

Title	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
Author(s)	内平, 直志; 西村, 拓一
Citation	年次学術大会講演要旨集, 37: 620-623
Issue Date	2022-10-29
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/18532">http://hdl.handle.net/10119/18532</a>
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

## 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～

○内平直志, 西村拓一 (北陸先端大)  
uchihira@jaist.ac.jp

### 1. はじめに

近年, 企業や社会においてデジタルトランスフォーメーション (DX) が加速している. DX では, フィジカル空間の様々な情報や知識をサイバー空間上で再現・活用する「デジタルツイン」が肝となる. すなわち, フィジカル空間では様々な物理的 (物質的・時間的・空間的) 制約があるが, サイバー空間ではそれらの制約が少ないために, システム全体でのシミュレーションや最適化が容易になり, それをフィジカル空間にフィードバックすることで様々な便益が得られる. 実際, IoT の普及によりフィジカル空間の様々な物理的なデータはサイバー空間に多量に蓄積され, 機械学習などの人工知能技術を活用し, 分析・活用できるようになってきた. 一方, IoT で収集できる物理的なデータは, フィジカル空間 (具体的には介護, 農業, 製造, 保守点検などの現場) のごく一部の側面でしかない. 人間が現場で感じることをサイバー空間でも同様に感じるだけでなく, 2つの空間には依然として大きなギャップが存在する. 特に, 現場で人間の気づきや考えたこと (本稿では「現場知識」と呼ぶ) に関しては, サイバー空間上で蓄積・分析・活用できているのはごく一部であり, 人間の持つ膨大な現場知識がフィジカル空間だけに留まっている現実がある.

本研究の目的は, フィジカル空間だけに留まっている人間の持つ膨大な潜在的で暗黙的な現場知識を, サイバー空間上で蓄積・分析・活用できるようにすることである. 著者らは, 従来から現場で表出する人間の気づきや潜在的知識をその場で収集・蓄積・活用する「音声つぶやきシステム」を開発し, 様々な現場で実証してきた. 本稿では, その効果と今後の方向性をデジタルツインの視点で整理し, 次世代のデジタルツイン (Human centric デジタルツイン) に向けての提言を行う.

### 2. デジタルツインの現状と課題

科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (CRDS) の報告書「デジタルツインに関する国内外の研究開発動向」[1]では, デジタルツインは「サイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber Physical System) の一つの形態であり, 高度な計測・観測により現実世界の中から収集されたデジタルデータを基に物理的な製品やサービスをサイバー空間上で仮想的に複製し, 将来起こり得る様々な事象を予測可能にするシミュレーション技術である」としている. また, 同報告書では, デジタルツインの構成要素として「データ (フィジカル空間における高度な計測・観測によるデータおよび全ライフサイクルにわたるデータ)」「モデル (フィジカル空間に対応した様々な計算モデルや表現モデル)」「インターフェース (デジタルツインとアプリケーション間の接続と相互作用を可能にするもの)」があるとし, これらの構成要素によって, フィジカル空間における状態や動作をサイバー空間においてシミュレーション, 予測することが可能となり, フィジカル空間に対して最適解を提供することができるとしている. デジタルツインに関しては, これまで工場などの生産現場に関して数多くの研究が行われてきたが, 近年はヘルスケア, 気象・環境, 都市・エネルギー, 教育などの幅広い分野で行われている.

また, フィジカル空間における人間のデータもデジタルツインの重要な要素であり, 近年「Human Digital Twin」として研究が行われている[2][3]. 例えば, 工場の作業者のデータから作業者のモデルをサイバー空間で構築し, 無人搬送車やロボットと作業者との最適な協働計画をフィードバックできる. 日立製作所が取り組んでいる「製造現場ノウハウのデジタルカプセル化」[4]は, Human Digital Twinに基づき現場のノウハウを資産化し活用する仕組みである. ただ, Human Digital Twinの対象は, 主に製造現場やヘルスケア分野で人間の物理的な情報 (行動情報やバイタル情報) をサイバー空間上に蓄積・活用するものであり, 現場の人間の気づきや考えたこと (現場知識) を対象とはしていない.

一方, 日本の Society5.0 ではサイバー空間とフィジカル空間の融合による「人間中心の社会」の実現が重要視されている. Umeda ら[5]は, フィジカル空間とサイバー空間に, 人間の知的活動の空間を加えた「Digital Triplet」というコンセプトを提案している. これは, フィジカル空間から抽出したデータをサイバー空間で分析し, その活用に関して人間の知的活動を積極的に組み込む仕組みであり, サイバ

一空間上で現場知識を持つ人間を活用するアプローチである。また、JSTの未来社会創造事業の「次世代情報社会の実現」領域探索研究の公募テーマとして、「Human centric デジタルツイン」が挙げられ、既に6課題が採択され研究が進められている。しかし、Digital Tripletも「Human centric デジタルツイン」の現状の取組みも、前述のような人間の持つ膨大な現場知識がフィジカル空間だけに留まっている問題に対しては目が向いておらず、手つかずの状態である。

報告書[1]では、デジタルツインの深化を、①(デジタルツイン構築に向けた)デジタル化、②局所的デジタルツイン、③包括的デジタルツイン、④自律的デジタルツインの4段階に整理しているが、物理データだけによるデジタルツインでは「包括的デジタルツイン」にはならず、現場知識のサイバー空間での蓄積・活用は極めて重要な課題であるが、それに注目・言及している先行研究はほとんどないと思われる。本稿では、その課題と可能性を整理し概念モデルを提案する。

### 3. 現場知識のデジタルツイン(ナレッジデジタルツイン)の概念モデルの提案

ここでは、フィジカル空間で人間の持つ膨大な現場知識をサイバー空間で蓄積・活用する概念モデルを提案する。まず、従来の物理モニタ(センサ)に対して「人間モニタ」という概念を導入する。

#### 物理モニタと人間モニタ

デジタルツインでは、フィジカル空間の対象物を計測・観測する物理的なセンサおよびセンサ情報を現場側で加工するエッジデバイス(ここでは「物理モニタ」と呼ぶ)を前提としているが、多くの現場では物理モニタだけで現場の状況を把握するのは難しく、またコスト的にも現実的ではない。具体例として、農業の現場では、現実に利用可能な物理モニタは、温度・湿度・水位・照度センサなどであり、農作物の生育の状況や病害虫の状況を物理モニタだけで把握するのは難しい。その点、人間は素晴らしい五感と頭脳を持っており、人間が現場で気づいたこと考えたことをその場で記録する手段(ここでは「人間モニタ」と呼ぶ)が有効である。ここで、人間モニタは、Human Digital Twinのように人間をモニタするというより、人間自身が現場のエッジデバイスとして現場の「モニタ」になるという意味であり、本研究の特徴的な概念である。さらに、人間モニタは、現場で人間が五感で感じたもの(気づき)に加えて、人間の経験知(潜在的で暗黙的な知識も含む)に基づき、気づきを現場で解釈したり考えたりして言語化した内容も含む点が重要なポイントである(図1左)。この人間モニタの支援ツールとして、著者らは人間が現場で気づいたこと考えたことを音声で記録・蓄積・共有する「音声つばやきシステム」[6]を2010年から提案し様々な現場で適用してきた。著者らは、物理モニタと人間モニタを相補的に活用することがHuman centric デジタルツインのあるべき姿であると考えている(図1右)。

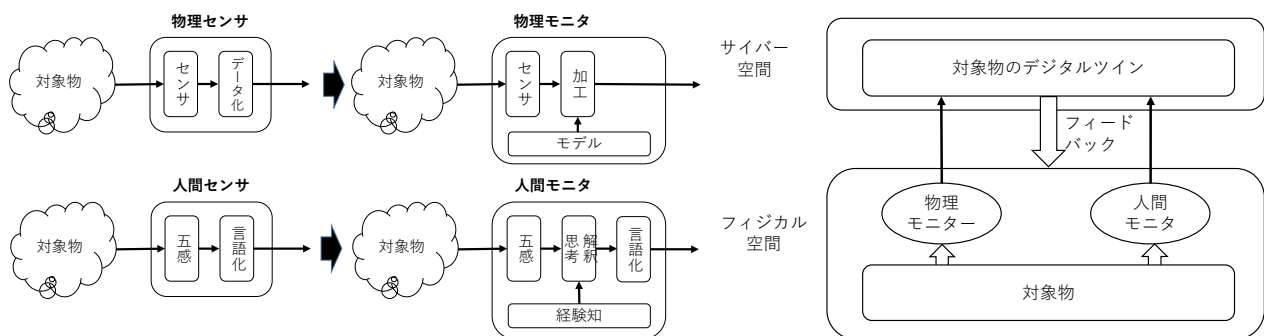


図1 物理モニタと人間モニタによるデジタルツイン

#### 現場知識

本稿では、人間モニタで収集する人間が現場で気づいたこと考えたことを「現場知識」と呼ぶことにする。「現場知識」には、下記のようなものがある(例は農業現場[7,8]から抽出)。内容によっては「現場情報」と呼ぶべきものもあるが、ここでは総称として「現場知識」と呼ぶ。

- ① 現場で観察したこと(観察)例: 農作物の生育状況や病害虫の状況
- ② 現場で行ったこと(行動)例: 肥料や農薬の散布内容の記録
- ③ 現場で将来行いたいと思ったこと(ToDo)例: 来年度の同時期の農作業時に気を付けたいこと
- ④ 現場で工夫したこと(工夫)例: 天候の変化を考慮したハウス内の温度調整
- ⑤ 現場で考えたこと(思考)例: 前回の農薬散布がどのように効果があったのかの考察
- ⑥ 現場で思い出したこと(回顧)例: 過去の同様な自然災害の際に経験した失敗の記憶

- ⑦ 現場で心配なこと（心配）例：新人が自分の作業の妥当性に関して先輩に確認したいこと
- ⑧ 現場で伝えたいと思ったこと（伝達）例：同じ圃場を担当する他のメンバーへの注意事項

ここで、「現場知識」の多くはその場で記録しないと蒸発して残らないケースが多い。後述する介護現場の場合、介護スタッフが現場で感じた重要な現場知識の5割から8割が「蒸発」して介護記録に残っていないという試行評価結果もある[7]。また、「工夫」「思考」「回顧」「心配」は潜在知識であることが多い。ここで、潜在知識とは、普段は意識していないが、現場に立ち会ったり、人から聞かれたりすると記憶の奥底から引き出される知識である。現場における人間モニタにより、人間の潜在知識を「蒸発」する前に記録・蓄積することが可能となる。

### 現場知識の体系化と活用

現場知識は、汎用的な形式知ではなく、現場のコンテキスト（文脈）に大きく依存した知識であり、論理式やIF-THENルールやオントロジーのようにフォーマルに扱えるものではない。すなわち、現場知識は、コンテキストとセットでサイバー空間上に蓄積され、その活用時にはコンテキストを再現した上での内面化が必要になる（図2左）。しかし、その場合でも「フォーマル（厳密）な体系化」は難しくても「緩い体系化」は可能であり、必要に応じてシステム（人工知能）が現場に関係があると思われる現場知識を抽出して人間に提示することは可能である。「緩い体系化」とは、論理的に厳密な構造ではなく、現場知識間の関連の度合いを「確度」のようなもので表現し、コンテキストも考慮した様々な視点で検索できるような体系化を意味している。そして、フィジカル空間の人間が、ある現場の（困った）状況に関連する現場知識をサイバー空間から検索し、その現場知識と現場の状況と人間の経験知を統合的に再解釈し、新しい現場知識を再構成し、現場で活用する（図2右）。ここで、現場知識のデジタルツインを特に「ナレッジデジタルツイン」と呼ぶことにする。ナレッジデジタルツインの活用には、「現場での関連現場知識の提示（現場知識提示）」と「現場知識をトリガーにした知識共有・継承のためのワークショップ（現場知識ワークショップ）」がある。「現場知識提示」では、SNS (Social Networking Service) のような場で、人間モニタで言語化された現場知識をメンバー間で共有し、お互いにフィードバック（例：いいねボタンやコメント）することで、バーチャル空間上で準リアルタイムに知識共有・継承を行うことができる。「現場知識ワークショップ」では、対面またはオンラインのワークショップの場で、人間モニタで言語化された現場知識を起点にしてメンバー間で議論を行い、コンテキストとともに現場知識を再現・共感し、各メンバーがそれぞれ再解釈と内面化を行う。ここでは、知識構造化ワークショップ[8]の手法が適用できる。

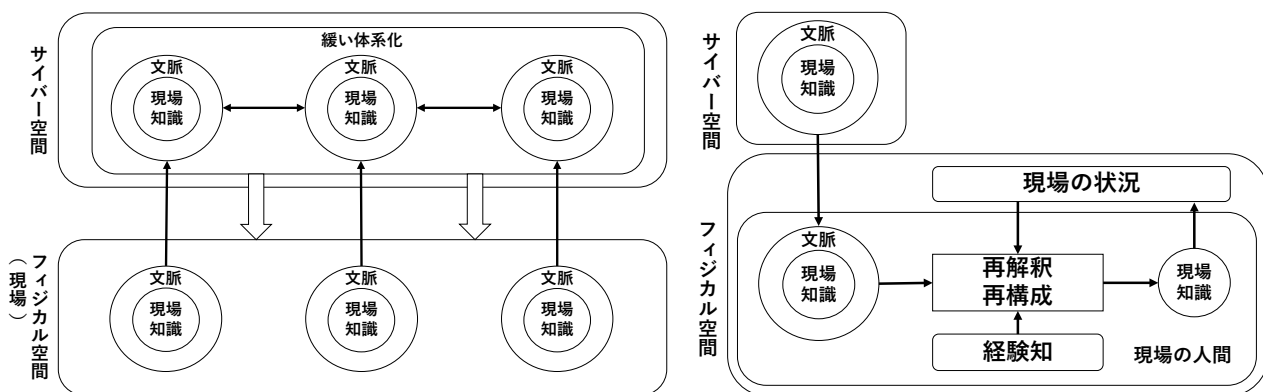


図2 現場知識のデジタルツイン（ナレッジデジタルツイン）

## 4. 事例

筆者らがこれまで取り組んできた現場に音声つぶやきシステムを適用してきた事例を、Human centric デジタルツイン、特にナレッジデジタルツインの視点で紹介する。

### 介護現場

音声つぶやきシステムを介護現場で適用した[6,7]。この事例では、介護施設の中でスタッフが音声つぶやきシステムを使用して介護中の気づきを記録・共有し、SNS 的なインターフェース上でリーダーおよび他のスタッフ間でコミュニケーションを行うことにより、介護現場の「連携品質向上」「記録品質向上」に有効であることを確認した。また、現場知識ワークショップでの知識共有が「業務分析・改善」に繋がることを示した。



## 農業現場

音声つぶやきシステムを農業現場（ハウスおよび屋外の圃場）で適用した[9,10]. この事例では、農業現場における農業者の気づきや考えたことを音声で記録し、温度・湿度などの物理センサ情報と組み合わせることで、その現場で有効な知識抽出ができることを示した。また、農業者（特に初心者）の気づきや考えたことをベテランが確認することで、初心者とベテランの知識のギャップを相互に認識でき、教育・指導にも有効であることを示した（音声つぶやきシステムを活用したバーチャル OJT）。

## 製造現場

音声つぶやきシステムを製造現場で適用した[11]. この事例では、製造時に気を付けるべきこと・工夫・ノウハウを記録し、現場知識ワークショップを行うことで、製造現場の知識共有が進むことが確認された。特に、製造現場と設計現場などの異なる現場をまたがる知識共有に有効であることが示された。

## 保守点検現場

現在、音声つぶやきシステムを保守点検現場で適用しつつある[12]. この事例では、電気設備の点検現場で点検員の現場知識を蓄積し、収集された現場知識を用いて現場知識ワークショップを行うことで、保守点検現場の知識共有が進むことが確認できている。保守点検現場では、一人作業が多く、あるメンバーにとって（共有する必要もない）当たり前のことと思いついていた点検の視点や工夫が、他のメンバーにとって有益であったりすることが示されている。

これらの事例では、現場知識を抽出する人間モニタとして音声つぶやきシステムを活用し、主に人間が手作業で準備して「現場知識提示」および「現場知識ワークショップ」を実施してきたが、現場知識のサイバー空間での緩い体系化と現場知識の活用支援システムの実装は今後の課題である。

## 5. まとめ

本稿では、現状のデジタルツインの手がつかない課題として「フィジカル空間における現場知識をサイバー空間上でどのように蓄積・活用するか」を検討し、「ナレッジデジタルツイン」の概念モデルを示した。これは、**Human centric** デジタルツインの1つの重要なアプローチである。従来から、ナレッジマネジメント研究の文脈では、暗黙知のマネジメントの研究[13]や人間系を介した暗黙知の共有であるトランザクティブメモリーなどの研究[14]が行われてきた。また、農水産業では「知識を獲得した背景にあるコンテキストを再現した上での知識の共有や移転を可能にするナレッジマネジメント」が必要であるという指摘[15]もあった。しかし、デジタル技術の視点からの検討は未開拓の部分が多かった。本研究の「ナレッジデジタルツイン」は **Digital Triplet** とは別のアプローチでデジタル技術と人間の知識の相互補完を実現するものである。今後は、現場知識の緩い体系化の技術開発・システム実装を進めるとともに、介護・農業・製造・保守点検などの様々現場での適用評価を行っていく。

## 参考文献

- [1] 国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, “デジタルツインに関する国内外の研究開発動向,” CRDS-FY2021-RR-09 (2022)
- [2] Shengli, W., “Is human digital twin possible?” *Computer Methods and Programs in Biomedicine Update* 1 (2021)
- [3] Miller, M. E., Spatz, E., “A unified view of a human digital twin,” *Human-Intelligent Systems Integration*, 1-11 (2022)
- [4] 梅本春男 (ほか), “センシング技術を活用した製造現場ノウハウのデジタルカプセル化 (パリュチェーンの全体最適を支える製造ソリューション),” *日立評論* 99.6, 626-631 (2017)
- [5] Umeda, Y., et al., “Development of an education program for digital manufacturing system engineers based on ‘Digital Triplet’ concept,” *Procedia manufacturing* 31, 363-369 (2019)
- [6] 内平直志, “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*, 1(2), 14-17 (2014)
- [7] Torii, K., et al. “Improvement of sharing of observations and awareness in nursing and caregiving by voice tweets,” *International Conference on Serviceology* 2014, 161-175 (2014)
- [8] 伊集院幸輝, 小早川真衣子, 飯野なみ, 西村拓一, “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*, 63 (1), 104-115 (2022)
- [9] Uchihira, N., Yoshida, M., “Agricultural Knowledge Management Using Smart Voice Messaging Systems: Combination of Physical and Human Sensors,” *International Conference on Serviceology* 2018, 148-151 (2018)
- [10] 高道駿, 佛田利和, 佐藤那央, 内平直志, “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* (2021)
- [11] 丸山悠那, 内平直志, “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,” *2021 年度日本 MOT 学会研究発表会* (2022)
- [12] 電気保安分野で産学連携プロジェクト～「音声つぶやきシステム」を活用した技術継承支援～ (プレスリリース)  
<https://www.jaist.ac.jp/whatsnew/press/2022/03/28-2.html>
- [13] Ribeiro, R., “Tacit knowledge management,” *Phenomenology and the cognitive sciences*, 12(2), 337-366 (2013)
- [14] Wegner, D. M., “Transactive memory: A contemporary analysis of the group mind,” *Theories of group behavior*, 185-208, Springer New York (1987)
- [15] 末永聡, “農林水産業とナレッジマネジメント,” *農業経営研究*, 46(4), 8-16 (2009)