
2. 日照強度：日差しの強さ
3. 土壤表面：目視による土の湿り具合目視
4. 土の感触：触診による土の湿り具合

主に、天気と土壌・気温の感じ方に関しての入力を行った。特に、土の状態に関しては、センサのみの入力では捉えることが困難であると考えられる。土の湿り具合に関しては均一ではなく、同じプランタ内であっても偏りが生じる。実際の育成の現場においても、土の種類によっても乾きやすさなども異なるため、人間による確認が重要であると考えられる。そこで、人間センサからは5段階の評価として、土の湿り具合を目視、及び指先の触った感覚で、入力し記録した。

また、比較的安価な日照センサではセンサによるブレが大きい。例えば日差しの強さに関しては、ちょっと影の変化や設置個所、によって大きく結果が左右されてしまい、例え平均値をとったとしても、適切な値が入力できるとは限らないことから、人間センサにある程度の優位性があると考えられる。人間センサによる入力に関しては、今回は取り扱いやすいよう、それぞれ5段階での入力を行った。気づきメッセージの例と共に図 5.2 に示す。

今日の天気は晴れで、日差しはとても強いです。また今日は風がほんの少しだけ吹いています。土の表面に関しては、すべてのプランタにおいて、ほんの少しだけ湿っています。また、土の感触はすべてのプランタにおいて、ポロポロしています。

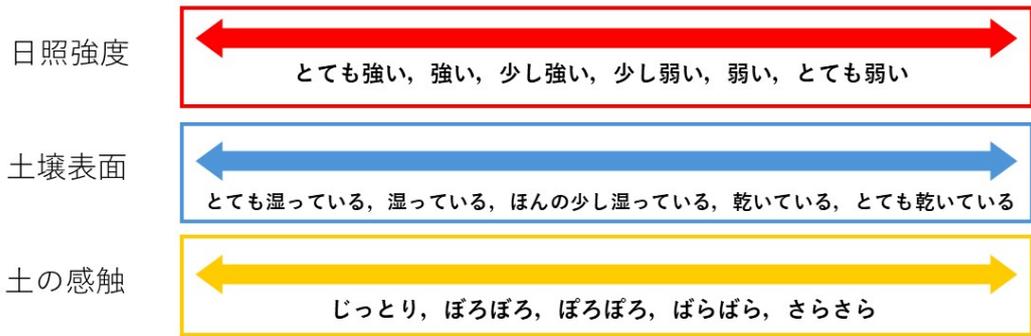


図 5.2: 気づきメッセージの例と人間センサからの入力
著者作成

5.3.4 機械センサからの入力

機械センサからの入力として、①気温 (DTH11)、②湿度 (DTH11)、③照度 (GY-302)、④土壌温度 (DS18B20)、⑤土壌水分量 (tojyo516) の値を取得し、ESP32²⁾ を使用し、WiFi にて MQTT ブローカーへデータを送信した。機械センサの実装構成は図 5.3 に示す。

5.3.5 システム構成

本実験におけるシステム構成は、図 5.4 のようになる。まず、人間センサデータの収集については、音声つぶやきシステムとして RECAIUS フィールドボイス³⁾を用いて、農作業中の観察及び実施記録を、音声と画像により収集する。次に、機械センサデータの収集については、プランタ周囲の環境情報を MQTT⁴⁾を利用してリアルタイムで送信し、時系列データベース (InfluxDB⁵⁾) に格納する。

機械センサデータの実装については図 5.6 に示す。また、実際の人間センサデータ、及び機械センサデータの収集方法について、図 5.4 に示す。

5.4 予測モデルの構築方法

本実験では、収集した機械センサデータ及び人間センサデータ活用して、決定木ベースの機械学習モデルである lightBGM(Ke et al., 2017) を用いて、3 時間後の土壌水分率を予測するモデルを構築する。lightBGM を選定した理由として、後述する SHAP(Lundberg and Lee, 2017; Lundberg et al., 2020) などのツールを用いて、モデルの可視化が容易に可能であること、他分野における取り組みにおいて、ディープニューラルネットワークのモデルと同等かそれ以上の精度を実現している点 (李ら, 2020) を考慮した。試行評価の流れを図 5.6 に示す。

次に学習に使用した特徴量を表 5.3 に示す。

人間センサデータによる変数については, sun_light, soil_light, soil_feel につい

2) <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

3) <https://www.global.toshiba/jp/products-solutions/ai-iot/recaius/lineup/fieldvoice.html>

4) IoT 向けのメッセージプロトコル。軽量, pub/sub などの特徴を持つ。 <https://mqtt.org/>

5) <https://www.influxdata.com/>

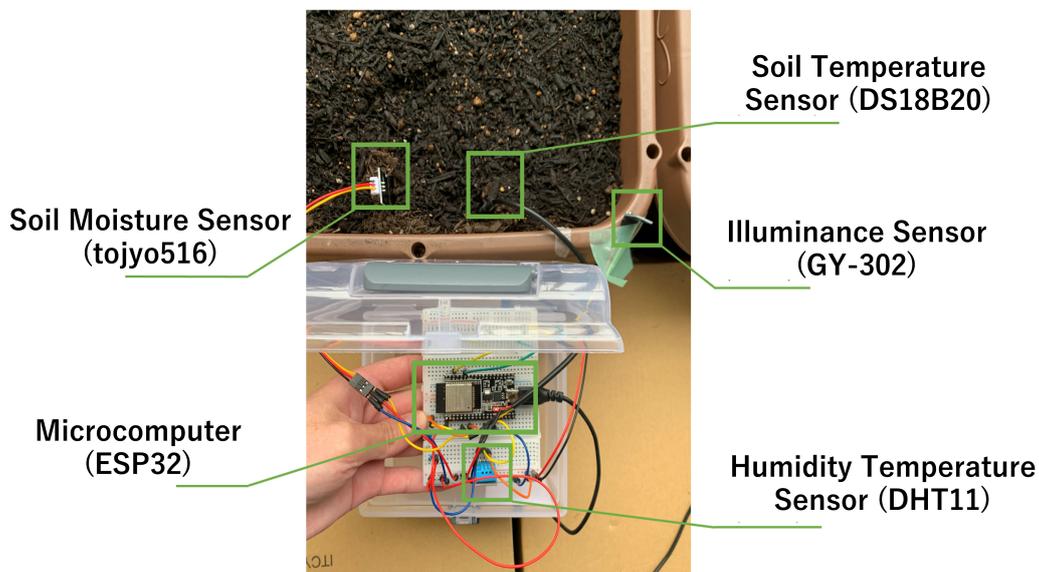


図 5.3: 機械センサの実装
著者作成

ては表 5.4 のように順序尺度を採用し，天気に関する変数である `sunny_dummy`, `rainy_dummy` については表 5.2 のようにダミー変換し，分析に使用した. `spoiled_water` のデータを追加し，与えた水の量を追加した上で，プランタ 1 からプランタ 3 までのデータを結合し，機械学習モデルの作成を行った.

表 5.2: 天候データのダミー化

天気	<code>sun_dummy</code>	<code>rain_dummy</code>
晴れ	1	0
雨	0	1
曇り	0	0

5.5 実験結果

機械センサと人間センサの融合の有効性を確認するため，機械センサデータのみから生成した予測モデルと，機械センサデータと人感センサデータから生成した予測モデルの精度を比較する．構築した予測モデル及びハイパーパラメータの結果を

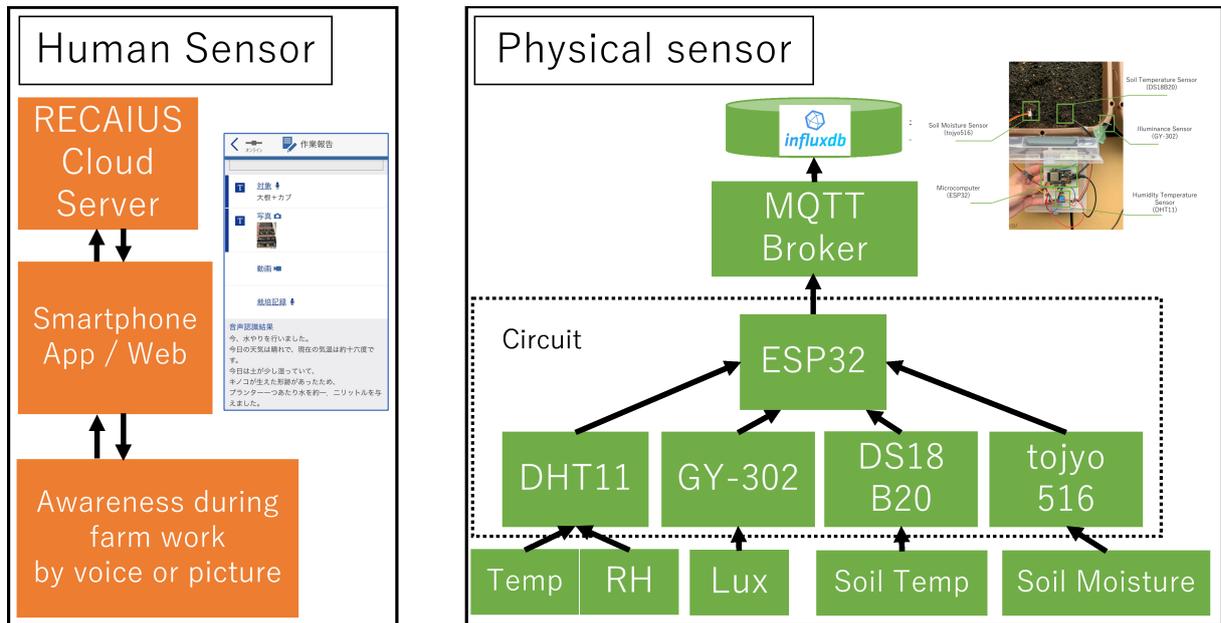


図 5.4: 試行評価に用いたシステム構成
著者作成

表 5.3: 予測モデル構築に使用した変数

説明変数	機械センサ	temperature (温度) humidity (湿度) illuminance (照度) ground_temperature(土壌温度) soil_moisture (土壌水分率)
	人間センサ	sun_light (日照強度) soil_surface (土壌表面) soil_feel (土の感触) sunny_dummy (天候の晴れをダミー化) rainy_dummy (天候の雨をダミー化)
	その他の変数	spoiled_water (与えた水分量)
目的変数	機械センサ	soil moisture after 3_hours (水を与えてから 3 時間後の土壌水分率)



図 5.5: 実験室実験の様子
被験者撮影

それぞれ表 5.5 及び表 5.6 に示す。RMSE スコアの評価方法として、RMSE の値が小さいほど精度が高く表される (式 5.1)。機械センサ (7.32872) に対して、人間センサデータモデルを含む機械センサと人感センサの融合 (7.07413) の RMSE スコアが低いことから、人間センサデータモデルを追加することで、機械センサでは捉えきれない土壌の状態を追加することができ、人間センサデータを含まないモデルと比較してより精度の高い予測が可能であることが確認された。

RMSE は、大きな誤差に対応するため、より大きな誤差に対してペナルティを与えることが知られている。モデルは 3 時間後の土壌水分率を予測するが、プランタの環境は、3 時間までの間に絶えず変化している。したがって、高い精度で予測することは難しい。そのため、今回の予測では、多少の誤差は許容できる RMSE を利用した。RMSE の評価値は、そのまま単位に換算でき、人間センサデータを含む

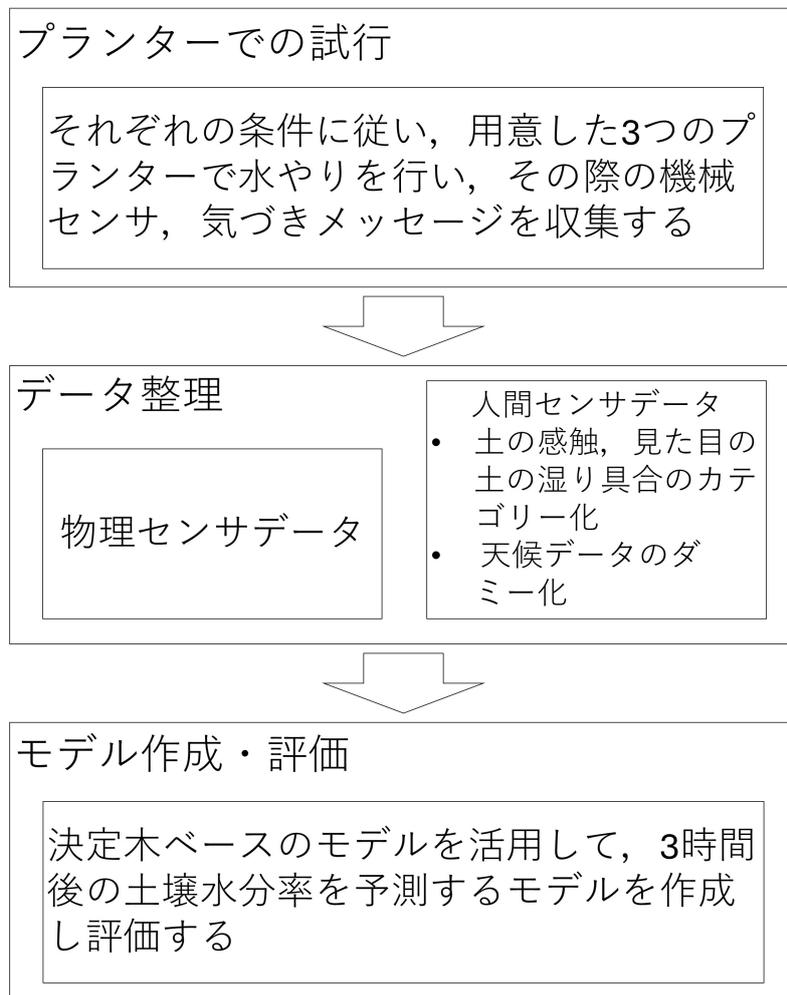


図 5.6: 試行評価の流れ

予測モデルは，予測値に RMSE の平均値程度の誤差を持つことがある。

各モデル値が，予測値に与える影響を評価するため，SHAP(Lundberg and Lee, 2017; Lundberg et al., 2020) を用いて，人間センサを含むモデルを用いた 3 時間後の土壌水分率予測への寄与を示す (図 5.7)。土壌水分率や温度などの機械センサ値に加え，土壌表面や状態などの人間センサ値も予測に寄与している。しかし蒸発量の影響は予想よりも小さかった。実験では，土壌の状態は環境要因にかなり影響された。従って，人間センサによる土壌状態の評価は，植物環境を適切に捉えるという点で有効である。

表 5.4: 人間センサの日照強度・土壌表面・土の感触の評価尺度

日照強度 (sunlight)		土壌表面 (soil_surface)		土の感触 (soil_feel)	
とても強い	5	とても湿っている	6	しっとり	4
強い	4	湿っている	5	ぼろぼろ	3
少し強い	3	少し湿っている	4	ぼろぼろ	2
少し弱い	2	ほんの少し湿っている	3	ぼらぼら	1
弱い	1	少し乾いている	2	さらさら	0
とても弱い	0	乾いている	1		
		とても乾いている	0		

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5.1)$$

表 5.5: 予測モデルの評価

モデルタイプ	Train RMSE score	Test RMSE score
人間センサデータを含むモデル	1.43178	7.07417
人間センサデータを含まないモデル	3.26528	7.32872

5.6 まとめ

本試行では、人間センサデータと機械センサデータを統合し、lightGBM を活用することで、土壌水分率の増減が適切な値となる時の条件に関する知識を抽出した。本提案手法では、目的変数を土壌水分率の増減に定めたが、実際の農業現場では、育成する作物や農作業内容に応じて予測対象を設定することが必要である。そのため、季節性の高い作物の育成や、特定の地域で生産が限定される作物を栽培するための学習においても、汎用性が高いアプローチだと言える。さらに、熟練農業者の人間センサデータが、組み込まれた決定木を参照することで、作業支援や学習支援に活用可能である。

表 5.6: モデル構築に用いたハイパーパラメータ

パラメータ	値
最大エポック数 (max epoch)	100
最大深さ (tree max depth)	4
葉当たりの最小データ数 (min data in leaf)	3
早期終了 (early stopping)	50
葉の数 (number of leaves)	30
学習率 (learning rate)	0.1

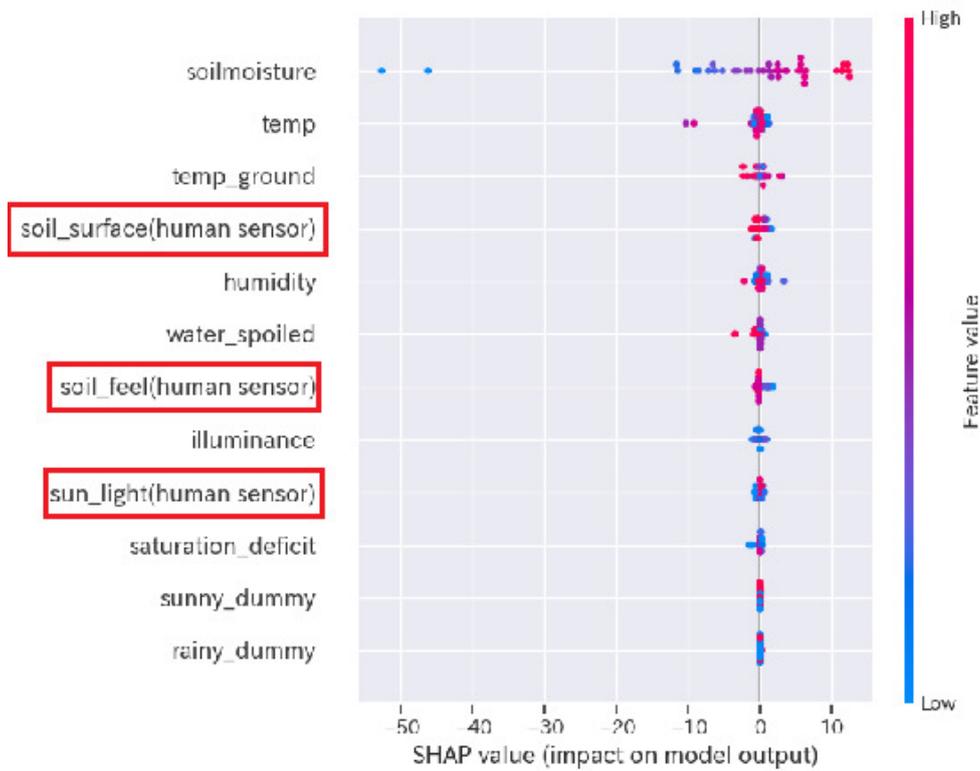


図 5.7: SHAP を用いた人間センサモデルの可視化

本試行を通じて、人間センサと機械センサの統合による知識抽出の可能性を示せた。一方で、以下の課題も明らかになった。第一に、抽出された知識が個別のケースに特化しており、より汎用的な水やり作業支援に活用できる知見の抽出には至らなかった点である。第二に、実際の農作業現場における本手法の有効性検証が必要である。より実践的に評価を行うためには、実際の熟練農業者からの人間センサデータを収集し、機械センサデータと統合する必要がある。

第6章 人間の気づきと機械センサーデータによる人間・機械協働型ナレッジマネジメント

前章で示した、機械センサーデータと人間センサーデータを統合した知識抽出では、プランタへの水やりといった特定のタスクに着目し、人間の気づきと土壌センサを組み合わせ、水分量の予測を実現した。ここでは、4章で示した人間の気づき主体のナレッジマネジメントと前章での取り組みを基に、より統合的な人間・機械協働型ナレッジマネジメントについて検討し提案する。

4章での取り組みでは、音声つばやきシステムを活用し、人間モニタの形で現場において、人間の気づきを収集し、ワークショップによって、その気づきを共有する手法を示してきた。一方で、ワークショップの場に、知識を記録した送り手と受け手、その両方が同席する必要があった。加えて、ワークショップの場において共有化された知識を、ワークショップに参加していなかった他の作業者に、伝える具体的な手法を提示できていなかった。

本章では、現場での気づきによる知識収集、ワークショップによる知識共有、共有された知識の構造化を含めた一連の知識収集、共有、構造化を含むナレッジマネジメント手法を提案し、その手法の有効性を検討するために行った事例による説明を示す。まず、本提案で構造化の部分で取り扱う知識構造化手法を解説する。

6.1 知識構造化手法

知識を構造化する手法として、様々な手法が用いられてきたが、著名なものがオントロジーによる知識の記述方法であろう（例 (Musen, 2015; 溝口, 2005)）。また、Web ベースのオントロジー表現としてセマンティック Web として、RDF を拡張した Ontology Web Language(OWL)(Bechhofer et al., 2004) などが提案されているが、簡易に知識構造を定義できる一方で、こちらは主に HTML タグの拡張を中心として、それぞれの関係性を定義するに留まっている。しかし、コンテキストを多様に含み、曖昧さを持つ現場知識を記述することは、コストや表現方法の観点から現実

的でない¹⁾。加えて、現場知識では動的であることもあり、オントロジーでの記述は容易でない。

動的なユーザの振る舞いやソフトウェア開発の現場においては、多様な記述方法とオブジェクト指向を意識した仕組みから、Unified Modeling Language(UML)(OMG, 2017)などが使われてきた。一方で、これらのツールの目的は知識を記述することそのものではなく、ソフトウェアの開発対象となるユーザのプロセスを詳細に分析し、理解することであり、知識そのもの記述しようとするものではなく、振る舞いや関係性を記述するものだと考えられる。また、オントロジー、UML とともに、適切に記述するためには修練が必要であり、現場作業者のようなユーザ自身が記述し、改良していくことは難しい。より簡便かつ動きに着目したものとして、Functional Resonance Analysis Method(FRAM)(Hollnagel, 2013)や Failure Mode and Effects Analysis(FMEA)(McDermott et al., 2009) などがあるが、こちらはリスク評価や事故分析などを対象としており、知識の記述を目的としていない。

本提案手法では、知識構造化手法として、Convincing Human Action Rationalized Model(CHARM)(Nishimura et al., 2013, 2017)を採用する。CHARMは目的指向で知識を記述する手法であり、これらを作成、活用するツールとしてkNeXaRが開発されてきた(Nishimura et al., 2013, 2017)。CHARMは目的を上位に置くことで、同じ分解度の手続きを下位に記述し、下位の手続きを完了することで、上位の手続きを達成することができるような記述法となっている。CHARMによる記述手法の例を、図 6.1 に示す。知識そのもの記述とは別に、例や追加の情報、手続きを行う際の記述なども別項目として追加できる。

CHARMの強みとして、機械可読性を維持しつつ、高い表現力を持って、柔軟に人間の動作に関する知識を表現できる点が挙げられる。その強みを生かして、今まで、介護・看護(Nishimura et al., 2013; 伊集院ら, 2022)や楽器の演奏(Iino et al., 2017, 2020)、身体動作の指導法(佐藤ら, 2024)、保守点検分野における熟練者の暗黙知の構造化(伊集院ら, 2021)での知識表現ツールとして活用されてきた。曖昧さや現場のコンテクストを含んでおり、従来のオントロジーによって表現が困難であった現場知識を、CHARMを用いることで柔軟に表現ができる。多くの現場知識

1) おそらく個別の現場知識はオントロジーで記述された知識のインスタンスに該当する部分もあると考えられる。

は、例や追加の情報を踏まえて活用することで、実際の行動として利用できるものが多いと考えられる。CHARMのように知識表現の中で、具体例や注意点なども扱える記述法は、合理的である。

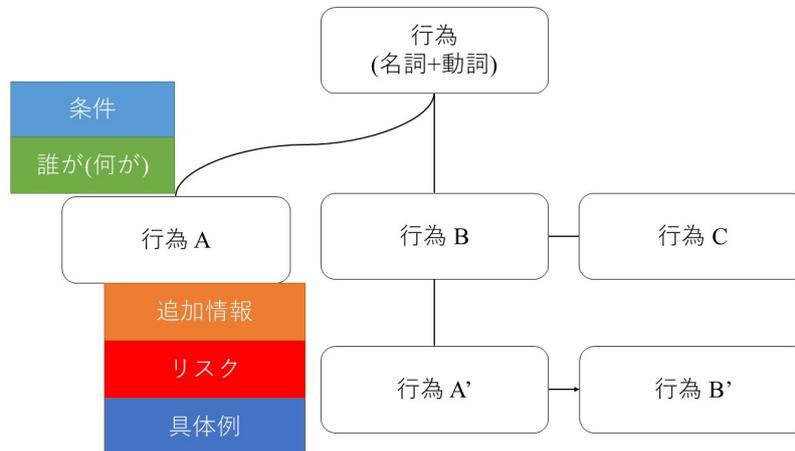


図 6.1: CHARM

(Nishimura et al., 2013, 2017) を参考に著者作成

6.2 人間・機械協働型ナレッジマネジメント

従来のナレッジマネジメントにおいては、形式知を対象として、その形式知の共有を支援するようなナレッジデータベースの構築と活用による手法と、暗黙知に着目し、組織学習または実践共同体の視座から人間の持つ暗黙知の表出化、組織内での知識共有による取り組みが行われてきた。一方で、そのどちらの取り組みにおいても、現場知識を抽出して共有する観点から、不十分であると考えられる。

本章では、Uchihira et al. (2023) の提案を、音声つぶやきシステムと CHARM をベースとして構築する。実装コンセプトを図 6.2 に示す。従来、CHARM での構築では、予め構築された作業手順知識を、ワークショップでのディスカッションを通じて更新する運用で、知識の記述を充実される方法が提案されている (伊集院ら, 2022)。本実装コンセプトでは、マニュアルや作業が定まっていない場合がある作業 (例：農業や保守点検) を対象としており、作業手順知識のベースとなる知識がない状態からの知識構築を想定している。

4章で示したように、気づきメッセージの形で現場知識を予め収集し、ワークショップの場で共有することで、気づきメッセージをトリガーとして、現場でないと表出化が困難な知識を引き出し、ワークショップにおいて、時間と空間が現場と離れていても知識共有できることを示している。一方で、①ワークショップ参加者以外への知識共有②ワークショップで気づきメッセージをトリガーとして共有した現場知識の保存と現場での活用が課題となる。これらの課題は、ワークショップでの気づきメッセージをトリガーとした現場知識の共有に加えて、ワークショップで得られた現場知識の構造化と保存、構築した構造化知識の活用によって解決できる。

以下の手順にて気づきメッセージを収集し、ワークショップにより気づきメッセージをトリガーとして、現場知識を収集する。その後、現場知識の構造化を行う。引き続き、気づきメッセージを収集し、構築した現場知識の構造化知識に含まれないものがあれば、次回のワークショップで議論し、その結果得られた現場知識を再度構造化知識に反映させる（図 6.3）。

1. 気づきメッセージを通じた現場知識の収集

対象とする現場の作業を行う際に、気づきメッセージを収集し、現場知識をつなぎ留めるトリガーを数多く収集する。その際に、適宜気づきメッセージのフィードバックを行うことで、得られる気づきメッセージの調整を行うとよい。

2. 気づきメッセージのワークショップ

気づきメッセージをもとに、気になる気づきメッセージを中心に議論する。可能であればタグ付けなどをしておくと、見通しが良くなるを考える。BERTなどの自然言語処理モデルを活用し、ベクトル表現化したものを活用し、適切に検索できる仕組みを導入することで、関連した気づきメッセージを効率的に探し出し、現場知識をより具体化しやすくなると考えられる。

3. 構造化知識の構築

ワークショップでの議論をまとめ、CHARMを用いて、ワークショップで取り上げられた現場知識を構造化する。マニュアルの場合、議論した現場知識で

は網羅的に作成することはできず、困難である。CHARM の場合は、議論で得られた現場知識を、コンテキストを残した状態で記録でき、機械センサデータを CHARM の情報部分に記録する。

4. 作成した構造化知識の活用と更新

引き続き気づきメッセージの収集を行う。収集した気づきメッセージを、構築した構造化知識とマッチングし、似た状況や気づきメッセージがあれば、新たな事例として、その気づきメッセージの部分に追加する。見当たらない場合は、その気づきメッセージを次回のワークショップで議論する気づきメッセージとして保存し、次回の気づきメッセージのワークショップで議論する。また、気づきメッセージと似た状況や現場での検索により、似た状況を参考にできるような仕組みを設けることで、ワークショップに参加していない作業員に対しても適切に現場知識を共有できる。

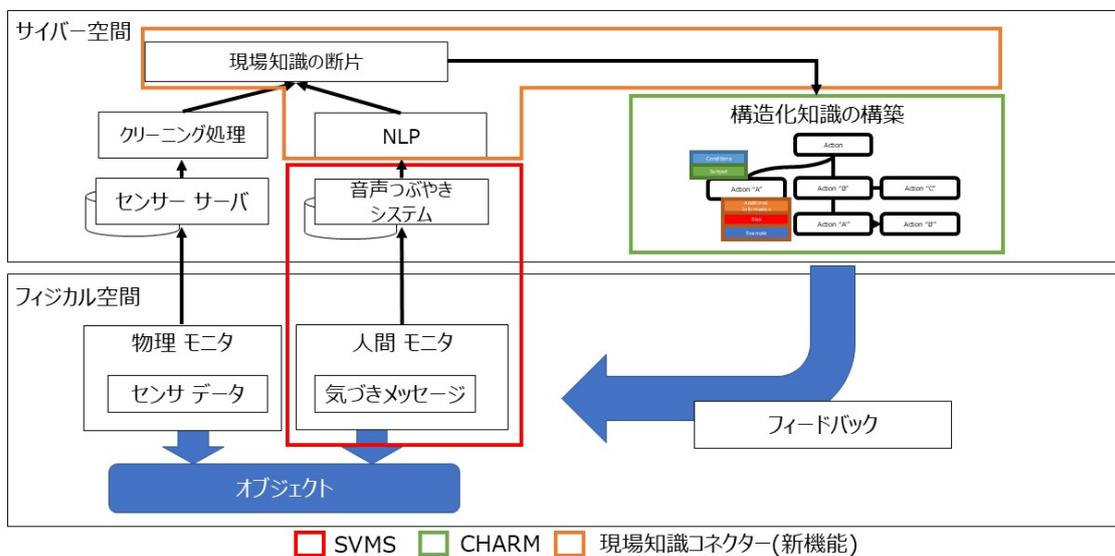


図 6.2: HCDT 実装コンセプト

著者作成

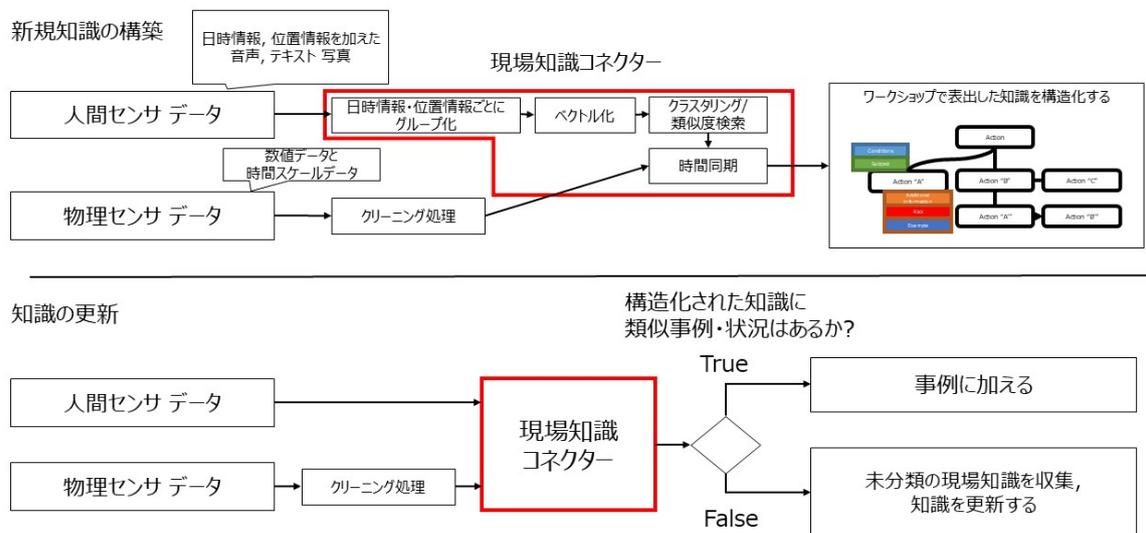


図 6.3: HCDT 実装コンセプトにおける知識追加, 更新のフロー
 著者作成

6.3 既存の事例に基づく説明

提案手法の詳細を具体的な既存の事例を用いて説明する。本説明では、グループ内でのタスクとして、プランタでのバジル栽培による事例 (小川, 2025) をベースとして作成した。ベースとする事例は提案手法を完全に適用したものではないため、ここではベース事例をもとに、提案手法を適用したとして説明する。すなわち、あくまでも説明用の仮想事例であり、実際に試行評価した結果ではない。説明に用いる事例は、今回利用した植物であるバジルは比較的簡単に栽培することが可能である。一方で、栽培環境に差が生じやすく、肥料や水やりによって生育に差が生じる、収穫方法によっても収穫量が変化することなど、各栽培者の判断や知識が栽培に影響を与えることを鑑みて選定した。場所に関しては、各自宅ベランダなど、異なる環境での栽培となった。

また、土壌水分量や気温、湿度を手軽に記録できるセンサデバイスとして、Xiaomi が販売している FlowerCare を活用して記録する (図 6.4)。FlowerCare は観

測対象とするプランタの土に差し、スマートフォンアプリから Bluetooth 通信にて、取得できる。試行の期間や概要を表 6.1 に示す。

表 6.1: 仮想事例概要（ベース事例をもとに著者作成）

対象実施作業	スイートバジル栽培
場所	各自宅もしくは研究室の任意の場所
参加者数	7名 参加者のうち2名がバジル栽培の経験あり
試行期間	合計 67 日間
気づきメッセージ 収集方法	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



図 6.4: 植物栽培時に用いるセンサ

6.3.1 気づきメッセージの収集

まず、本ナレッジマネジメント手法が、取り扱い対象としている作業を対象に情報を収集する。今回はバジルの栽培として、その栽培、特に水やりや施肥に着目し、その作業を気づきメッセージとして記録する。気づきメッセージの記録方法に関しては特段指定をしていないが、写真を用いての記録、別途配布している IoT デバイスの記録を確認してからの水やり・肥料やりを推奨する。利用する肥料、プランタ、種は統一した一方で、プランタの配置、水やり、施肥、間引きなどの実施は各人が調べて適宜実施し、その過程を気づきメッセージとして記録したとする。

本事例では、7 人の参加者で気づきメッセージの記録を行い、1 週間に一回気づきメッセージをまとめた報告書を作成し、グループ内で共有を行ったとする(図 6.5)。今回の場合、各自の環境でバジル栽培を行っていたため、他のメンバーの状況を、簡単には確認できない状況とする。この状況は、4 章で行った船舶機関部のメンテナンスにおける機関士と陸上管理者のように、物理的距離がある状況と酷似しており、現実の農業やメンテナンス現場でも、往々に生じる自体であると考ええる。

加えて、他のメンバーの栽培状況や、気づきメッセージの記録方法を理解し、個々人で反映させる観点からも、他のメンバーの気づきメッセージを、まとめて共有する手法は有益だと考える。試行評価期間中、気づきメッセージは概ね、一日一回程度記録されていた。

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

<p>2024年8月17日(土) 11:03</p> <p>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。</p>	
<p>2024年8月17日(土) 10:36</p> <p>だいふ伸びてきました。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°C、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。</p>	
<p>2024年8月19日(月) 0:13</p> <p>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。</p>	
<p>2024年8月20日(火) 9:10</p> <p>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。</p>	
<p>2024年8月21日(水) 10:17</p> <p>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°C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。</p>	

図 6.5: 気づきメッセージ報告書の事例

6.3.2 気づきメッセージワークショップ

気づきメッセージを共有し、そのメッセージをトリガーとした「現場知識」収集と共有を目的として、栽培実験の参加者全員でワークショップを行う。

6.3.2.1 ワークショップ準備

収集した気づきメッセージを、今回は気づきメッセージの傾向に従って、議論しやすいよう以下の 7 項目に分類する。今回は以下の 7 分類としているが、気づきメッセージの対象とする事柄に合わせて適切に設定すればよい。

1. 環境

プランタの設置場所、天気や気温、土の状態などに関する気づきメッセージ

2. 種蒔

バジルの種の植え方、プランタの土の準備などに関する気づきメッセージ

3. 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

4. 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

5. 追肥

追肥に関する気づきメッセージ

6. 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

その後、気づきメッセージを BERT 派生モデルである LUKE(Yamada et al., 2020) に基づいて開発された日本語モデルである GLuCoSE²⁾を用いて、収集した気づきメッセージを分散ベクトルとして表現し、類似する気づきメッセージを簡易に検索できるシステムを利用する (図 6.6)³⁾。ワークショップ用に開発したツールは、ワークショップ中に、気づきメッセージを簡単に探索できるよう、先に紹介した類似する気づきメッセージの検索機能に加えて、気づきメッセージの検索、7つの分

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

3) 言語モデルを API 化し、Web アプリケーションとして利用する過程で、Gradio(Abid et al., 2019) を用いて言語モデルによる検索部分を API 化している。

類したメッセージ毎の絞り込み、記録したユーザごとの絞り込み機能を搭載しており、Webアプリケーションとして提供されている(小川, 2025; Ogawa et al., 2025).

ワークショップ参加者は、ワークショップ前に、各自参加者には議論したい気づきメッセージを3個用意して参加した。議論したつぶやきは、基本的に他のメンバーの気づきメッセージである。選定は各人の主観に任せてあるが、主な選定理由として、行動の理由を知りたい(例 追肥を行ったタイミング、摘芯⁴⁾のやり方)、気づきメッセージからより深く知りたい(例 種を植えたが発芽しなかった。プランタを誤って倒してしまった。)といった理由で選ばれていたとする。

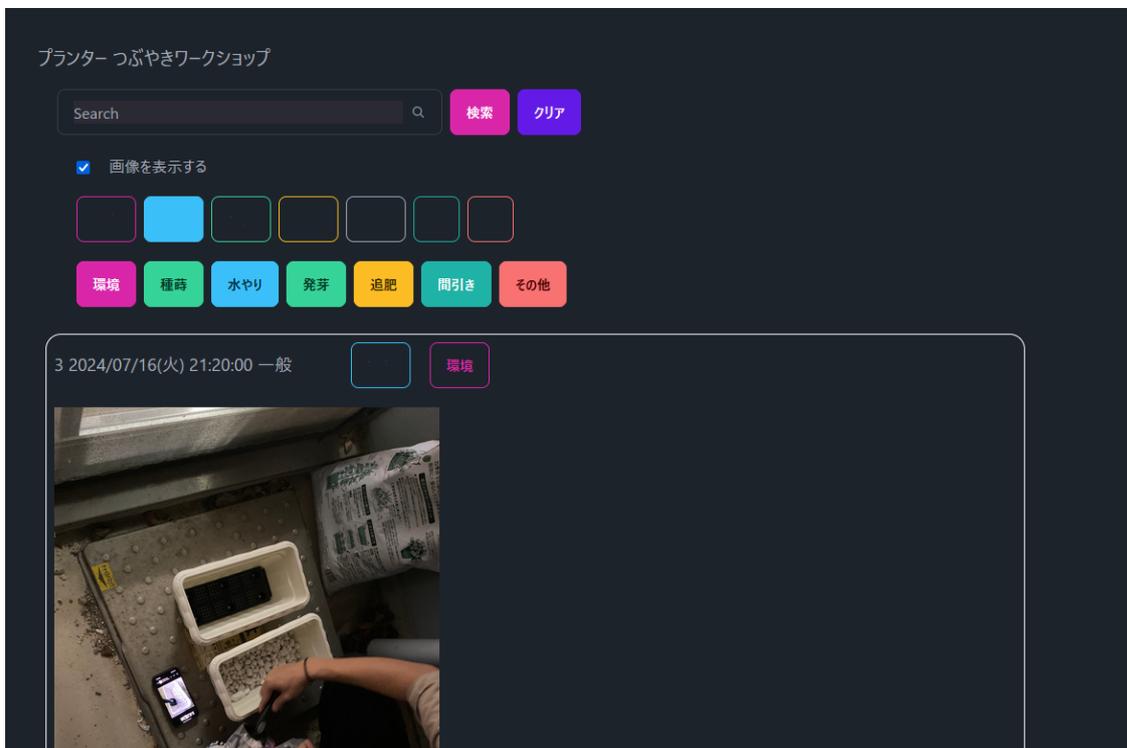


図 6.6: 気づきメッセージの分類・検索機能を有したワークショップサポートツール

6.3.2.2 ワークショップにおけるディスカッション

6.3.1 におけるプランタ栽培試行で、収集した気づきメッセージをトリガーとして現場知識を表出化、共有することを目的としてワークショップを行う。ワーク

4) 植物の茎の先端にある芽を摘み取る作業。植物の上への成長を止め、枝葉を増やしたり、花や実をつけさせたりするために実施する。バジルの場合、摘芯を行わない場合、上へ上へと伸びてしまい倒れやすくなる。また、収穫量を増やすためにも適切に行う必要がある。

ショップでは、予め共有していた気になる気づきメッセージを、1 つずつディスカッションし、気づきメッセージのメッセージや写真そのものには含まれていないコンテキストや、現場での気づき、考えたことなどを主に気づきメッセージを、記録した参加者が回答した。また、気づきメッセージをきっかけに同様の状況や判断を行った参加者も、気づきに関するコメントを行い話し合う時間を設ける。

一通り取り上げたメッセージについて話が尽きた後、6.3.2.1 で説明した、検索ツールにて、検索を行い、選択された気づきメッセージと似た気づきメッセージを抽出し、さらにディスカッションを行う。印象的な状況（この場合では、発芽や摘芯など）以外は、気づきメッセージを記録した記録者も、例え似た状況に遭遇していたとしても覚えていない場合が多い。検索をきっかけとして、似た気づきメッセージを記録していた参加者も、記録した際のコンテキストを再認識する効果もあると考えられる。

本事例では実装できていなかったが、気温や土壌養分量などの情報も、選択された気づきメッセージと似たものを抽出することで、各個々人の判断の違いや同一環境での異なる生育など、より踏み込んだ知識共有ができると考えられる。

ワークショップでのディスカッションは録画し、ワークショップ終了テキスト化する。

6.3.3 現場知識の本事例における例

6.3.1 で収集した気づきメッセージと、6.3.2.2 によって表出化したコンテキストを元に、CHARM をベースに構造化を行う（図 6.7）。既存の CHARM の基本構造を維持しつつ、CHARM の追加情報の部分に、気づきメッセージが記録された際の機械センサ情報を補完し、具体例の部分に気づきメッセージを蓄積する。今回評価用に作成した構造化知識では、番号に対応した一部の構造を示す。

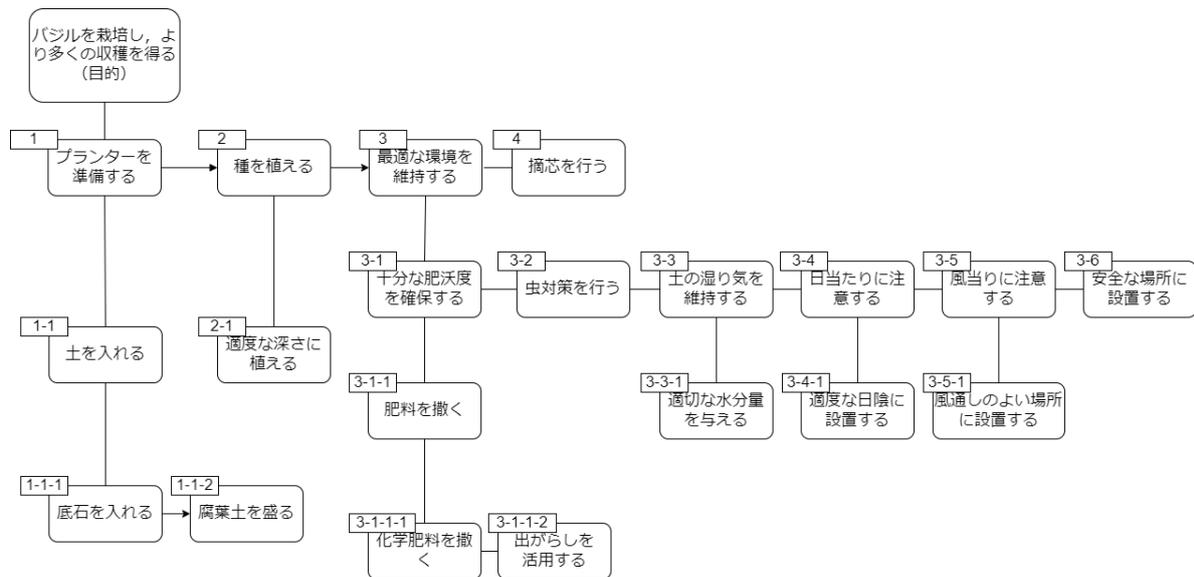


図 6.7: ワークショップでの議論を元に構築されたバジル栽培の構造化知識
著者作成

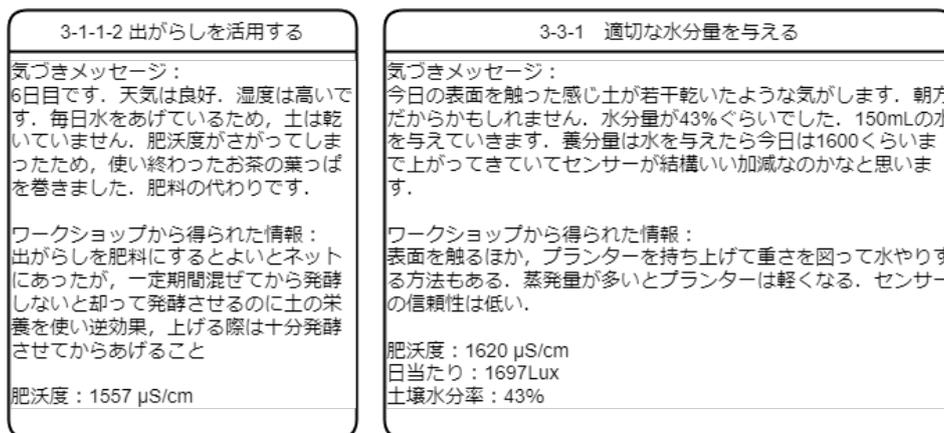


図 6.8: 構造化知識に対応する詳細

3-1-1-2 出がらしを活用する, 3-3-1 適切な水分量を与えるから抜粋
著者作成

また、今回の運用においては、CHARM による知識表現のバックエンドとして、GraphDB (例 Neo4j⁵⁾, OrientDB⁶⁾) を用いて、Knowledge Graph のように表現する

5) <https://neo4j.com/>

6) <http://orientdb.org/>

ことが最適と考える。GraphDB では、通常のデータベースにおいては計算速度が落ちる friends-of-friends 問題⁷⁾に耐性があり、RAG などの生成 AI を用いた検索の場面でも優位性がある。

6.3.4 知識の運用と更新

引き続き、気づきメッセージの収集と、機械センサデータの収集を行う。収集された気づきメッセージは、ワークショップのサポートツールでも用いられた自然言語モデルによって、すでに蓄積されたメッセージと比較される。6.3.3 で構築した CHARM の中に含まれる気づきメッセージ例や機械センサ情報（温度や土壌水分量など）と類似しない場合、気づきメッセージを次回のワークショップ開催時にディスカッションするメッセージとして蓄積する。もし機械センサ情報と類似し、既存の CHARM の葉の中に似た気づきメッセージが存在する場合、その葉の追加事例として気づきメッセージが追加される。また、適切なクエリにより構築された構造化知識から、似たような状況を捜し出し、他メンバーがとった行動を参考に水やりや追肥、摘芯などの行動を行うことができる。

気温が下がってきた環境下では、今回栽培を行っているバジルは生き残ることが困難である。越冬させる場合、室内の窓辺で水を絶やさないように育てることが必要であり、今までに構築した構造化知識と比較し、今までの現場知識の中に存在しない知識として、越冬の作業や寒さによる枯れなどが、今までにない気づきメッセージとして蓄積され、次回以降のワークショップの議題として挙げられる。

6.4 考察

ここでは、提案手法に関して、Work-As-Done を高めるナレッジマネジメントの実現、現場知識を継続的に収集し活用するナレッジマネジメント、人間センサと機械センサの統合によるナレッジマネジメントの3つの観点より考察する。

7) RDB において複数の JOIN を繰り返す操作を行うと、効率が落ちてしまい、検索に時間がかかってしまう問題のこと。

6.4.1 Work-As-Done を高めるナレッジマネジメントの実現

レジリエンスエンジニアリングは、安全の領域において取り扱われることが多いが、Hollnagel (2019) のレジリエントな組織を「人々が単独または共同して、条件に応じてパフォーマンスを調整することによって、大小さまざまな日常の状況変化をどのように扱うかについての表現 (expression) である。組織のパフォーマンスが予期されたもしくは予期されていない条件下 (変化/妨害/好機) で同じように機能できれば、その組織はレジリエントである。(p.23)」としている。このことは、事故・失敗を防ぐということに本質を置くのではなく、変化、その予兆を捉え、機転と柔軟なコントロールによって適切に対応することが、本質であると考えられる。

またレジリエントな組織、状態を実現するために、Hollnagel (2019) は、レジリエンスポテンシャルの醸成が必要であるとし、現場であるシャープエンドで実際に行われたことである「Work-as-Done (実際になされた仕事)」、想定される仕事である「Work-as-Imaged (想定された仕事)」を埋めることは、レジリエンスポテンシャルを構築第一歩と言えらる。

北村 (2015) は、4つのレジリエンスポテンシャルに加えて、実際に行動に移すために必要な実践知とリソース管理の重要性を指摘しており、現場知識を収集し、活用するナレッジマネジメントシステムはレジリエンスポテンシャルの土台足りえる仕組みを構築できると考えられる。

現場知識の収集とその知識の構造化は、実際に現場で行われていることを明らかにし、「Work-as-Done (実際になされた仕事)」、想定される仕事である「Work-as-Imaged (想定された仕事)」のギャップを埋められると考える。

6.4.2 現場知識を継続的に収集し活用するナレッジマネジメント

生成 AI の誕生により、構造化データのみならず、音声や写真、文章といった非構造化データを活用できる環境が整いつつある。生成 AI、RAG(Guu et al., 2020) などの技術発展により、現場で収集した気づきメッセージを含む非構造化データを、より効果的に検索・活用できるようになった。

一方で、現場固有の知識や経験に基づく判断については、汎用的な言語モデルだけでは十分に対応できない。本研究で提案した人間・機械協働型ナレッジマネジメントは、現場での気づきメッセージの収集から知識構造化、さらには新たな知識の

追加に至るまでの一連のサイクルを実現している。特に、CHARMによる知識構造化の活用により、継続的に現場のコンテキストを保持しつつ、機械可読な形での知識表現を可能にした。

また、ワークショップを通じた知識共有と構造化のプロセスは、Nonaka and Konno (1998) が提唱する「場」の概念を実現するものであり、単なる知識の蓄積にとどまらない、動的な知識創造の環境を提供している。さらに、Hollnagel (2019) が示すレジリエンスの観点からも、現場の状況変化に柔軟に対応できる知識基盤として機能することが期待される。

このように、本研究で提案したナレッジマネジメント手法は、最新の AI 技術の活用可能性を踏まえつつ、人間の気づきと経験を重視した持続可能な知識共有の仕組みを実現している。これは特に、保守点検や農業など、現場のコンテキストが重要となる分野において、効果的な知識共有を可能にする新しいアプローチと言える。

6.4.3 人間センサと機械センサの統合によるナレッジマネジメント

農林水産業のナレッジマネジメントについては、末永 (2009) が指摘するところによれば、IT 環境などに集約された知識を、ストーリーテリングなどの手法を用いて追体験させたり、その背景にあるコンテキストを IT 技術等を用いて整理することが有効だとしている。本提案手法は、末永 (2009) が指摘する IT を活用した農林水産業のナレッジマネジメントによる一実装であり、音声つぶやきシステムを活用し、現場知識をセンサ機械と共に現場のコンテキストを切り出すことができると考える。

また Uchihira et al. (2023) の提案する HCDT を実現する一実装として、本研究で提案したナレッジマネジメント手法は、人間センサと機械センサの統合による知識抽出とその活用を実現している。従来の機械センサ主体のデジタルツインでは捉えきれなかった現場のコンテキストや作業者の暗黙知を、気づきメッセージという形で収集し、機械センサデータと組み合わせることで、より実践的な知識の抽出と共有を可能にしている。

本提案手法の特徴は、単なるデータの収集や統合にとどまらず、CHARM を用いた知識構造化によって、現場のコンテキストを含む形で知識を表現し、活用できる点にある。これにより、従来の形式知中心のナレッジマネジメントでは扱うことが

困難であった現場知識を、より体系的に管理し、共有することが可能となった。さらに、新たに収集される気づきメッセージと機械センサデータを、既存の知識構造と照合し、継続的に知識を更新・発展させていく仕組みを実現している。

6.5 まとめ

Uchihira et al. (2023); 内平ら (2024) の提唱する HCDT のコンセプトを実現する手法として、人間センサ、機械センサを組み合わせ、実際に実現に向けた実装方法とその運用手法を提案した。従来のナレッジマネジメントでは、扱うことが困難であった現場知識を、気づきメッセージという形で継続的に収集し、機械センサデータと組み合わせることで、より実践的な知識活用を可能にした。

本章で提案した人間・機械協働型ナレッジマネジメントの特徴は、以下の3点にある。第一に、音声つぶやきシステムによる気づきメッセージの収集を通じて、現場知識を効率的かつ持続的に蓄積できる点である。第二に、CHARM を用いた知識構造化により、気づきメッセージと機械センサデータを統合し、コンテキストを含んだ形で知識を表現・活用できる点である。第三に、新たに収集された気づきメッセージを既存の知識構造と照合し、類似事例として追加するか、新規知識としてワークショップで議論するかを判断する仕組みにより、知識の継続的な更新と発展を実現している点である。

バジル栽培を対象とした事例による説明では、実際の現場での気づきメッセージ収集から知識構造化、さらには新たな知識の追加に至るまでの一連の流れを示し、提案手法の実現可能性と有効性を説明した。特に、時間や場所の制約を超えた知識共有や、人間の気づきと機械センサデータの統合による新たな知見の獲得など、従来のナレッジマネジメントでは実現が困難であった側面に対して、具体的な解決策を提示することができた。ただし、今回は提案手法を仮想事例で説明した段階であり、実際の現場での適用評価は今後の課題である。

本提案は、現場知識の継続的な収集・活用・更新のサイクルを実現する新しいナレッジマネジメントの形を示すものであり、特に保守点検や農業など、現場の状況や経験に強く依存する分野における知識マネジメントの発展に貢献するものである。

第7章 考察

本章では、4章における船舶での音声つぶやきシステムの試行による気づきメッセージをトリガーとした知識共有、5章における人間センサデータと機械センサデータの統合による予測モデル構築による知識構築、5章で示した人間の気づきと機械センサの統合によるナレッジマネジメント手法の提案に関して、総合的な考察を行う。

7.1 人間の気づき及び気づきメッセージ活用の分類

本論文のユニークかつ大きなテーマとして、人間の気づきの活用が挙げられる。人間センサ及び人間センサの出力である気づきメッセージの活用は、提案を行ってきたナレッジマネジメント及びナレッジマネジメントシステムにおいて、重要な入力源である。一方で、入力を行う作業者は、その活用の場面において、機械センサとは異なり不安定さや扱いの難しさを伴う。また、4章、5章、6章での人間センサの取り扱いは異なる状況にあった。

人間の気づき活用目的及び方法は、それぞれ、場合によって異なる。知識化する際の基準や、人間センサと人間モニタの使い分けに関しては、対象とする知識や運用形態によって異なるを考える。一方で、状況適応・行動型サービス (内平, 2014) に広く活用できるものであると考える。本研究での試行や、過去の音声つぶやきシステムによる人間の気づき収集と活用の研究と共に考察する。本論文での人間の気づき活用の研究、過去の代表的なつぶやきシステムの使われ方及び今回特に有効である使われ方として、いくつかの分類を行い整理した (表 7.1)。以下では、この表 7.1 も参照しながら、4章、5章、6章の人間の気づきの取り扱いの特徴について整理する。

表 7.1: 気づきメッセージの活用と有効性

分野	研究	概要	7.1.1 背景知識 が共有されている 状況下でのベ テランからの知 識共有支援	7.1.2 人間セン サとしての活用	7.1.3 背景知識 が十分に共有さ れていない状況 での知識共有	7.1.4 準リアル タイムでの知識 共有
看護 介護	(内平, 2013, 2014) など	看護・介護現場にて, 患者 や被介護者の容態やケア 内容を準リアルタイムで 共有	○	-	-	○
保守 点検	本論文 4 章 (千代島・内平, 2024)	陸上から離れた時空間で ある船舶機関室と陸上の 管理者との知識共有 電気保安業務におけるそ れぞれ固有の現場での気 づきを元にした知識共有	○	-	-	-
製造業	(丸山・内平, 2022)	気づきメッセージをきっ かけとした他分野連携, 調 整の暗黙的知識の共有	○	-	○	-

表 7.1: 気づきメッセージの活用と有効性 (続き)

分野	研究	概要	7.1.1 背景知識 が共有されている状況下でのベ テランからの知 識共有支援	7.1.2 人間セン サとしての活用	7.1.3 背景知識 が十分に共有さ れていない状況 での知識共有	7.1.4 準リアル タイムでの知識 共有
農業	本論文 5 章	人間センサと機械センサ によるプラント環境によ る予測モデル構築, 知識 抽出	-	○	-	-
	(Uchihira and Yoshida, 2018)	ハウス栽培における気 づきメッセージとセン サデータを活用した振り 返り	-	○	-	-
	(遠矢ら, 2023a)	人間の気づきと機械セン サを活用した農作業の知 識共有	○	○	-	-
警備	(吉村, 2018)	音声つぶやきシステムを 活用した警備現場でのリ アルタイム組織学習	-	-	○	○

7.1.1 背景知識が共有されている状況下でのベテランからの知識共有支援 [4章のケース]

専門家同士など、背景知識を共有している状況では、気づきメッセージの収集と知識共有ワークショップによるナレッジマネジメント手法が有効である。(4章の例では、船舶機関部のメンテナンスに関する知識)において、時間的・空間的に離れた環境であっても、気づきメッセージをトリガーとしたワークショップを通じて、効率的に知識を共有できることを示した。

音声つぶやきシステムを通じて、記録している気づきメッセージの一つの特色として、現場にて音声または写真によって、簡易に記録できることである。音声を用いることで、ある程度音声つぶやきシステムの運用に慣れた作業員であれば、現場で感じたこと、作業したこと、考えたことを作業員自身が持っている経験や知識を通じて、簡潔に表現できることを、4章での試行や過去のつぶやきシステムの研究(高道ら, 2021; 遠矢ら, 2023a) などにおいても確認している。また、十分に背景知識が共有されている電気保安業務の事例においては、それぞれの現場での困りごとを、気づきメッセージをトリガーとして、ワークショップで議論する中で、既存のマニュアルにおいて十分に定義できていなかった特定の状況下での作業方法の明確化を実現している(千代島・内平, 2024)。

これらのことから、現場にて、作業したこと、感じたこと、考えたことを、その場で経験や知識を踏まえて言語化した気づきメッセージは、背景知識を持つ監督者や同僚の参加する知識共有ワークショップにおけるトリガーとして、適切に機能し、効率的な知識共有、場合によっては曖昧であった目的や基準といった業務に関する知識を明確化を支援できる。

7.1.2 人間センサとしての活用 [5章のケース]

機械センサを補う形で、人間の気づきをセンサとして用いる方法での運用手法である。その場合の運用では、人間は可能な限り、予め定義された方法、もしくは、可能な限り、簡潔な表現で記録することが有効である。ここでの使い分けの扱いは、狭義の人間センサ(人間センサの機能のみ)としている。5章の例では、試行評価を明確にするために、予め定義して記録しているが、運用を行っていく中で、より適切な表現方法に調整するべきであり、音声つぶやきシステムを利用して記録する意義があると考えられる。

従来の機械センサの限界として、機械センサは点であり、機械センサのプロープ（検知部）が、直接触れている部分しか取得することができない。特に、農業の分野においてはその影響は顕著に表れる。土壌水分量を計測するセンサにおいては、直接、土壌水分計が触れている土の水分量しか計測することができない。

5章の例においては、プランタ内の土壌水分量は、不均一であり、実際の圃場の土壌水分量は土の状態や傾斜、周りの環境により影響され、不均一である。一方で、コスト的に機械センサでは取得できない。そのため、機械センサのみで圃場の状況を捉え、評価することが困難であり、熟練の作業者の感覚と勘に頼った運用がなされてきた。

一方で、人間センサの困難な点として、持続性や安定性といった課題が挙げられる。農家は複数の圃場を抱えており、日中は移動しながら農作業に従事しており、継続的に見張ることは困難であり、気温や季節の変化に伴って、人間センサの基準値も変動していくと考えられる。遠矢ら (2023a) の実践的な圃場での人間センサと機械センサの運用事例では、田んぼの水管理の場面において、水位には思い込みがあり、自分の目とセンサデータを照らし合わせて修正することで、自分の感覚を調整し、自己学習できた例が紹介されており、機械センサと人間センサの併用によって、人間センサの調整を行えることを示している。

さらに、今後は ChatGPT に代表されるような自然言語処理モデルが発達する中で、適切なプロンプトを埋め込み、人間センサとしての気づきメッセージを処理することで、数値や適切な段階として機械センサを補う形で運用できると考えられる。

7.1.3 背景知識が十分に共有されていない状況での知識共有 [6章のケース]

実際の現場では、ほぼ未経験者のみで作業することは限られるが、ある対象の機械や作業をそれぞれの視座で取り組む場合、相対する組織が、相手の組織の背景知識を十分に理解できない状況は多々存在する。丸山・内平 (2022) で挙げられる段ボール製造装置の設計者と組み立て作業者との間で、部門を超えて気づきメッセージを共有した事例では、設計・製造対象の機械に対する背景知識は、当然、設計者、組み立て作業者共に有しているが、設計者は、組み立ての作業に関する理解が欠けた状況でワークショップが開始されている。このような状況下で、組み立て作

業者が挙げた、組み立て時の作業性に関する問題の気づきメッセージをきっかけとして、部門を超えて組み立てに関する問題に取り組んだ事例が紹介されている。この事例では、相対する組織が、それぞれの背景知識が明らかになっていない状況で、気づきメッセージを通じて、部門を超えた知識共有が実現されている。

6章の事例による説明として用いたバジル栽培の事例では、参加者の2名は家庭菜園に該当するような栽培経験があった。一方で、他の参加者はほぼ栽培経験がない状態での栽培となった。また、6章の事例では、それぞれの栽培環境において、バジル栽培を行っており、プランタの配置から種の植え方、施肥などの作業に作業員間でさまざまな差異が生じていた。加えて、初めてのバジル栽培であったことから、十分に背景知識を理解しない状況での取り組みとなった。そのような状況下において、参加者はそれぞれの創意工夫を行なっていることを理解できるような取り組みがあり、ワークショップを通じて、気づきメッセージからその作業員の作業意図を共有できたことを確認できた。

7.1.4 準リアルタイムでの知識共有

本論文中の事例では取り扱っていないが、過去の他分野での取り組みで明らかになっている。音声つぶやきシステムは、準リアルタイムでの音声配信、音声の録音と自動での文字起こし、位置情報の記録などの機能を持っている。これにより、従来現場でのチーム連携に活用されていたインカムと異なり、入力された音声は被ることがなく、聞き逃した場合でも、文字と録音で再生できる、入力した時間と場所を確認できるなどの優位性を持つ。

介護領域での試行では、介護士は、食事介護や排せつ介護など多様な業務を、それぞれ離れた場所において、状況に応じて対処しなければならない。Uchihira et al. (2013) の試行では、音声つぶやきシステムを用いて該当する作業や観察を共有することで、適切なメッセージの配信制御による準リアルタイムの知識共有と引継ぎなどにおいて、記録されたメッセージを元に、従来では記録が困難で失われていた作業員の気づきの共有を実現している。

吉村 (2018) は雑踏警備の現場において、音声つぶやきシステムを活用したリアルタイム組織学習の検証を行っている。雑踏警備は、通常、イベントや祭りなど多くの人が集まる現場における誘導や安全確保を業務として行っており、対象とするイベントの場所や突発的に発生するイベントに、警備員と警備本部が準リアルタイ

ムで連携して対応する必要がある。

7.2 人間のセンサ，人間モニタの限界と機械センサ統合による改善と補完

本論文での人間センサ，人間モニタについて改めて示す（図 7.1）。人間センサは五感で得られた環境や対象の入力を比較的直接的言語化するのに対し，人間モニタでは，五感での入力をきっかけに，作業者の持つ知識，経験を元に解釈し，言語化する違いがある。

人間センサ，人間モニタ共通の課題について，人間の気づき活用における課題として議論した後，人間センサとして人間の気づきを活用する場合，機械センサとして人間の気づきを活用する場合に分けてそれぞれ議論する。

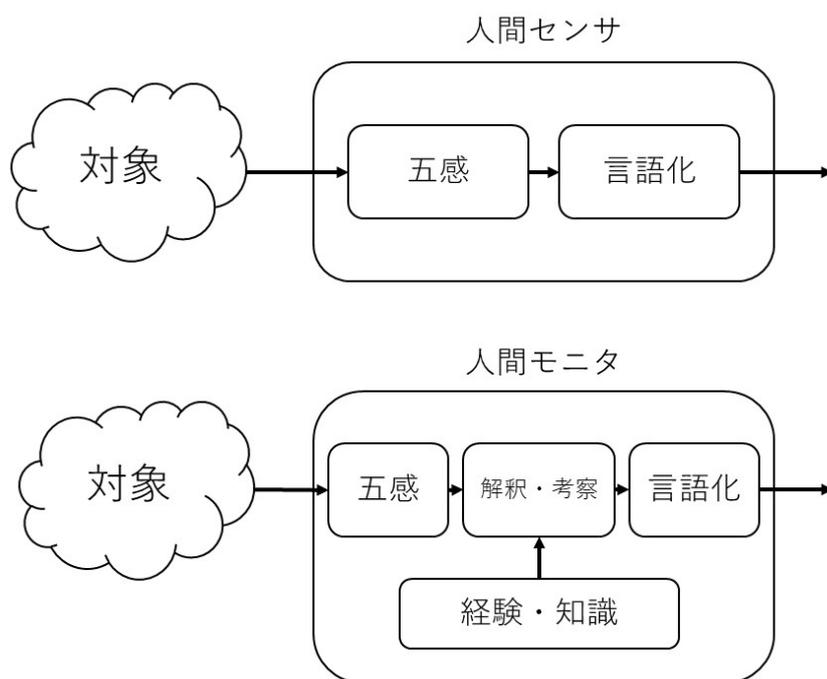


図 7.1: 人間センサと人間モニタ（再掲）
(Uchihira et al., 2023) を参考に著者作成

7.2.1 人間の気づき活用

人間センサ，人間モニタ，両方の使い方においても，課題，問題，限界となる点を整理し，本研究及び，既存の音声つぶやきシステムの研究において，直面してきた課題や問題点，限界を整理し，その対策を考察する．

①気づきを共有すること，その取り組み全体に対する理解と協力

どのようなナレッジマネジメント手法であっても，監督者やその取り組みに参加する参加者の理解がなければ実現しない．伊丹 (2005) の場の定義を再掲する．「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 (伊丹, 2005, p .42)」と定義されている．知識共有の土台として成立させるためには，相互の理解，コミュニケーション，働きかけ合いなどが必要であることを指摘しており，適切な目的を設定し，手法の理解や取り組み全体を監督者及び参加者が理解していることが必要である．

人間の気づき活用は，場の定義に挙げられている，相互の理解，相互の観察，コミュニケーション，働きかけ合い，心理的刺激を支援できるが，相互の理解やコミュニケーションの全くない状態で生み出すことは，困難であると考ええる．実際に気づきメッセージを音声つぶやきシステムを利用して収集し，そのワークショップによる知識共有を業務と並行して行う場合は，通常業務に加えて追加の労力を課すことになる．音声つぶやきシステムの現場用アプリケーションは，スマートフォン用のアプリケーションとして開発されており，ある程度の IT 技術 (スマートフォンの使い方) に対する理解も要求される．これらの観点からもある程度の現場の余裕と理解は欠かせない．

実際，4 章における試行では，一回限りの試行として行っている．過去の音声つぶやきシステムを活用した試行 (表 7.2) においても継続した取り組みではなく，定められた期限の中で，複数回の試行を持って運用されてきた．Iske (2021, p. 107) は式 7.1 に示すように，新技術をそのまま既存の組織に導入して活用しようと試みたとしても，却ってコストが掛かってしまうことを示している．これは，新技術 (音声つぶやきシステム) を現場 (既存の組織) にそのまま導入しようとする際に当てはまる．音声つぶやきシステムによる気づきメッ

ページの記録及び気づきメッセージを活用した知識共有ワークショップは、従来の仕事のやり方に、そのまま馴染むものではないため、ある程度目的、期間を絞ったやり方、継続的な活用を試みるのであれば、組織や仕事のやり方を適切な形に整える必要があると考える。

$$NT + OO = EOO \quad (7.1)$$

NT : 新技術 (New Technology)

OO : 古い組織 (Old Organization)

EOO : 高コストの古い組織 (Expensive Old Organization)

②適切な参加者と気づきが対象とする背景知識の共有

7.1.1 で議論したように、気づきメッセージの知識共有における有効な利用方法として、背景知識を共有している状況での、専門家同士の低コストでの知識共有が挙げられる。このように適切な形で背景知識が共有されていることで、現場であれば簡単に共有が可能だが、現場から離れた場では共有が困難な現場知識を、気づきメッセージによって、トリガーとして共有できる点を示している。

気づきメッセージを参加者内で共有し、知識共有を試みることは、実践共同体としての取り組みの側面も持つと考えられる。実践共同体の定義として、Wenger et al. (2002) の定義を再掲するが、「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 (p.33)」とされており、実践共同体が実践共同体たるには、あるテーマに関する問題と熱意を共有していること、その分野の背景知識を有していることが必要であり、気づきメッセージを通じた人間の気づき活用においても、対象とするオブジェクトに関して、ある程度の背景知識を共有していなければ、十分に機能しないと考える。

③気づくことの難しさ

人間の気づきを人間センサ、人間モニタ、それぞれの形で利用する場合にお

いても、適切な注意を払い、五感を通じて、得られた外界、対象とするオブジェクトから得られた入力をきっかけに言語化され、気づきメッセージとして記録される。より多くの気づきメッセージによって現場知識を繋ぎ止め、気づきメッセージによって有益な現場知識の共有を実現するためには、気づき力の向上が求められる。

より多くの気づきを得られるような支援として、6章の事例では、他の作業者の気づきメッセージを適宜整理して配信することで、他作業者の視点を気づきメッセージを通じて理解することで、気づきを増やす試みを行っている。また、別の提案として、適切なタイミングで問いかけを入れる、言わば「つぶやき」に対して「ささやき」のような形での支援が、気づきを引き出す上で有効かもしれない。

④言語化することの難しさ

過去の気づきメッセージの試行の中で、比較的長い期間取り組みを行っていた場合でも、気づきメッセージの数は限られる場合もある。一般社団法人日本ビジネスメール協会が2024に行ったオフィスワーカーのビジネスメールに関する調査結果では、1日平均は送信「12.27通」、受信「47.83通」行っている¹⁾。

一方で、気づきメッセージは、特定の受信者に対するメッセージではなく、その場で感じたこと、考えたことである。気づきメッセージは、特定の送り手があり連絡という目的を持って行われるメールと比較して、記録する段階では受け手が具体的に想定化されておらず、メールのように受け手に伝えるという意図を持って記録されていない。このようなメッセージの宛先がないことも、気づきメッセージの言語化の難しさの遠因にあると考える。実際、気づきメッセージの対象や運用目的などによって当然異なり、参考までの比較となるが、比較的少ない（表7.2を参照）。

人間の気づきを気づきメッセージといった形に言語化するためには、慣れが必要である。③の気づきで述べたのと同様、6章の事例による説明で示したバ

1) <https://businessmail.or.jp/research/2024-result/>

仕事におけるメールの利用実態と課題を把握を目的として、仕事でメールを使っている人を調査対象として、2024年4月1日から2024年4月30日にインターネット調査として行われ、1498の有効回答数を得ている。

ジル栽培の例のように、記録された気づきメッセージを共有することで、どのように言葉・表現で記録されているか具体的に示して、先に示した気づきの観点を広げると同時に、気づきメッセージの言語化方法を示し、言語化を助けると考えられる。また、より多くの気づきメッセージを記録する観点では、5章の取り組みのように、水やりのタイミングで、必ず気づきメッセージの記録方法に用いた入力を行うなどの取り決めで運用しており、決められたタイミングに必ず入力するなどの手法も有効だと考える。さらに、気づきメッセージの導入マニュアルを用意することが望ましい(千代島・内平, 2024)。

表 7.2: 音声つぶやきシステムを活用した試行
及びその試行における気づきメッセージ数

研究	試行回数	参加者数	累計気づきメッセージ数
4章での試行	1回	1名	385件
高道ら(2021)	2回	4名	449件
遠矢ら(2023b)	3回	3名	131件
丸山・内平(2022)	2回	16名	690件
千代島・内平(2024)	7回	各15名程	2204件

7.2.2 人間センサ

ここでは人間センサ固有の限界、問題点について議論する。本研究の5章、過去の音声つぶやきシステムの研究(Uchihira and Yoshida, 2018; 遠矢ら, 2023b)において人間センサを利用し、機械センサでは捉えることが困難な状態を捉えてきた。一方で、人間センサは人間である以上制約が存在する。

①安定性

5章において、温度や日光の強さなどの環境情報を人間センサとして取得し活用を試みている。しかし、人間の体温は一日の中で1度程度変動しているとされ、五感で感じる温度は体温に依存する。加えて、目の瞳孔も周りの明るさによって調節されるため、明るさの感じ方は、作業者が直前に居た環境に依存する不安定な特性を持ち、結果として人間センサは不安定なものとなる。

運用する際は、そういったデメリットがあることを理解した上で、機械センサでは捉えられない部分に焦点（例えば点ではなく面で捉える）を当てて運用する、色の比較など、適切な基準を示した上で、比較させるなどが有益だと考える。

②高頻度・継続的な取得

人間は疲労し、機械センサのように 24 時間継続的に観測することはできない。Fitts (1951) を元にした MABA-MABA リスト (Dekker and Woods, 2002) を再掲する (表 7.3)。表 7.3 から読み取れるように、機械と比較して、人間は疲労を起し、比較的弱く、持続性も弱い。

しかし、MABA-MABA リストは、前提として航空管制を背景としたミッションクリティカルで、高いレスポンスが求められる現場における言及である。ほとんどの音声つぶやきシステムを知識共有を試みる現場は、高いレスポンスが求められることは稀であり、一つのミスで人命が失われるような現場を想定していない。人間センサによる高頻度、連続したデータ取得は難しいと割り切り、機械センサとの協調利用や機械センサでは計測できない環境での活用が、有効的な利用法であると考ええる。

③複数人での基準調整

本論文における 5 章、過去の間人センサとしての活用を試みた Uchihira and Yoshida (2018); 遠矢ら (2023b) の研究において、一人の間人センサのデータを元に議論しており大きな問題となっていないが、今後本格的に活用する中で、間人センサの一つの課題及び限界になると考える。

①における解決法と重複する部分があるが、適切な基準を設定しすり合わせる、遠矢ら (2023a) の例でも挙げられていた、機械センサを参考にしながら感覚をすり合わせるなどの運用が有効であると考ええる。

表 7.3: MABA-MABA リストの一部抜粋 (再掲)
(Fitts, 1951; Dekker and Woods, 2002) を参考に作成

	機械	人間
速度	非常に速い	比較的遅い
出力	レベルの大きさ, 一貫性優秀	比較的弱く, 持続性も弱い
堅牢性	変化のない反復運動向き	疲労を起こす
情報処理能力	多重チャンネル動作可能, 高速	主に単一チャンネル, 低速
記憶容量	逐次再生の場合, 極めて大	原則や戦略には向く
推論計算	演繹的	帰納的

7.2.3 人間モニタ

本論文における 4 章, その他の現場知識を取り扱う音声つぶやきシステムの研究は, 人間モニタとして現場知識を気づきメッセージの形で収集し, ワークショップを用いて知識共有を実現してきた. その中での課題や限界について考察する.

①記録者の言語化能力, 解釈, 経験, 知識に強く依存する

人間モニタでは, 五感で捉えたオブジェクトや環境を元に, 作業者の持つ知識や経験を元に解釈し, 言語化されることによって, 気づきメッセージの形で出力される. その際, その作業者の持つ解釈, 経験, 知識に依存する. 現場知識を引き出す観点では, 経験, 知識が豊富で解釈能力の高いベテランの気づきメッセージが有益な場合が多い.

一方で, 過去の農業での試行においては, 若手が現場でどのように判断しているか気づきメッセージを元に理解でき, 指導の方針として活用できる (高道ら, 2021) といった指摘もなされている. 知識そのものを引き出し共有する使い方だけでなく, 現状の力量を推し量る活用法としての使い方もできる. 現場で感じた疑問を適切に切り取り, ワークショップの場で共有するといった活用によって, 曖昧な基準であった部分の明確化 (千代島・内平, 2024) も可能である.

気づきメッセージは, 基本的に話し言葉で記録されており, その作業者の言語化能力に強く依存する. この部分に関しては, ②にて後述する気づきメッ

セージの活用コストに繋がる部分となる。

②人間モニタによって収集した気づきメッセージ活用のコスト

気づきメッセージは、記録者の言語化能力に強く依存し、知識共有を実現するためには、4章のように、ある程度気づきメッセージを整えて、気づきメッセージを記録した作業者が立ち会った上でワークショップを行う必要がある。

事実、既存の音声つぶやきシステム研究は、現場での気づきメッセージ収集と収集した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知識共有では、気づきメッセージを記録した記録者の参加が必須である。さらに、ワークショップの場において共有された現場知識をどのように取り扱うか、ワークショップに参加していない者に対して、どのように共有された現場知識を広げるかについて、十分に議論されてこなかった。この課題に関しては、6章において、CHARMによる記述と気づきメッセージをトリガーとした活用手法として提案している。

加えて、気づきメッセージをワークショップで活用する観点で、前準備やファシリテーションも重要な課題の一つである。(小川, 2025)は、限られたワークショップ内でより有益な気づきメッセージを議論する観点から、気づきメッセージに適切なタグ付け、類似する気づきメッセージの検索などの実装に取り組み、機械学習を用いたタグの自動分類、ワークショップで取り扱われた気づきメッセージを検索し、ファシリテーションを支援する手法を提案している。さらに、これらの課題は、今後適切なプロンプト開発やLLMの活用によって、緩和される部分も大きいと考える。

③人間モニタによって得られた知識が正しいとは限らない

自然を相手とする農業や、運用状況や目的に応じ変動する保守点検の現場においては、絶対的な正解は存在しない場合も多い。このような分野において、一つの気づきメッセージから得られた現場知識を盲目的に活用することは、誤った知識をそのまま受け入れてしまうリスクがある。

しかし、正しい対処方法でなかったとしても、その現場知識は、ある条件下での適切な試みであり、間違っているという具体例を引き出し、知識共有ワークショップでのディスカッションを、より価値のあるものにすると考えられる。森

(2018年3月20日)は、熟練へのプロセスとして、さまざまな「個別への対応」を体験し集積することで、作業者が社業概念を形成し、熟練化することを示している(図7.2)。

農業や保守点検の現場では無数の事象が存在し、農業であれば季節や異常気象、隔年でなければ体験できない「個別」があり、保守点検であれば、レアケースである異常や隔年点検など体験が困難な「個別」が存在する。別の作業者の気づきメッセージは、こうした「個別」に触れる機会を作り出し、Orr(1996)の指摘する現場の作業者の試行錯誤である「war story」を交換する機会を与えていると考える。

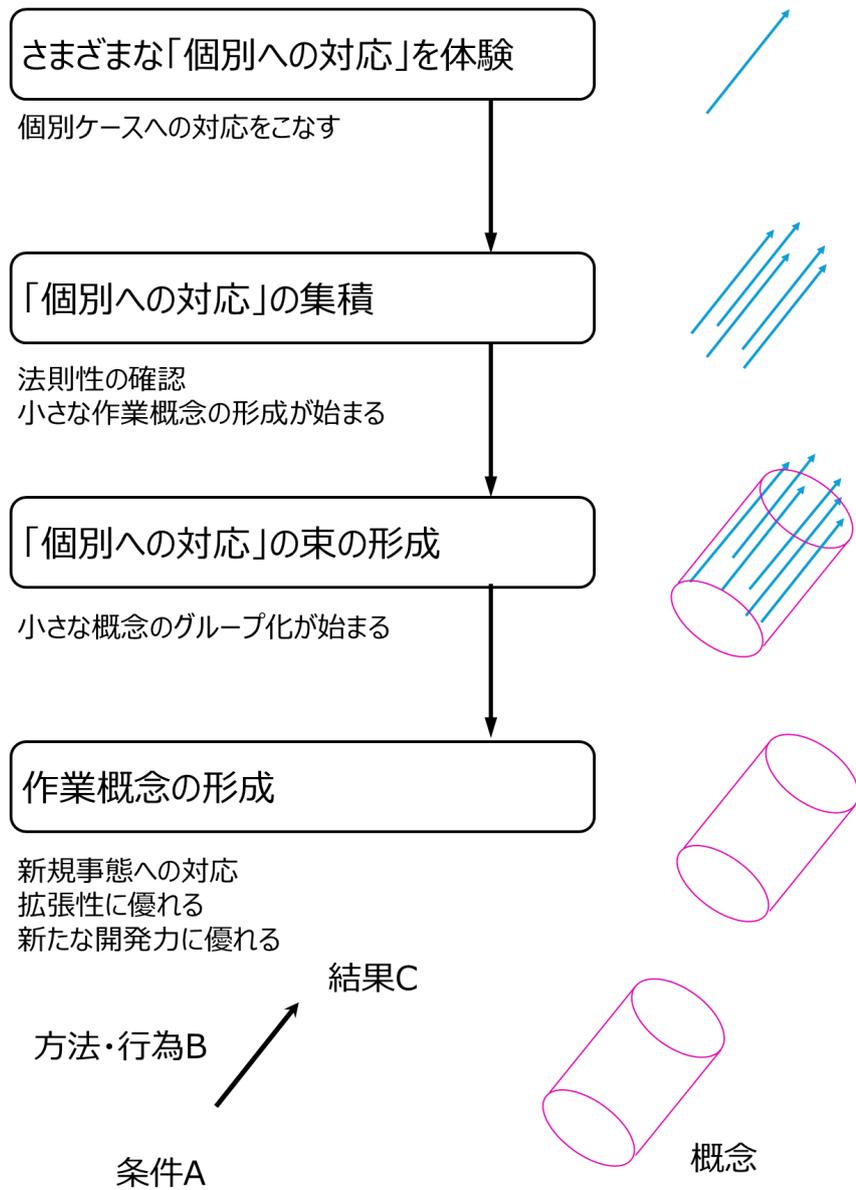


図 7.2: 作業概念の形成プロセス
(森, 2018 年 3 月 20 日, p .96) を参考に著者作成

7.2.4 機械センサによる人間の気づきの補完と支援

機械センサとの併用は、人間の気づき（人間センサ、人間モニタ）の活用を行っていく上で、機械センサによる補完や支援によって、コンテキストの情報量を増やし、気づきメッセージの検索や気づきメッセージで取り扱った状況の理解へと活用できる。ここでは、先に議論した人間センサと機械センサの限界や課題を踏まえながら議論する。

7.2.4.1 人間センサにおける機械センサによる補完と支援

自由に動き面で捉えるが、持続性や安定性に制限がある人間センサに対して、機械センサは、一点を持続的に安定的に捉えることができる。人間センサと機械センサの補完関係を改めて整理すると、人間センサは、機械センサでは観測できない箇所を自由な移動と面によって捉える。機械センサは、人間センサのバイアスを補正し、安定性と持続性によって、継続的なデータ取得を実現している。

5章での試行においては、予測値の向上に機械センサでは捉えることができない土壌の状態を、人間センサとして予測精度向上に貢献している。また、遠矢ら(2023b)の圃場での試行においては、圃場に設置した水位センサと気づきメッセージを用いて、水管理の知識共有支援の試行を行った。水管理においては、限られた時間の中で、管理する圃場の水位を適切な高さに調整する必要がある。試行を通じて、その場で記録した気づきメッセージの感覚と比較し、水位調整の感覚をワークショップを通じて調整した事例を示している(遠矢ら, 2023b)。

7.2.4.2 人間モニタにおける機械センサによる補完と支援

本論文の試行の中では、人間モニタを機械センサによって補完、支援する取り組みに関して十分には検討できておらず、今後の課題の一つである。人間の思考を支援する取り組みとして、森・内平(2019); 森(2020)は、リスクマネジメントの文脈で Human-in-the-Loop (人間参加型機械学習) (Holzinger, 2016) と対比する概念である Machine-in-the-Loop (機械参加型知識創造プロセス) を提案している。提案では、SECI モデルをシステム I (人間) とシステム II (人間+機械) によって回すことで、相互に補完し合い認知バイアスを軽減する手法を提案している(森・内平, 2019; 森, 2020)。Machine-in-the-Loop のアプローチは、機械センサに加えて適切な

機械学習モデルを用いることで、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も、同様に、人間モニタの一要素である解釈や知識、経験における認知バイアスを抑え調整する機能を果たすと考えられる。

7.3 デジタルナレッジツインへの貢献

本研究は Uchihira et al. (2023); 内平ら (2024) の提案である、デジタルナレッジツインのアイデアに立脚している。デジタルナレッジツインでは、デジタルツインの概念を拡張し、人間モニタと機械モニタによって現実空間を捉え、やわらかい知識構造化によって仮想空間に知識モデルを構築し、構築した知識を状況に応じて現場で活用する手法を提案している (図 7.3)。

一方で、Uchihira et al. (2023); 内平ら (2024) が提案したコンセプトは、人間の気づきを活用した部分的な実装に留まっていた。デジタルナレッジツインの実現に向けて、現場と離れた時空間における人間の気づきをトリガーとした知識共有手法、具体的なナレッジマネジメント手法、人間センサと機械センサの統合といった要素技術の確立が必要である。本研究は、これらの課題に対して、時空間の離れた状況での人間モニタの有効性検証、人間の気づきと機械センサの統合について実現に向けた取り組みを行った。それぞれの研究での取り組みの概要とデジタルナレッジツインへの貢献を表 7.4 に示す。先に示した取り組みにより、デジタルナレッジツインの実現に向けて、人間モニタの確立と人間の気づき、機械センサの統合手法及びナレッジマネジメント手法を提案した。

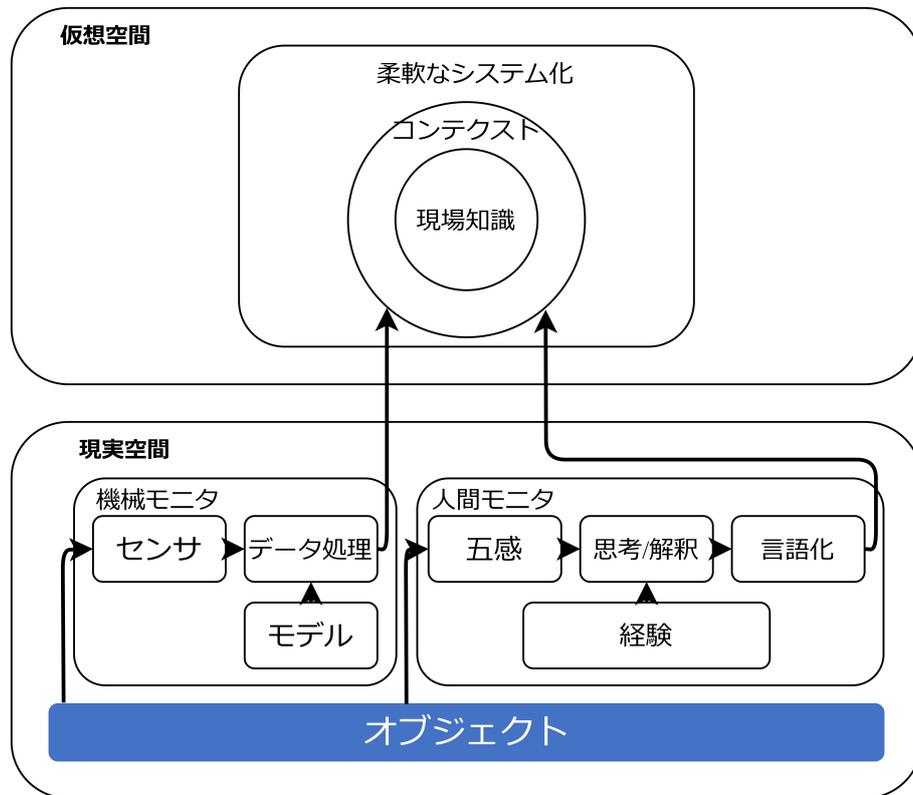


図 7.3: Human Centric Digital Twin コンセプト (知識構築時) 再掲
(Uchihira et al., 2023) を参考に著者作成

表 7.4: デジタルナレッジツインへの貢献

概要	デジタルナレッジツインへの貢献
現場から時空間が離れた状況での気づきメッセージをトリガーとした知識共有	デジタルナレッジツインの実現においては、人間の気づきを人間モニタを通じて現実空間から収集し、やわらかい構造化を行うことが求められる。実際の現場において、知識を収集する中で、現場で人間モニタ（実際の運用では試行評価で行ったのと同様に音声つぶやきシステムを通じて気づきメッセージによって人間モニタは運用される）による収集が可能であることを示した。
人間センサと機械センサの統合による予測モデル構築と知識抽出	デジタルナレッジツインにおいて、人間センサと機械センサの統合による知識抽出は、重要な要素の一つである。本研究のプランタ栽培実験を通じて、人間センサと機械センサのデータを統合し、3 時間後の土壌水分量を予測するモデルを構築した。機械センサのみの場合と比較して、人間センサを組み合わせることで予測精度が向上することを実証した。また、決定木ベースのモデルを採用し、SHAP による可視化を行うことで、説明可能性を担保しつつ、人間センサと機械センサの統合による知識抽出の具体的な実装方法を示した。これは、デジタルナレッジツインにおける人間センサと機械センサの統合による知識抽出の実現可能性を具体的に示した点で重要な貢献である。
人間の気づきと機械センサ統合による人間・機械協働型ナレッジマネジメント手法の提案	第 4 章から第 5 章を踏まえ、現場知識の収集から知識構造化、さらには新たな知識の追加に至るまでの一連のサイクルを実現する、人間・機械協働型ナレッジマネジメントのコンセプトを提案した。特に、音声つぶやきシステムによる気づきメッセージの収集、CHARM を用いた知識構造化、新規の気づきメッセージと既存知識との照合による知識の更新という 3 つの要素を組み合わせることで、継続的な知識の蓄積と活用を可能にした。これは、デジタルナレッジツインの実現に向けた具体的な実装方法を示した点で重要な貢献である。

第 8 章 結論

8.1 本研究のまとめ

本研究において行った取り組み、及び得られた結論を、以下に簡潔にまとめる。

4 章では、実際の船舶機関室における中長期的な保守点検業務を対象に、音声つぶやきシステムを活用して、現場で「気づきメッセージ」を収集した。その後、収集した気づきメッセージを元にワークショップを行い、「気づきメッセージ」をトリガーとした知識共有手法を確立し、「気づきメッセージ」の有効性を明らかにした。

5 章では、人間センサと機械センサの統合によるデジタルナレッジツインの実現の足掛かりとして、プランタ栽培による試行評価を行い、「気づきメッセージ」による人間センサと機械センサによるデータ収集とモデル構築を通じた知識化の試みを行った。これにより、人間センサと機械センサの統合による知識抽出について検証し、その可能性を試行として例を示し、明らかにした。

6 章においては、4 章と 5 章の取り組みを踏まえて、4 章で明らかにした人間センサの有効性、5 章で検証を行った人間センサと機械センサの統合による知識抽出を踏まえて、デジタルナレッジツインのコンセプトの深化を試みた。デジタルナレッジツインの既存研究 (Uchihira et al., 2023; 内平ら, 2024) では、デジタルナレッジツインの大まかな構成要素を明らかにしているが、実現場を対象にどのようにデジタルナレッジツインを回していくか十分に明らかになっていなかった。グループでのバジル栽培とワークショップによる事例による説明により、提案手法の有効性を示した。

8.2 リサーチクエスチョンに対する回答

冒頭の 1.4 節で設定したリサーチクエスチョンに基づいて、4 章、5 章、6 章にて、それぞれの SRQ に回答すべく、実験及び検証を行った。以下にリサーチクエスチョンに対して、本研究で得られた結果を示す。

SRQ 1:現場で収集した人間の気づきをトリガーとして、どのように現場知識を共有できるか？

4 章において、音声つぶやきシステムを活用して、船舶の現場において、作業時の気づきを収集し、収集した「気づきメッセージ」を用いてワークショップを行った。現場にて簡潔に「気づきメッセージ」の形で気づいたことを、その場で記録することで、場所と時間が離れた環境において、比較的スムーズに知識を共有することができていることを示した。明らかにした知識共有モデルを再掲する (図 8.1)。

現場での音声や写真による簡易な気づきや作業の記録である「気づきメッセージ」によって、現場のコンテキストを含んだ形で現場知識を繋ぎとめることができる。第 4 章の試行より、現場作業者と近しい知識背景を持つ作業員・監督者であれば、共同化ワークショップにより、収集した「気づきメッセージ」をトリガーとして、現場知識を形式化し、共有することができる。

SRQ 2:人間の気づきと機械センサを統合することで、どのような現場知識を引き出すことができるか？

5 章において、カブのプランタでの栽培による試行評価を通を行った。試行評価では、人間センサより土壌の状態、機械センサより土壌や気温といった値を取得した。取得した人間センサデータと機械センサデータを統合し、決定木ベースの勾配ブースティングモデルである lightGBM を用いて、適切な 3 時間後の水分量予測モデルを作成した。

今回構築したモデルは、決定木ベースのモデルであり、SHAP などのツ

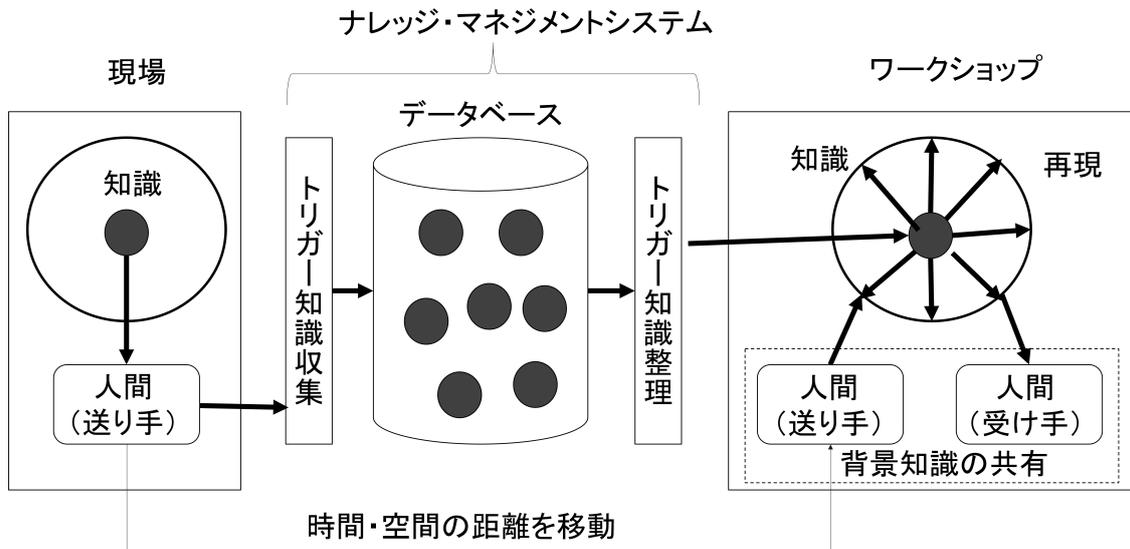


図 8.1: 提案手法の概念モデル (再掲)

著者作成

ルを用いて、入力した値のなかの重みや影響度を解析した上で、ある程度の説明可能性を担保し、作成したモデルから得られた値はある程度信頼でき、水やりの判断に活用できる。すなわち、行動に得られる知識と言える。

これらのことから、人間センサ（人間の気づき）と機械センサにより、適切な機械学習モデルを選定し、学習させたモデルを活用することで、今後の判断に役立つ予測の知識を得ることができる。

SRQ 3:人間の気づきと機械センサの統合による人間・機械協働型ナレッジマネジメントシステムは、どのような仕組みになるか？

6章で提案したナレッジマネジメントシステムでは、①音声つぶやきシステムによる継続的な気づきメッセージの収集②CHARM を活用した機械センサ情報を含む現場知識の構造化③新たに収集される気づきメッセージと機械センサデータを既存の知識構造と比較し、類似事例の追加や新規知識としてワークショップでの議題化を行う。この3つの仕組みを有し、これらが現場の気づきメッセージ収集とワークショップを軸に継続して運用される仕組みとなる。

MRQ:人間の気づきと機械センサの統合による人間・機械協働型ナレッジマネジメントシステムは、どのように現場知識を収集し、知識共有を支援できるか？

人間・機械協働型ナレッジマネジメントシステムは、音声つぶやきシステムによる気づきメッセージの収集、ワークショップによる気づきメッセージをベースとした知識表出化、CHARM を用いた人間モニタデータ、機械センサデータを踏まえた知識構造化の 3 つの要素を循環的に組み合わせることで、現場知識の収集と共有を支援する。

気づきメッセージの収集と活用に関しては、船舶機関部での実証実験を通じて、時間的・空間的制約のある環境であったとしても、効果的な知識共有が可能であることを示した。5 章のプランタ栽培を通じた試行評価では、人間センサと機械センサを統合することで、より精度の高い予測モデルが構築でき、構築したモデルを活用し、行動にたる知識を得られることを示した。

これらの知見を統合し、CHARM による知識構造化を加えることで、音声つぶやきシステムにより気づきメッセージを継続的に収集活用しつつ、定期的に新たな気づきメッセージを掘り起こし、ワークショップにて気づきメッセージのトリガーによるナレッジマネジメントの枠組みを提案した。提案システムの特徴は、①現場での気づきを効率的に収集できること、②ワークショップによる知識の表出化③ワークショップでの議論と気づきメッセージ、機械センサデータを用いて知識を体系的に構造化し、継続的に更新できることにある。

新たな気づきメッセージを既存の知識構造と照合し、類似性に基づいて適切に処理する仕組みにより、知識の蓄積と活用を効果的に行える。これにより、従来の形式知を主体としたナレッジマネジメントでは、取り扱えなかった現場知識、現場のコンテキストを含めた形で取り扱うことができる。

8.3 理論的含意

本研究では、人間の気づきの有用性に関する検討と人間の気づきの組み合わせによる知識抽出、そして、これら二つの取り組みを踏まえ、人間機械協働型ナレッジ

マネジメントについての提案を行った。それぞれの項目に対して、理論的含意について回答する。

8.3.1 人間の気づきをトリガーとしたナレッジマネジメント

従来のナレッジマネジメントは、主にデスクワークを主体とした作業者に向けたものがほとんどであり、内平 (2014) の指摘する状況に応じて考えながら移動を伴う「状況適応・行動型サービス」に対応したツール及び手法は限られていた。加えて、「状況適応・行動型サービス」における知識は、形式知と暗黙知の狭間である Uchihira et al. (2023) が指摘するような「現場知識」によって支えられている。これは、現場であれば比較的スムーズに作業の内容や勘所を伝えることができるが、現場から離れた場所で知識の共有を行おうと試みても、伝えることが困難である。

そこで、実際の遠洋マグロはえ縄漁船の機関部において、音声つぶやきシステムを活用して、現場で作業を音声にて記録した。記録した気づきメッセージを元に、船内機器の状態や保守作業の知識を、陸上の工務監督を行う試行評価を行った。この試行評価を元に、知識共有するそれをトリガーとして共有するナレッジマネジメント手法を開発し、その知識共有モデルを明らかにした。従来のデスクワークにおける知識共有手法では、知識を収集し、記録するナレッジ DB による知識共有（例 (中山ら, 1998)）などは提案されてきたが、現場での音声による直観的記録をトリガーとして知識共有を支援する手法と、そのモデルはナレッジマネジメントの新たな知見を提供しており、知識科学への貢献と新規性がある。

8.3.2 人間の気づきと機械センサデータを用いた予測モデルの構築手法の提案

従来の機械学習などを活用した予測モデルは、安定した品質で継続的に取得できる機械センサのデータを元に、予測モデルを構築することが一般的にあった。一部天気予測などで、人間の観測データを活用する取り組みは見られるものの、その活用範囲は限られている。

センサは、多くの場合継続して安定的かつ継続的にデータを取得することができる一方で、センサの設置されたその場所（点）のデータである。それに対して、人間の五感は、信頼性が低くとも、幅広く、その前後を見渡し、感じ取ること（面）ができる。そこで、プランタによる植物栽培における土壌水分量の予測モデルを

構築し、人間の五感による記録を含まないモデルと比較し、評価を行った。試行評価の結果、機械センサのみの場合の予測モデルと比較して、人間の五感を含めた場合、精度が向上するとともに、急な環境の変動が見られた場合、機械センサデータのみであれば予測精度が大きく下がってしまうことが確認できたが、人間センサのデータも加えて予測することで、より高い精度で予測できることが確認できた。以前より、IoT のセンサを組み合わせた試みは行われてきた Perera et al. (2012)。加えて、機械学習の中に人間の知見を入れる試み (大島・内平, 2018; 森・内平, 2019) や、人間センサと機械センサの先駆的な統合的活用 (Uchihira and Yoshida, 2018) はあったが、人間の気づきを活用し、センサデータと組み合わせて予測する手法は新しく、独創性がある。

8.3.3 人間の気づきとセンサデータを用いたナレッジマネジメント手法の提案

従来のナレッジマネジメントによる知識共有や知識抽出は、基本的に如何に熟練者が内包している知識を引き出し、共有することに着目し行われてきた。実際に行われていることを、センサデータとともに突合する、もしくはセンサデータと人間の知識を統合する試みは、重要な取り組みでありながら、未だ発展途上であった。

例えば、Umeda et al. (2019) は Digital Twin の拡張として、Digital Triplet として、デジタル空間の中に人間の試行を取り入れる形での提案を行っている。しかし、現場での人間の思考や気づきを取り入れる方法は、未だ示されていなかった。本論文で提案するナレッジマネジメント手法では、現場での気づきを取得し活用する手法を明らかにし、Uchihira et al. (2023) が提案する Human Centric Digital Twin の実装とその支援ツールの一部開発し、提案したことに有用性がある。

8.4 実務的含意

本研究では、人間の気づきを活用したナレッジマネジメント、人間の気づきと機械センサ統合によるナレッジマネジメントの提案を行ってきた。研究を通じた実務的含意について回答する。

8.4.1 気づきメッセージの保守点検・農業の現場での活用

本研究では、保守点検・農業のフィールドにおいて、実際の現場を想定し、音声つぶやきシステムを用いて気づきメッセージを収集し、ワークショップを通じて知識抽出・知識共有する方法を示してきた。実査の農業や保守点検フィールドでは、IoTの活用は通信環境やコストの観点から利用が留まっており、人間の気づきによる記録に頼る現場は多く存在すると考える。

また、基本的に機械センサで捉えることできる部分は点である。例えば土壌の水分量のセンサであれば、そのセンサのプロブが触れている部分の土の水分量が得られるのみであり、そのセンサを設置していない部分のデータは取得することができない。農業や保守点検においても、熟練作業者は経験と勘に基づいてフィールドを動き周りながら、目視や音で広く捉え、必要に応じて直接手で触れ温度や湿度、硬さなどを直接確かめる。必要があれば適宜作業を行い、その中で違和感や問題点を認識し、機転を利かせながら立ち回ることができる。

本論文では、そのような作業者の知識を収集する手法とその際に利用するツールの実装、ワークショップでの共有手法などを示しており、主に保守点検や農林水産業などのものを対象とした「状況適応・行動型サービス (Uchihira et al., 2013; Torii et al., 2014)」の現場における業務支援や知識共有に役立てることができる。

8.4.2 人間の気づきと機械センサの統合によるナレッジマネジメント

本研究では、5章と6章を通じて、機械センサと人間センサの統合による知識抽出とナレッジマネジメントの実現可能性を示した。5章のプランタでの栽培実験を通じて、現場作業者の気づきと機械センサのデータを組み合わせることで、より精度の高い予測モデルが構築可能であることを実証した。

従来のIoTや機械センサを活用したアプローチでは、センサが設置された地点の数値データのみを取得することしかできず、現場の状況を十分に把握することは困難であった。一方で、本研究で提案した人間センサと機械センサを統合したアプローチでは、センサデータに加えて作業者の経験に基づく広範な観察や判断を取り入れることができる。これにより、より実践的で効果的なナレッジマネジメントの実現が可能となる。

さらに、6章で示した事例による説明では、気づきメッセージの共有と機械センサデータの活用を組み合わせることで、場所や時間の制約を超えた知識共有が可能となることを示した。このアプローチは、特に農業や保守点検など、現場の状況把握と経験的な判断が重要となる分野において、実務的な価値を持つと考えられる。

本研究の成果は、今後IoTやセンサ技術の導入を検討している企業や組織に対して、人間の気づきと機械センサを効果的に組み合わせた新しいナレッジマネジメントの実装方法を提示するものである。

8.5 本研究の限界

本研究では、人間の気づきを活かしたナレッジマネジメント実現と、人間の気づきと機械センサの統合による人間・機械協働型ナレッジマネジメントの実現を目的として、手法の構築と試行評価を行った。本研究の主な限界を以下に示す。

- 4章の船舶機関部における試行では、1隻の船舶のみを対象とし、限られた期間での試行に留まった。また、気づきメッセージの記録は、著者が機関長に同行して記録を行ったが、実際の現場での運用においては、作業者自身による記録が必要となる。そのため、より長期的な視点での有効性の検証や、複数の船舶での試行による、手法の一般化可能性については、今後の課題として残されている。
- 5章のプランタ栽培実験では、限定された環境下での実験であり、実際の農業現場とは異なる条件での試行となった。また、今回のモデルでは適切な項目分けを実現するため、気づきメッセージの記録方法に制限を設けており、実際の現場での活用とは異なる条件下での試行となっている。
- 6章で提案した人間・機械協働型ナレッジマネジメントについては、事例による説明による検証に留まっており、実際の現場での長期的な運用を通じた有効性の検証には至っていない。特に、提案手法の汎用性や、異なる業種・現場への適用可能性については、さらなる検証が必要である。

8.6 将来研究への示唆

ChatGPT に代表されるような大規模言語モデル (LLM) の発達により、従来のナレッジマネジメントでは活用することが困難であった、音声、文章、写真、映像といった非構造化データを人の手を介すことなくコンピュータにより処理し活用することができるようになった。しかし、有効的な活用法に関しては多くの議論があり、本研究でも LLM の活用まで踏み込むに至っていない。

人間の気づきを活用したナレッジマネジメント手法で収集できる気づきメッセージ（音声＋写真）は、従来手法では十分な処理が困難であった非構造化データである。GTP-o1¹⁾、Gemini1.5²⁾に代表されるマルチモーダルなモデルの登場により、非構造化データも処理し、積極的に活用できるようになった。加えて音声からの直接入力にも対応し、音声操作を通じて、現場で知識入力、出力を得られるようになりつつある。一方で、既存のナレッジマネジメントの手法の中にどのように取り入れるか、どのように活用するかにおいては混乱が見られる。

一方で、現場固有のローカル知識に関しては、汎用的な LLM の中に含まれない。ハルシネーションを抑え、現場において正しく活用するためには、現場知識を効率よく収集し活用することが重要となる。現場知識の収集と活用は、ナレッジマネジメントの要であることは違いなく、より効率的な収集とその活用に関する取り組みが求められる考える。

1) <https://openai.com/index/introducing-openai-o1-preview/>

2) <https://blog.google/technology/ai/google-gemini-next-generation-model-february-2024/>

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.
- Aboelimged, Mohamed Gamal Shehata (2015) “E-Maintenance Research: A Multifaceted Perspective,” *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ackoff, Russell L. (1989) “From Data to Wisdom,” *Journal of applied systems analysis*, Vol. 16, No. 1, pp. 3–9.
- Al-Hawamdeh, Suliman (2002) “Knowledge Management: Re-Thinking Information Management and Facing the Challenge of Managing Tacit Knowledge,” *Information research*, Vol. 8, No. 1, pp. 1–8.
- Alavi, Maryam and Dorothy E. Leidner (2001) “Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues,” *MIS quarterly*, pp. 107–136.
- Bechhofer, Sean, Frank Van Harmelen, Jim Hendler, Ian Horrocks, Deborah L. McGuinness, Peter F. Patel-Schneider, and Lynn Andrea Stein (2004) “OWL Web Ontology Language Reference,” *W3C recommendation*, Vol. 10, No. 2, pp. 1–53.
- Björling, Sten-Erik, Diego Galar, and Uday Kumar (2013a) “Fusion of CMMS, CM and Maintenance Knowledge Management,” Retrieved from ResearchGate: <https://www.researchgate.net/publication>
- Björling, Sten-Erik, David Baglee, Diego Galar, and Sarbjeet Singh (2013b) “Maintenance Knowledge Management with Fusion of CMMS and CM.”
- Bouthillier, France and Kathleen Shearer (2002) “Understanding Knowledge Management and Information Management: The Need for an Empirical Perspective,” *Information research*, Vol. 8, No. 1, pp. 8–1.
- Cárcel-Carrasco, Javier and Consuelo Gómez-Gómez (2021) “Qualitative Analysis of the Perception of Company Managers in Knowledge Management in the Maintenance

- Activity in the Era of Industry 4.0,” *Processes*, Vol. 9, No. 1, p. 121, January, DOI: 10.3390/pr9010121.
- CEN (2001) “Maintenance Terminology.”
- Davenport, Thomas H. and Laurence Prusak (1998) *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*, Vol. 1, DOI: 10.1145/348772.348775.
- Davenport, Thomas H., David G. De Long, and Michael C. Beers (1998) “Successful Knowledge Management Projects,” *Sloan Management Review*, Vol. 2, p. 43, December.
- Dekker, Rommert (1996) “Applications of Maintenance Optimization Models: A Review and Analysis,” *Reliability engineering & system safety*, Vol. 51, No. 3, pp. 229–240.
- Dekker, S. W. A. and D. D. Woods (2002) “MABA-MABA or Abracadabra? Progress on Human–Automation Co-ordination,” *Cognition, Technology & Work*, Vol. 4, No. 4, pp. 240–244, November, DOI: 10.1007/s101110200022.
- Devlin, Jacob, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova (2019) “BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding,” in Burstein, Jill, Christy Doran, and Thamar Solorio eds. *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)*, pp. 4171–4186, Minneapolis, Minnesota: Association for Computational Linguistics, June, DOI: 10.18653/v1/N19-1423.
- Dey, Anind K. (2001) “Understanding and Using Context,” *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 5, No. 1, pp. 4–7, February, DOI: 10.1007/s007790170019.
- Earley, S. (2023) “What Executives Need to Know about Knowledge Management, Large Language Models and Generative AI,” *Applied Marketing Analytics*, Vol. 9, No. 3, pp. 215–229.
- Edge, Darren, Ha Trinh, Newman Cheng, Joshua Bradley, Alex Chao, Apurva Mody, Steven Truitt, and Jonathan Larson (2024) “From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization,” April.
- Evans, Dave (2012) “The Internet of Everything: How More Relevant and Valuable Connections Will Change the World,” *Cisco IBSG*, Vol. 2012, pp. 1–9.

- Fahey, Liam and Laurence Prusak (1998) “The Eleven Deadliest Sins of Knowledge Management,” *California Management Review*, Vol. 40, No. 3, pp. 265–276, April, DOI: 10.2307/41165954.
- Fitts, Paul M. ed. (1951) *Human Engineering for an Effective Air-Navigation and Traffic-Control System*, Human Engineering for an Effective Air-Navigation and Traffic-Control System, Oxford, England: National Research Council, Div. of, pp.xxii, 84.
- Fletcher, Margaret and Simon Harris (2012) “Knowledge Acquisition for the Internationalization of the Smaller Firm: Content and Sources,” *International Business Review*, Vol. 21, No. 4, pp. 631–647, August, DOI: 10.1016/j.ibusrev.2011.07.008.
- Flin, Rhona and Paul O’Connor (2008) *Safety at the Sharp End: A Guide to Non-Technical Skills*, Aldershot, England ; Burlington, VT: CRC Press, 第 1 版 edition.
- 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.
- Fukatsu, Tokihiro and Masayuki Hirafuji (2005) “Field Monitoring Using Sensor-Nodes with a Web Server.,” *J. Robotics Mechatronics*, Vol. 17, No. 2, pp. 164–172.
- Fukatsu, Tokihiro and Masayuki Hirafuji (2014) “Web-Based Sensor Network System “Field Servers” for Practical Agricultural Applications,” in *Proceedings of the 2014 International Workshop on Web Intelligence and Smart Sensing*, pp. 1–8, Saint Etienne France: ACM, September, DOI: 10.1145/2637064.2637090.
- Garavan, Thomas, Fergal O’Brien, and Eamonn Murphy (2014) “On the Complexity of Knowledge Management given the Tacitness of Knowledge in Organizations,” in *Handbook of Research on Knowledge Management*, pp. 391–405: Edward Elgar Publishing.
- Gettier, Edmund L. (1963) “Is Justified True Belief Knowledge?” *Analysis*, Vol. 23, No. 6, pp. 121–123, DOI: 10.2307/3326922.
- Gold, Andrew H., Arvind Malhotra, and Albert H. Segars (2001) “Knowledge Management: An Organizational Capabilities Perspective,” *Journal of Management Information Systems*, Vol. 18, No. 1, pp. 185–214, May, DOI: 10.1080/07421222.2001.11045669.

- Greiner, Martina E., Tilo Böhmann, and Helmut Krcmar (2007) “A Strategy for Knowledge Management,” *Journal of Knowledge Management*, Vol. 11, No. 6, pp. 3–15, January, DOI: 10.1108/13673270710832127.
- Grieves, Michael (2015) “Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication,” March.
- Guu, Kelvin, Kenton Lee, Zora Tung, Panupong Pasupat, and Mingwei Chang (2020) “Retrieval Augmented Language Model Pre-Training,” in *International Conference on Machine Learning*, pp. 3929–3938: PMLR.
- Hall, Edward T. (1976) *Beyond Culture*: Anchor.
- Hirafuji, Masayuki (2000) “Creating Comfortable, Amazing, Exciting and Diverse Lives with CYFARS (CYber FARmerS) and Agricultural Virtual Corporation,” in *Proc. of the Second Asian Conference for Information Technology in Agriculture*, pp. 424–431: Citeseer.
- Hochreiter, Sepp and Jürgen Schmidhuber (1997) “Long Short-Term Memory,” *Neural Computation*, Vol. 9, No. 8, pp. 1735–1780, November, DOI: 10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- Hollnagel, Erik (2008) “INVESTIGATIONS AS AN IMPEDIMENT TO LEARNING,” in *Resilience Engineering Perspectives, Volume 1*: CRC Press.
- Hollnagel, Erik (2009) *The ETTO Principle: Efficiency-Thoroughness Trade-Off*, Farnham, England Burlington, VT: Routledge, 第1版 edition.
- Hollnagel, Erik (2013) *FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems*, 小松原明哲訳: 海文堂出版.
- Hollnagel, Erik (2015) *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*, 北村正晴・小松原明哲訳: 海文堂出版.
- Hollnagel, Erik (2019) 『Safety-II in Practice: Developing the Resilience Potentials』, 北村正晴・小松原明哲訳, 海文堂出版.
- Hollnagel, Erik (2023) 『Synesis: The Unification of Productivity, Quality, Safety and Reliability』, 北村正晴・狩川大輔・高橋信訳, 海文堂出版.
- Hollnagel, Erik, David D. Woods, and Nancy Leveson (2006) *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*: Ashgate Publishing, Ltd.
- Holzinger, Andreas (2016) “Interactive Machine Learning for Health Informatics: When

- Do We Need the Human-in-the-Loop?” *Brain Informatics*, Vol. 3, No. 2, pp. 119–131, June, DOI: 10.1007/s40708-016-0042-6.
- Iino, Nami, Satoshi Nishimura, Ken Fukuda, Kentaro Watanabe, and Takuichi Nishimura (2017) “Development and Use of an Activity Model Based on Structured Knowledge: A Music Teaching Support System,” in *2017 IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, pp. 584–589: IEEE.
- Iino, Nami, Hideaki Takeda, and Takuichi Nishimura (2020) “An Ontology-Based Development of Activity Knowledge and System Design,” in Wang, Xin, Francesca Alessandra Lisi, Guohui Xiao, and Elena Botoeva eds. *Semantic Technology*, Lecture Notes in Computer Science, pp. 369–384, Cham: Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-3-030-41407-8_24.
- Iske, Louis, Paul (2021) *Institute of Brilliant Failures: Make Room to Experiment, Innovate, and Learn*, 紺野登・渡部典子訳: 東洋経済新報社.
- 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.
- Jisha, R. C., G. Vignesh, and D. Deekshit (2019) “IOT Based Water Level Monitoring and Implementation on Both Agriculture and Domestic Areas,” in *2019 2nd International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, Vol. 1, pp. 1119–1123: IEEE.
- Ke, Guolin, Qi Meng, Thomas Finley, Taifeng Wang, Wei Chen, Weidong Ma, Qiwei Ye, and Tie-Yan Liu (2017) “LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 30: Curran Associates, Inc.
- 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.
- Kuznets, Simon (1965) *Economic Growth and Structure: Selected Essays*, New York, N.Y: W.W. Norton & Company, first edition edition.
- Lave, Jean and Etienne Wenger (1991) 『Situated Learning: Legitimate Peripheral

- Participation』, 佐伯胖訳.
- Liqiang, Zhao, Yin Shouyi, Liu Leibo, Zhang Zhen, and Wei Shaojun (2011) “A Crop Monitoring System Based on Wireless Sensor Network,” *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 11, pp. 558–565.
- Lundberg, Scott M and Su-In Lee (2017) “A Unified Approach to Interpreting Model Predictions,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 30: Curran Associates, Inc.
- Lundberg, Scott M., Gabriel Erion, Hugh Chen et al. (2020) “From Local Explanations to Global Understanding with Explainable AI for Trees,” *Nature Machine Intelligence*, Vol. 2, No. 1, pp. 56–67, January, DOI: 10.1038/s42256-019-0138-9.
- 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.
- Mathana, J. M. and T. S. Nagarajan (2020) “Secured IoT Based Smart Greenhouse System with Image Inspection,” in *2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, pp. 1080–1082: IEEE.
- McDermott, Robin E., Raymond J. Mikulak, and Michael R. Beauregard (2009) “FMEA,” *New York: Taylor & Francis Group*.
- 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.
- Mokyr, Joel (2019) 『The Gifts of Athena: Historical Origins of the Knowledge Economy』, 長尾伸一・伊藤庄一訳, 名古屋大学出版会.
- Muñoz, Cristian A, Simon Mosey, and Martin Binks (2015) “The Tacit Mystery: Reconciling Different Approaches to Tacit Knowledge,” *Knowledge Management Research & Practice*, Vol. 13, No. 3, pp. 289–298, August, DOI: 10.1057/kmrp.2013.50.
- Musen, Mark A. (2015) “The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward,” *AI Matters*, Vol. 1, No. 4, pp. 4–12, June, DOI: 10.1145/2757001.2757003.
- Myers, Paul S. (2014) “A Normative Model of Knowledge Management Effectiveness,”

- in *Handbook of Research on Knowledge Management*, Chap. Handbook of Research on Knowledge Management, pp. 28–48: Edward Elgar Publishing.
- 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.
- Naqvi, Syed Meesam Raza, Mohammad Ghufuran, Safa Meraghni, Christophe Varnier, Jean-Marc Nicod, and Nouredine Zerhouni (2022) “Human Knowledge Centered Maintenance Decision Support in Digital Twin Environment,” *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 65, pp. 528–537, October, DOI: 10.1016/j.jmsy.2022.10.003.
- Nemeth, Christopher P. and Erik Hollnagel (2017) *Resilience Engineering in Practice. Volume 2: Becoming Resilient*, 北村正晴訳: 日科技連出版社.
- 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, pp. 208–220.
- Nishimura, Satoshi, Ken Fukuda, and Takuichi Nishimura (2017) “Knowledge Explication: Current Situation and Future Prospects.,” *CAID@IJCAI*, pp. 27–33.
- 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.
- Ogawa, Riku, Moritaro Inoue, and Naoshi Uchihira (2025) “The Gen-Ba Knowledge Sharing Workshop Support System Using Large Language Models: Experimental Evaluation in a Plant Cultivation Workshop,” in *ETLTC2025*.
- OMG (2017) “Unified Modeling Language, v2.5.1.”
- Orr, Julian E. (1996) *Talking about Machines: An Ethnography of a Modern Job*: Cornell University Press.
- Perera, Charith, Arkady Zaslavsky, Peter Christen, and Dimitrios Georgakopoulos

- (2012) “CA4IOT: Context Awareness for Internet of Things,” in *2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications*, pp. 775–782, January, DOI: 10.1109/GreenCom.2012.128.
- Polanyi, Michael (1966) 『The Tacit Dimension』, 高橋勇夫訳, 筑摩書房.
- Radford, Alec, Karthik Narasimhan, Tim Salimans, and Ilya Sutskever (2018) “Improving Language Understanding by Generative Pre-Training.”
- 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 (1996) *Knowledge Management Tools*, London: Routledge, DOI: 10.4324/9780080509846.
- Schilit, Bill, Norman Adams, and Roy Want (1994) “Context-Aware Computing Applications,” in *1994 First Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp. 85–90: IEEE.
- 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, Robert J., Richard K. Wagner, Wendy M. Williams, and Joseph A. Horvath (1995) “Testing Common Sense.,” *American psychologist*, Vol. 50, No. 11, p. 912.
- 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.
- Swap, Walter, Dorothy Leonard, Mimi Shields, and Lisa Abrams (2001) “Using Mentoring and Storytelling to Transfer Knowledge in the Workplace,” *Journal of Management Information Systems*, Vol. 18, No. 1, pp. 95–114, May, DOI: 10.1080/07421222.2001.11045668.
- Torii, Kentaro, Naoshi Uchihira, Yuji Hirabayashi, Testuro Chino, Takanori Yamamoto, and Satoko Tsuru (2014) “Improvement of Sharing of Observations and Awareness in Nursing and Caregiving by Voice Tweets,” in *International Conference on Serviceology*, pp. 161–175: Springer.
- Tuli, Tadele Belay, Linus Kohl, Sisay Adugna Chala, Martin Manns, and Fazel

- Ansari (2021) “Knowledge-Based Digital Twin for Predicting Interactions in Human-Robot Collaboration,” in *2021 26th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*, pp. 1–8, September, DOI: 10.1109/ETFA45728.2021.9613342.
- 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, July.
- Uchihira, Naoshi, Takuichi Nishimura, and Koki Ijuin (2023) “Human-Centric Digital Twin Focused on “Gen-Ba” Knowledge: Proposal of Conceptual Model and Examples,” in *2023 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*.
- 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.
- Van Meter, Heather J. (2020) “Revising the DIKW Pyramid and the Real Relationship between Data, Information, Knowledge, and Wisdom,” *Law, Technology and Humans*, Vol. 2, No. 2, pp. 69–80.
- Vance, David (1997) “Information, Knowledge and Wisdom: The Epistemic Hierarchy and Computer-Based Information Systems,” *AMCIS 1997 Proceedings*, p. 124.
- 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.
- 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.

- Wasko, M. McLure and S. Faraj (2000) ““It Is What One Does”: Why People Participate and Help Others in Electronic Communities of Practice,” *The Journal of Strategic Information Systems*, Vol. 9, No. 2, pp. 155–173, September, DOI: 10.1016/S0963-8687(00)00045-7.
- 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) 『Cultivating Communities of Practice: A Guide to Managing Knowledge』, 野村恭彦・櫻井祐子訳, 翔泳社.
- Wilson, Tom D. (2002) “The Nonsense of Knowledge Management,” *Information research*, Vol. 8, No. 1, pp. 8–1.
- Yamada, Ikuya, Akari Asai, Hiroyuki Shindo, Hideaki Takeda, and Yuji Matsumoto (2020) “LUKE: Deep Contextualized Entity Representations with Entity-aware Self-attention,” in Webber, Bonnie, Trevor Cohn, Yulan He, and Yang Liu eds. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, pp. 6442–6454, Online: Association for Computational Linguistics, January, DOI: 10.18653/v1/2020.emnlp-main.523.
- Zhou, Yichu and Vivek Srikumar (2022) “A Closer Look at How Fine-tuning Changes BERT,” March.
- 伊集院幸輝・小早川真衣子・鎌田政智・石井翔太・西村拓一 (2021) 「点検サービスにおける熟練者知識の構造化」, 『人工知能学会全国大会論文集 第 35 回 (2021)』, 2H4GS3c01-2H4GS3c01 頁, 一般社団法人 人工知能学会.
- 伊集院幸輝・小早川真衣子・飯野なみ・西村拓一 (2022) 「作業手順内の行為の目的を表出し構造化する方法の提案——介護現場での目的指向知識構造化」, 『情報処理学会論文誌』, 第 63 巻, 第 1 号, 104–115 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 (2010) 「研究開発プロジェクトマネジメントの知識継承」, 博士論文, 北陸先端科学技術大学院大学.
- 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」, 『サービソロジー』, 第1巻, 第2号, 14-17頁.
- 内平直志・西村拓一 (2022) 「現場で表出する人間の気づきや潜在知識のデジタル化～Human Centric デジタルツインへの提言～」, 『研究・イノベーション学会第37年次学術大会』, 10月.
- 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.
- 大島丈史・内平直志 (2018) 「プロジェクトマネジメントへの AI 活用の知識分類モデル-IT 企業における AI 適用方策の研究」, 『国際 P2M 学会誌』, 第13巻, 第1号, 121-141頁.
- 小川陸 (2025) 「大規模言語モデルを活用した現場知識共有支援」, 修士論文, 北陸先端科学技術大学院大学.
- 神畷敏弘 (2010) 「転移学習」, 『人工知能』, 第25巻, 第4号, 572-580頁.
- 北村正晴 (2015) 「現場の実践知を生かすレジリエンスのデザイン」, 『計測と制御』, 第54巻, 第7号, 470-478頁, DOI: 10.11499/sicejl.54.470.
- 佐藤航・山本葵・熊谷小百合・吉田康行・伊集院幸輝・押山千秋・藤波努・西村拓一 (2024) 「身体動作の指導知識構造化方法の提案」, 『情報処理学会論文誌』, 第65巻, 第1号, 113-125頁, 1月.
- 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.
- 諏訪正樹 (2005) 「身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化 (< 特集 > スキルサイエンス)」, 『人工知能』, 第20巻, 第5号, 525-532頁, DOI: 10.11517/jjsai.20.5_525.
- 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～」, 『サービス学会 第9回 国内大会』.
- 知野哲朗・上野晃嗣・宮森翔子 (2015) 「音声つぶやき SNSTM の製造現場への適用」, 『東芝レビュー』, 第70巻, 第6号.
- 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」, 『日本 MOT 学会第15回年次研究発表会』, 4頁,

3月.

遠矢健太・井上杜太郎・佛田利弘・内平直志 (2023a) 「スマート農業における物理センサと農業者の気づきを活用した知識継承支援」, 『農業普及研究』, 第 28 巻, 第 1 号, 60 頁.

遠矢健太・井上杜太郎・内平直志 (2023b) 「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.

中田亨 (2013) 「ヒューマンエラー抑止のための理論と実践」, 『安全工学』, 第 52 巻, 第 2 号, 75–81 頁.

中山康子・真鍋俊彦・竹林洋一 (1998) 「知識情報共有システム (Advice/Help on Demand) の開発と実践: 知識ベースとノウハウベースの構築」, 『情報処理学会論文誌』, 第 39 巻, 第 5 号, 1186–1194 頁.

農業情報学会 (2019) 『新スマート農業: 進化する農業情報利用』, 農林統計出版.
農林水産省 「農業労働力に関する統計: 農林水産省」,
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>.

野坂美穂 (2022) 「スマート農業を通じた熟練農業者の技術継承とそれに伴う取引の問題」, 『経営・情報研究 多摩大学研究紀要』, 第 26 巻, 29–32 頁.

野中郁次郎・紺野登 (2003) 『知識創造の方法論』, 東洋経済新報社.

野中郁次郎・竹内弘高 (1996) 『知識創造企業』, 梅本勝博訳, 東洋経済新報社, 東京.

濱田武士 (2011) 「マグロ漁業の危機と存続の検証」, 『水産振興』, 第 45 巻, 第 3 号, 1–62 頁.

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.

松井くにお・内田裕士 (1989) 「自然言語処理用電子化辞書」, 『情報処理学会研究報告データベースシステム (DBS)』, 第 1989 巻, 第 4 (1988-DBS-069) 号, 1–8 頁.

丸山悠那・内平直志 (2022) 「音声つぶやきシステムを活用した製造現場のナレッジマネジメント」, 『日本 MOT 学会第 13 回年次研究発表会』, 3月.

溝口理一郎 (2005) 『オントロジー工学』, オーム社.

森和夫 (2018 年 3 月 20 日) 『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.
- 森俊樹 (2020) 「リスクマネジメントにおける機械学習と知識創造の統合アプローチ—機械参加型 (machine-in-the-loop) プロセスの提案—」, 博士論文, 北陸先端科学技術大学院大学.
- 森俊樹・内平直志 (2019) 「プロジェクトとプログラムのリスクマネジメントにおける機械学習と知識創造の統合アプローチ Machine-in-the-loop (機械参加型) 知識創造プロセスの提案」, 『国際 P2M 学会誌』, 第 14 巻, 第 1 号, 415-435 頁.
- 吉村慎浩 (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」, 修士論文, 北陸先端科学技術大学院大学, 能美市.
- 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』.
- 米澤聡士 (2009) 「外航海運業の船員戦略における知識移転」, 『国際ビジネス研究』, 第 1 巻, 第 2 号, 75-89 頁.
- 李天琦・秋山卓也・田坂祐太 (2020) 「LightGBM を用いた不動産投資における高精度価格推定モデルの構築」, 『人工知能学会全国大会論文集 第 34 回 (2020)』, 3Rin449-3Rin449 頁, 一般社団法人 人工知能学会.
- 西井典子・山谷尚弘・原大伸・見上博 (2014) 「若年船員を早期離職に導く要因」, 『日本航海学会論文集』, 第 130 巻, 114-121 頁, DOI: 10.9749/jin.130.114.

謝辞

本論文を作成するにあたり、数多くの方々にご協力頂き、心より感謝申し上げます。

まず、指導教官である北陸先端科学技術大学院大学教授 内平直志先生には、修士で JAIST に入学して以来、長きに渡り、研究の計画段階から論文の最終稿執筆まで休日、昼夜問わず熱心にご指導して頂き、無事この博士論文を書き上げることができました。JAIST に入学した際は研究の作法や進め方もわからないところから、心あるご指導のおかげで、ここまでたどり着くことができました。改めて心より感謝申し上げます。

入学から 2019 年 3 月までは、当時北陸先端科学技術大学院大学講師（現: 学習院大学教授）佐々木康朗先生、2019 年 10 月から 2021 年 11 月までは、当時北陸先端科学技術大学院大学助教（現: 京都大学特定講師）佐藤那央先生に、主にゼミ、勉強会の場を通じて、研究作法、考え方、について、丁寧にご指導頂きました。改めて感謝申し上げます。

博論審査に当たっては、外部審査員をお引き受け頂いた香川大学 西中美和先生にナレッジマネジメントの視座より建設的なご指摘を頂き、論文を完成させることができました。また、北陸先端科学技術大学院大学教授 神田陽治先生、副テーマでもご指導頂いた、北陸先端科学技術大学院大学教授 由井蘭隆也先生、北陸先端科学技術大学院大学教授 西村拓一先生より、多角的な視点からご助言を頂き、論文の質を高めることができました。心から感謝申し上げます。

5 章の試行評価においては、実験にご協力頂いた、開発丸乗組員及び関係者の皆様、共同研究という形で研究をご支援頂いた JRCS 株式会社の皆様に感謝申し上げます。JRCS 株式会社には博士後期課程進学と同時に、社員として雇用して頂きました。船舶のデジタル化や IoT システムの開発といった形で、研究を間接的に支援頂き、業務を通じてソフトウェアエンジニアとしての基礎を固めることができました。貴重な機会を下さりありがとうございました。

また、6 章の実験部分に関しては、農業分野でのつぶやきシステムを先行して試行し、農業分野における音声つぶやきシステム試行を切り開いた高道駿氏、センサ実装と研究を共に進めてくれた遠矢健太氏、カブの種を下さり、本論文外での圃場

での取り組みをご支援下さいましたぶった農産会長 佛田利弘様，7章の手法提案においては，試行評価や議論を通じて研究を深めてくれた小川陸氏に感謝申し上げます．素晴らしい内平研究室の後輩の皆さまがいなければ，恐らくこれらの章の研究はまとまらなかったと考えています．

研究活動内外においては，北陸先端科学技術大学院大学名誉教授 國藤進先生には，長年にかけて，ご支援賜りました．

内平研究室の歴代学生，学生居室を共有する西村研究室の歴代学生の皆様にも温かく見守って頂き，ゼミでのディスカッションで研究を深めるとともに，楽しい学生生活を送ることができました．改めて感謝申し上げます．

最後に，大学院卒業までの長い学問の道を，様々な経験を積みながら、自分の道を模索してきました．生活，学業，様々な面から支えてくれた両親にお礼，感謝申し上げます．

研究業績

学術誌掲載（査読有）

井上杜太郎, 内平直志, 2023. 作業者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. 日本ナレッジ・マネジメント学会 編 31-46.

-> 4章に対応

国際学会口頭発表論文（査読有）

Inoue, M., Uchihira, N., 2022. Maritime Engine Room Resource Management Extended to Remote Members Onshore: Conceptual Model using Internet of Everything (IoE), The Human Side of Service Engineering. AHFE (2022) International Conference. AHFE Open Access, vol 62. 117-125.

開催日時：2022年7月24日～28日, 場所：アメリカ・ニューヨーク

-> 6章に対応

Inoue, M., Nishimura, T., Uchihira, N., 2023. Human centric digital twin implementation concept utilizing kNeXaR and SVMS, AIP Conference Proceedings. AIP Publishing. 2909(1). 7 pages

開催日時：2023年1月24日～27日, 場所：会津大学（福島県）

-> 6章に対応

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）

-> 5章に対応

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., in preparation. The Gen-Ba Knowledge Sharing Workshop Support System Using Large Language Models: Experimental Evaluation in a Plant Cultivation Workshop, ETLTC2025

開催日時：2025年1月発表予定，場所：会津大学（福島県）

-> 6章に対応

国内学会口頭発表論文（査読無）

井上杜太郎, 内平直志, 2020. 音声つぶやきシステムを活用した漁船向け基幹業務支援システムの開発と評価. マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, p.291-292.

開催日時：2020年10月26日～28日，場所：アクロス福岡

遠矢健太, 井上杜太郎, 内平直志, 2022. スマート農業における物理センサと人間センサからの知識抽出 ～ プランター栽培データによる予備実験 ～. 電子情報通信学会技術研究報告; 信学技報 121, 43-44.

開催日時：2022年3月28日～30日，場所：オンラインのみ

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 122, 164-167.

開催日時：2023年3月15日～18日，場所：長崎大学

遠矢健太, 井上杜太郎, 佛田利弘, 内平直志, 2023. スマート農業における物理センサと農業者の気づきを活用した知識継承. 農業普及の研究と実践. p. 39-44.

開催日時：2023年3月2日～3日，場所：AP新橋（東京都）

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

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)