

# 人手不足解消のための技能継承テック

## 先端技術で実現する技能継承の可能性

2026年3月26日

株式会社日本総合研究所

<お問い合わせ>

先端技術ラボ [落合 遥堂](#)

本レポートに関するお問い合わせにつきましては、当社ホームページの [お問い合わせフォーム](#) よりご連絡ください。

本資料は、作成日時時点で弊社が一般に信頼出来ると思われる資料に基づいて作成されたものですが、情報の正確性・完全性を保証するものではありません。また、情報の内容は、経済情勢等の変化により変更されることがあります。本資料の情報に基づき起因してご閲覧者様及び第三者に損害が発生したとしても執筆者、執筆にあたっての取材先及び弊社は一切責任を負わないものとします。尚、本資料の著作権は株式会社日本総合研究所に帰属します。

## ● 背景と問題提起

- ✓ **【現状と限界】** 深刻な人手・時間不足により、現場努力（OJT）に依存した「身体的暗黙知」の継承は、すでに物理的な限界を迎えている。
- ✓ **【本質的課題】** 継承の停滞は現場の努力不足ではなく、厳しい制約（リソース不足）下でも機能する「仕組み」が欠如していることが真因である。
- ✓ **【解決の方向性】** 「人」による指導から、技術・運用・制度を刷新した「記録・共有・反復・フィードバックを支える仕組み」へと構造自体を転換する必要がある。

## ● 技術継承テックの可能性

- ✓ **【解決策：技能継承テック】** モーションキャプチャ、EMG(筋電)、EEG(脳波)、ハプティクス、アイトラッキング等の先端技術(総称：技能継承テック)を活用し、身体的暗黙知を「観察可能な情報」へ変換。熟練者との差を可視化することで、技能習得を劇的に加速させる。
- ✓ **【社会実装への展望】** 技術の可能性は示されたが、本格普及には「技術のさらなる深化」「社会基盤の整備」「持続可能なビジネスモデルへの転換」が不可欠である。

## ● 技能継承を支える仕組みの構築に向けて

- ✓ **【戦略的アプローチ】** 技術の成熟を待つだけでなく、即座に着手可能なところから「制度・運用面」の整備する。政府と事業者が連携し、段階的に環境を構築することが不可欠である。
- ✓ **【関係者の役割とアクション】**
  - ・ 政府： 標準化、事前支援、権利保護を一体的に整備し、技術活用が円滑に進む「社会基盤(インフラ)」を構築する。
  - ・ 事業者： 技能を「人」から「仕組み」へと移す努力を徹底し、「指導の仕組み化」「脱属人化」「ビジネスモデル転換」を並行して推進する。



## 1. 背景と問題提起

- 1.1 日本の人手不足の全体像 ..... 5
- 1.2 育成余力の縮小 ..... 6
- 1.3 育成余力と技能継承の関係 ..... 7
- 1.4 代表ケース「製造業・建設業」の現状 ..... 8
- 1.5 技能継承の構造的危機の整理 ..... 9

## 2. 技術継承テックの可能性

- 2.1 技術調査の位置づけ ..... 11
- 2.2 技術別動向 ..... 12
- 2.3 横断的課題と実装上の限界 ..... 17

## 3. 技能継承を支える仕組みの構築に向けて

- 3.1 技能継承を支える仕組みの全体像 ..... 19
- 3.2 政府がとるべきアクション ..... 20
- 3.3 事業者(技能継承が課題となっている企業)がとるべきアクション ..... 21

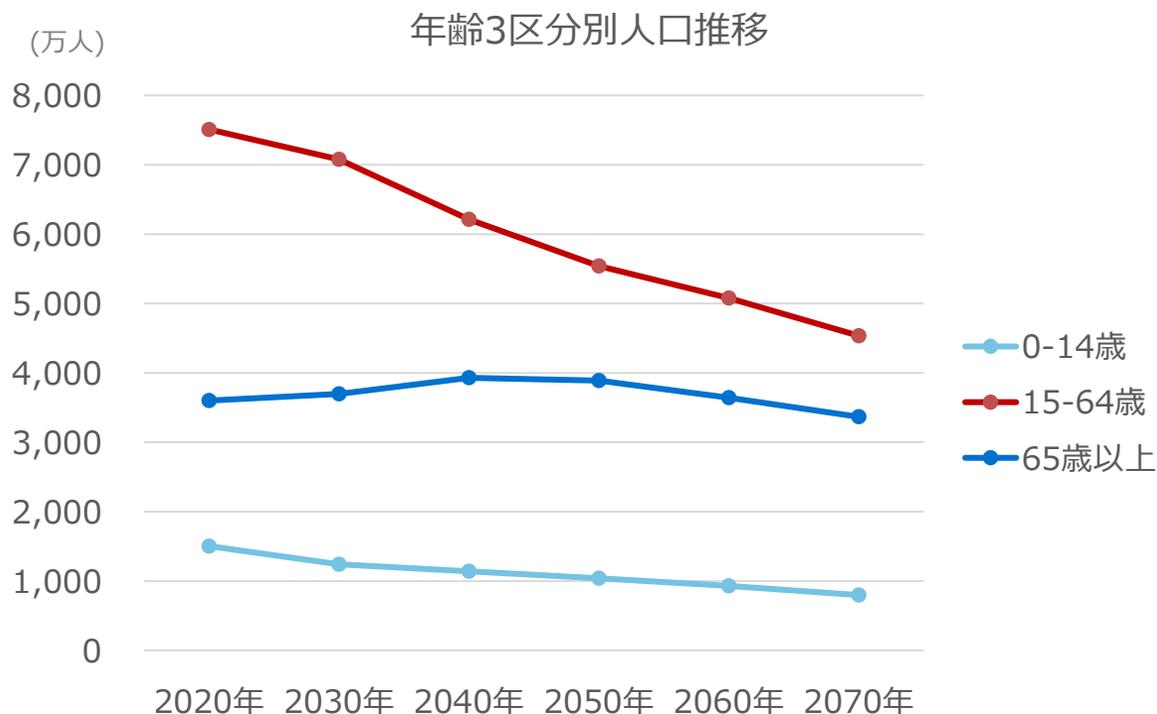
# 1. 背景と問題提起

## 1.1 日本の人手不足の全体像

- 日本の人手不足は、生産年齢人口の減少に伴う慢性的な課題である。
- 人手不足の深刻化と労働力の減少は、もはや予測ではなく、数字が証明する決定的な現実となっている。

### 生産年齢人口の推移

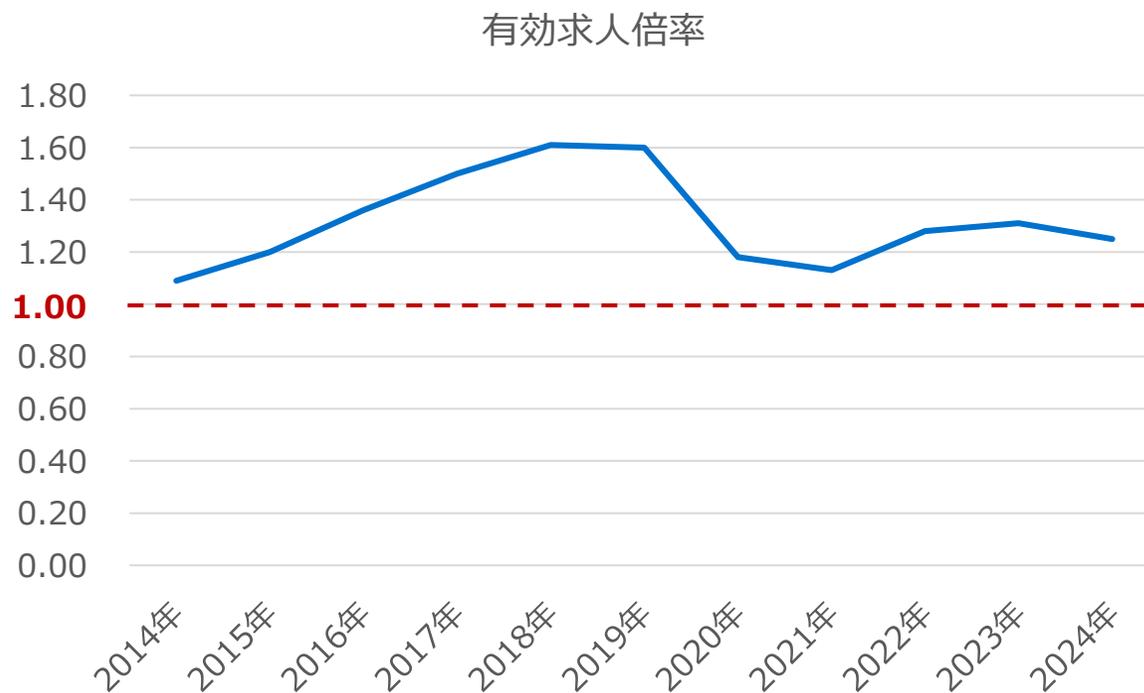
- 生産年齢人口(15-64歳)は、2020年の7,509万人から2070年には4,535万人へと約**40%も激減**することが予測されている。
- 経済の担い手が急速に失われることと捉えられる。



[出所] 国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(令和5年推計)」(出生中位(死亡中位)推計)をもとに日本総研作成

### 慢性化する売り手市場

- 有効求人倍率は、労働市場の需給バランスを示し、日本の人手不足の深刻さを物語る重要な指標である。**2014年以降、一貫して1.0倍を上回り**、求職者1人に対して1件以上の求人が存在する「売り手市場」が慢性化していることを示している。



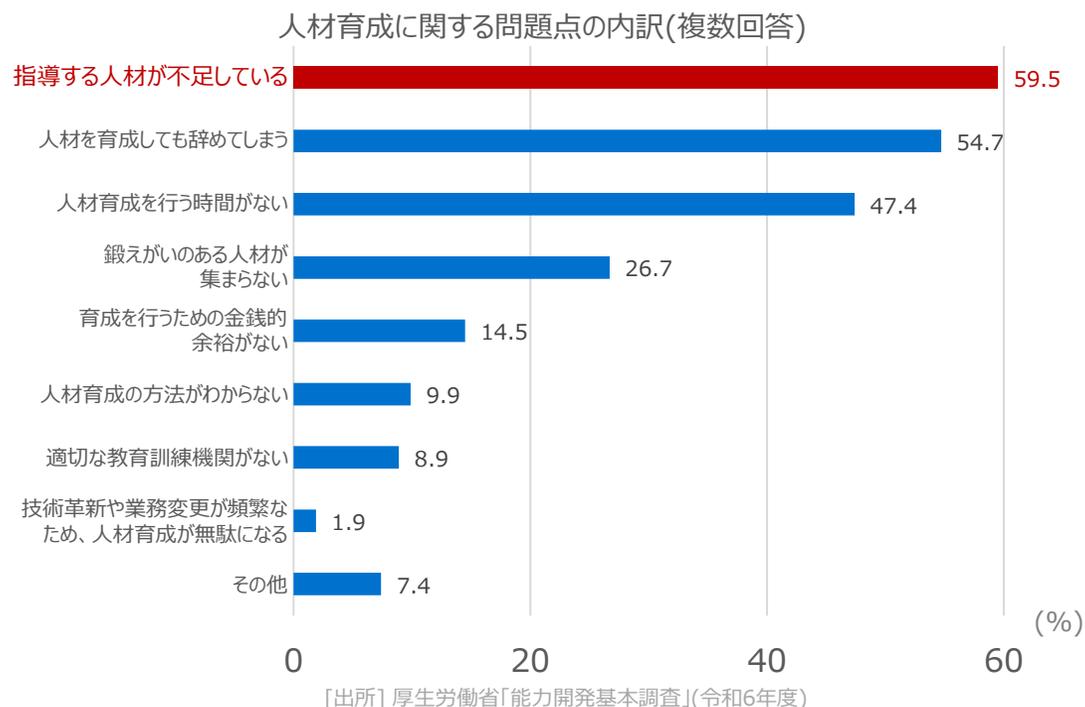
[出所] 厚生労働省「職業安定業務統計」をもとに日本総研にて作成

## 1.2 育成余力の縮小

- 約8割の事業所が人材育成に課題を抱え、指導者不足が最大の障壁となっている。
- 技能継承は「人」の確保による対応が主流であり、マニュアル化等の「仕組み」による継承は2割に満たない。

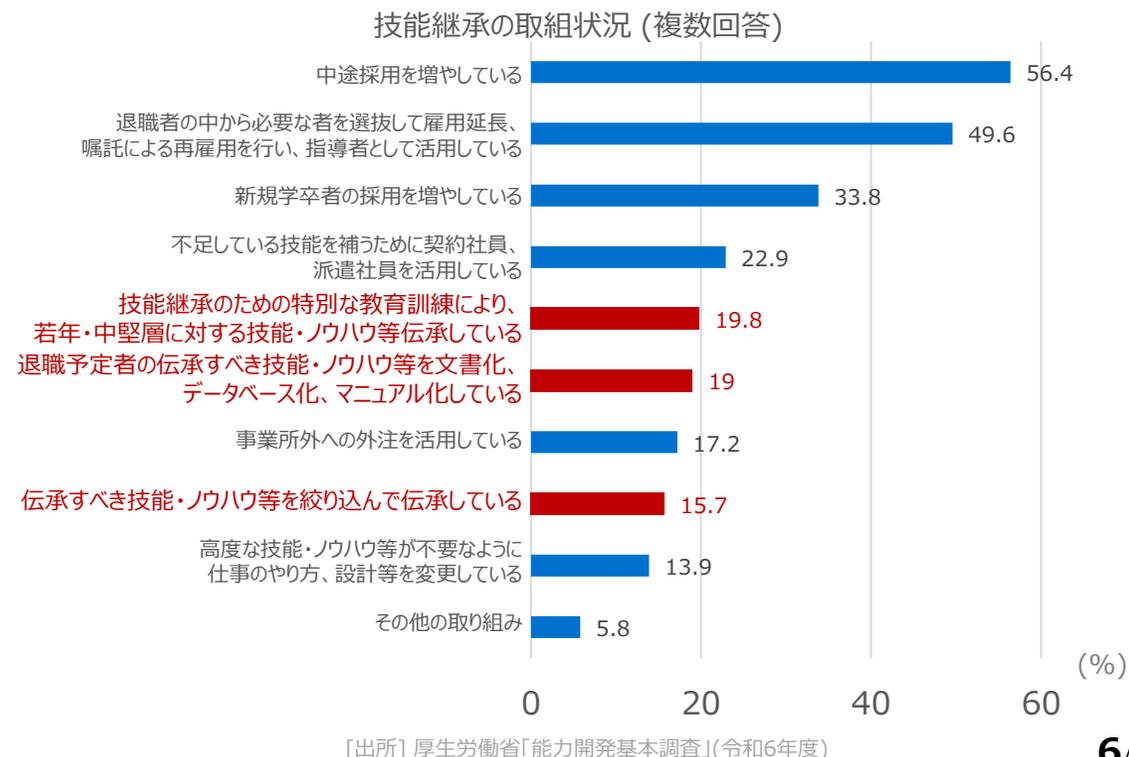
### 人材育成に関する問題

- 日本の事業所の約8割が、能力開発や人材育成に関する課題を抱えており、この数字は直近15年間で増加傾向である\*1。
- 人材育成に関する問題点の内訳は、「指導する人材が不足している」(59.5%)が最も高く、「人材を育成しても辞めてしまう」(54.7%)、「人材育成を行う時間がない」(47.4%)と続いている\*1。



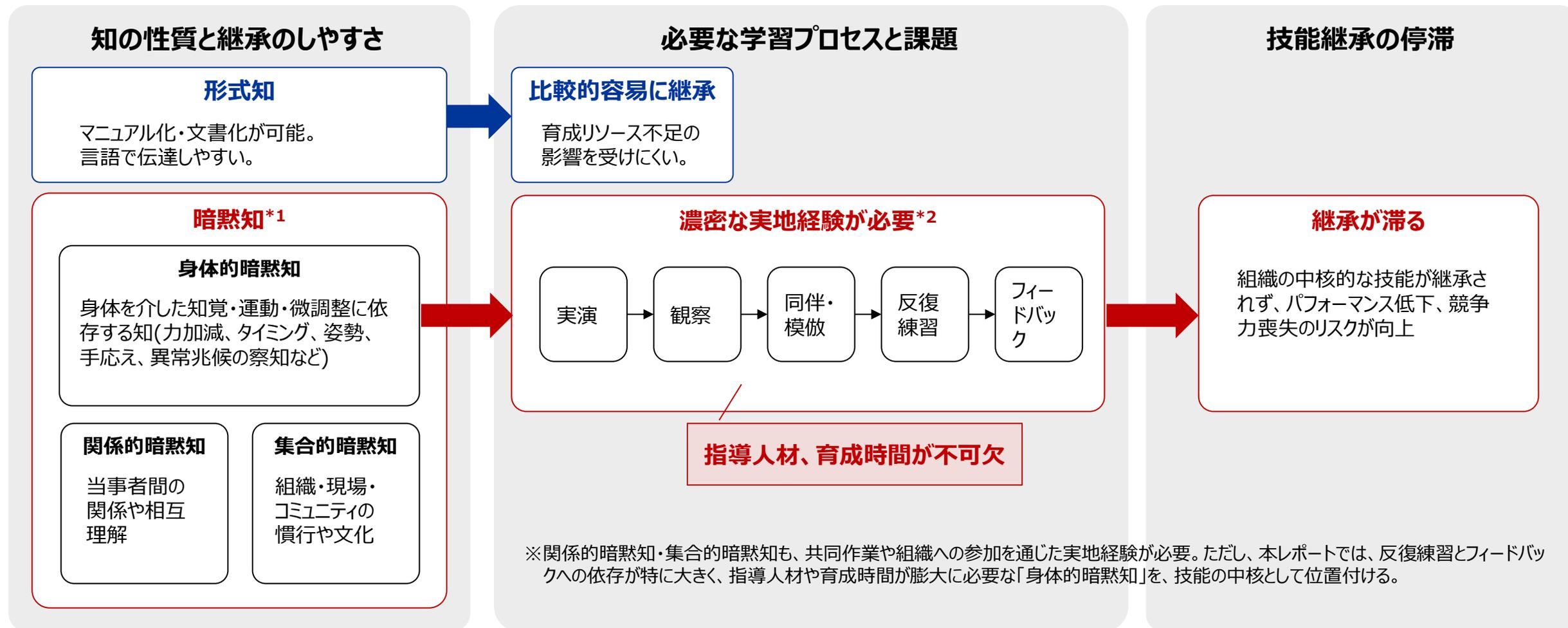
### 技能継承の取組

- 技能継承の取組を行っている事業所の割合を産業別にみると、「製造業」(94.9%)、「建設業」(94.3%)、「学術研究、専門・技術サービス業」(93.4%)が3つが上位で、その割合は9割を超えている\*1。
- 技術継承の取組の内訳をみると、中途採用など「人」そのものを確保する対策が主流で、教育プログラムの構築やマニュアル化といった「仕組み」による継承は、いずれも2割以下である\*1。



### 1.3 育成余力と技能継承の関係

- 知覚・運動・微調整など身体を介して発揮される「身体的暗黙知」は、文書や講義のみでは十分身に付きにくく、実地経験を通じて体得される。そのため、その習得・継承は指導人材の確保と育成時間の確保に強く依存する。
- 育成余力不足の場面では、特に「身体的暗黙知」が現場で十分に受け継がれにくい。



※关系的暗黙知・集会的暗黙知も、共同作業や組織への参加を通じた実地経験が必要。ただし、本レポートでは、反復練習とフィードバックへの依存が特に大きく、指導人材や育成時間が膨大に必要な「身体的暗黙知」を、技能の中核として位置付ける。

\*1 Collins, H. (2013). Building an antenna for tacit knowledge. *Philosophia Scientia*, 17(3), 25-39.

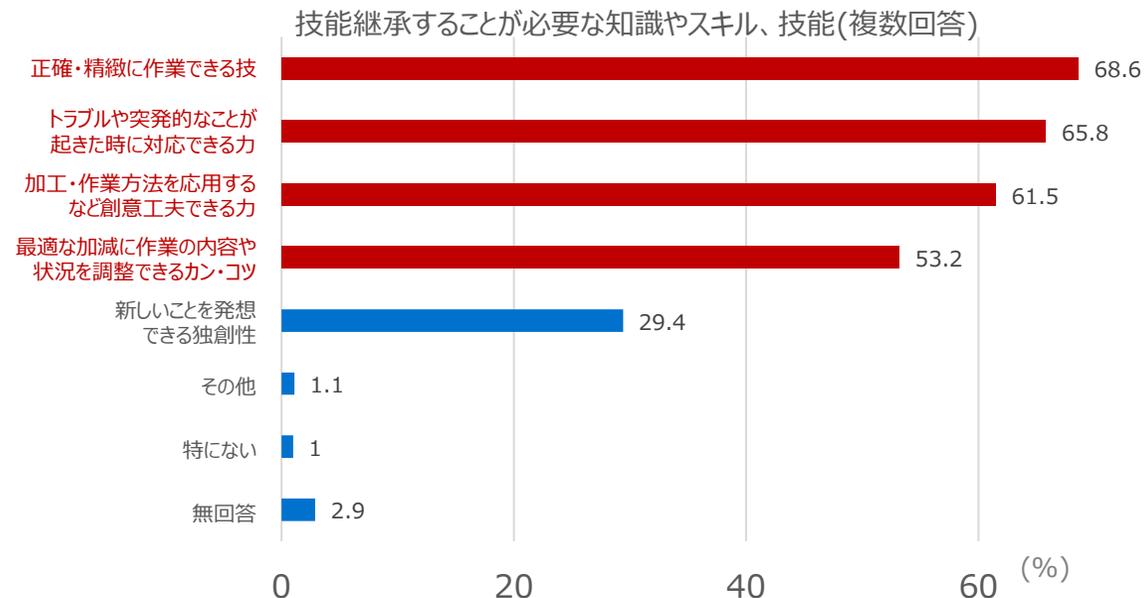
\*2 Ericsson, K. A. (2008). Deliberate practice and acquisition of expert performance: a general overview. *Academic Emergency Medicine*, 15(11), 998-994.

## 1.4 代表ケース「製造業・建設業」の現状

- 技能継承の取組を行っている事業所の割合が多い製造業と製造業(1.2)を取り上げてみると、技能習得のために濃密な実地経験が求められていることが確認できる。

### 製造業界の実情

- ものづくり産業で継承が必要な技能は、「正確・精緻に作業できる技」が約7割に達している。
- その他にも、「トラブルや突発的なことが起きた時に対応できる力」や「最適な加減を調整するカン・コツ」といった現場の状況に応じて体が即座に反応する知性が求められている。

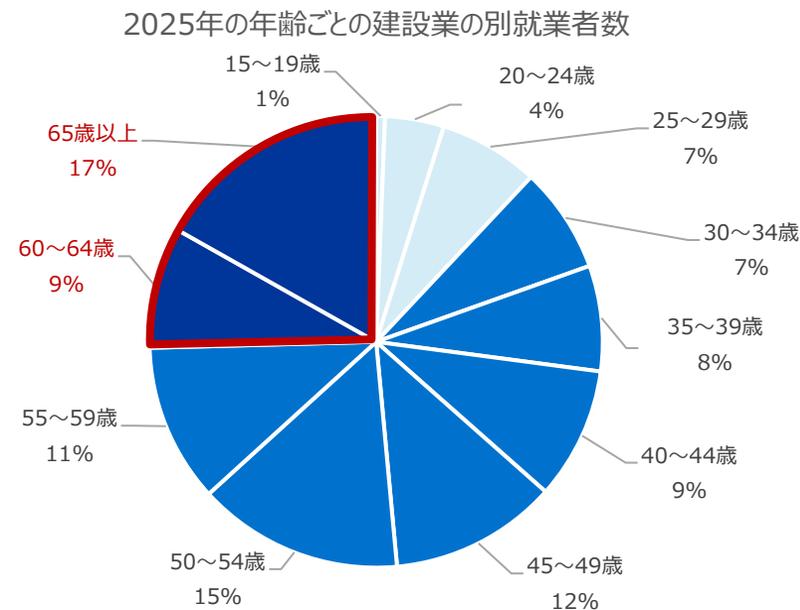


[出所] 独立行政法人 労働政策研究・研修機構(JILPT)。(2019年6月6日)。「ものづくり産業における技能系主小野現状と課題に関する調査」

日本のもの作りが「機械の設定」以上に、「人の身体的習熟」に支えられていると考えられる。

### 建設業界の実情

- 建設技能の形成は、短期研修だけで完結しにくく、年単位の就業経験を前提に制度設計されている。日本機械土工協会の能力評価基準では、上位レベル(レベル4)に「就業日数10年(2,150日)」が示されており<sup>\*1</sup>、育成に時間がかかることがわかる。



[出所] 総務省統計局「労働力調査」(2025年)を基に日本総研作成

就業者の年齢構成においては、60歳が約4分の1を占めており、10年後にはその大半が引退することが見込まれる。

## 1.5 技能継承の構造的危機に関する考察

- これまでの事実から、技能継承の停滞は現場の努力不足ではなく、制約条件に耐える仕組みが欠けていることに起因すると考えられる。
- 次章以降では、指導者不足・時間不足を前提にしても継承が回るように、技能の記録・共有・反復・フィードバックを支える仕組み（技術・運用・制度）へ転換できるかを中心の論点とする。
- まとめ
  - ✓ 売り手市場の慢性化が、育成余力を構造的に圧迫する(1.1)
    - ・ 生産年齢人口が激減しており、労働市場が下りて市場として慢性化しているという事実を確認した。
    - ・ 現場運営の前提が「人が入る」から「人が足りないのが通常」へと転換していることであり、教育・指導に必要な余力が構造的に確保しにくくなっていると言える。
  - ✓ 問題意識は高いが、指導者と時間が足りず育成が回らない(1.2)
    - ・ 能力開発への問題意識が大きい事業所が8割存在する一方で、指導人材不足や時間不足が訴えられているという事実を整理した。
    - ・ つまり、育成が進まない理由は、重要視していないからではなく、指導の担い手と時間という実行資源が不足していることにある。
    - ・ また、技能継承の取組として、一定取組はなされているが、現場制約を前提に継続・横展開できるような「仕組みによる解決策」が見当たらない状況も確認した。
    - ・ これにより、取組が個別努力に留まり、再現性をもって広がりにくい構造が示唆される。
  - ✓ 身体的暗黙知は指導負荷が本質的に大きい(1.3)
    - ・ 身体的暗黙知は経験を通じてしか獲得されにくく、実演・観察・同伴・模倣・反復練習・フィードバックといったプロセスを要する、という事実を前提にした。
    - ・ ここから導かれるのは、身体的暗黙の継承は教材整備だけでは足りず、指導者の関与と育成時間を継続的に投入する設計が不可欠である、という点である。
    - ・ したがって、1.2で確認した指導人材不足・時間不足は、身体的暗黙知の継承に対して本質的な制約として作用する。

## 2. 技術継承テックの可能性

## 2.1 技術調査の位置づけ

- 前章までで「熟練者の技能が暗黙知として個人に滞留し、**現場で”記録・共有・反復・フィードバック”の学習ループが回らないこと**」が**技能継承のボトルネック**であることがわかった。
- 本レポートでは、近年発展している**先端技術の可能性を調査**した。狙いは、熟練者と学習者の差を**観察可能な情報**に変換し、反復練習とフィードバックを行うで、**技能習得を加速**することである。
- 具体的に調査した技術は、**モーションキャプチャ、EMG(筋電)、EEG(脳波)、ハプティクス、アイトラッキング**等、身体的暗黙知の構成要素(身体動作、筋活動、脳活動、触覚・力覚、視線行動)を捉える技術群である。これらの技術群を総称して「**技能継承テック**」と呼ぶ。

過去・現在：「見て盗め」とOJTの限界、属人化

未来：再現可能な学習システム



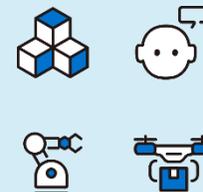
### 身体的暗黙知の課題

- 言葉にできないコツ・勘
- 教える時間がない
- 長年の経験が必要




### 技能習得の加速

- データに基づく指導
- リアルタイムフィードバック
- 人とロボットの協調作業



## 2.2 技術別動向 | モーションキャプチャ：身体動作

### (1) モーションキャプチャとは<sup>\*1</sup>

- 三次元空間における人体や動物の動きをデジタルデータとしてコンピューターに取り込む手法の一つ。
- 頭部や手足の関節など、動作の基本要素となる部分に何らかの印やセンサーを取り付け、空間内でのそれらの動きを記録する方式などがある。



### (2) 市場規模予測

- 世界の3Dモーションキャプチャ市場について、MarketsandMarketsの公開サマリー<sup>\*2</sup>によれば、2024年には約2.40億米ドル、**2029年には約4.84億米ドルに拡大**し、年平均成長率(CARG)は15.0%と見込まれている。

### (3) 技術トレンド

- **マーカーレス・モーションキャプチャの台頭**：カメラベースのAI解析による**マーカーレス技術<sup>\*3</sup>**が主流になりつつあり、機器の**小型化・低コスト化**が進行中<sup>\*4</sup>。
- **AI・機械学習との融合**：モーションデータのノイズ除去や自動補完にAIが活用され、精度と効率が向上<sup>\*5</sup>。
- **リアルタイム・クラウドベース化**：データ処理がクラウド化され、遠隔コラボレーションやメタバース制作の効率が向上<sup>\*6</sup>。今後は「感情応答型モーションキャプチャ」などAIとの統合が期待。

### (4) 活用事例：マツダの技能伝承<sup>\*7</sup>

活用段階

- マツダは、熟練技能者「匠」の暗黙知継承が難しくなる中、モーションキャプチャーを導入し、**動き・視線・筋肉の使い方まで重要な技能要素を抽出**して指導に活用。
- 魂のこもった精密なデザインを実現するためには数ミクロン精度が求められ、最終仕上げには人の手が不可欠。**数値化により若手の成長が見えやすくなり**、自信向上と育成スピード加速（匠育成が約5年に短縮）。

### (5) 活用に向けた課題・制約例<sup>\*8</sup>

- **遮蔽**：カメラベースのシステムは「作業員や機械により、カメラが遮蔽される問題が存在」
- **コスト**：多大な設置及び運用コストがかかる
- **誤差**：センサによる計算誤差を修正し、周りの雑音をカットし整える必要がある。
- **マーカー配置**：身体へのマーカーの取り付けは、個人に対する「侵襲性」が高い、プライバシーへの配慮が必要
- **レイアウト変更**：固定カメラでは「物理的なスペースの設定や構成が時間とともに変化してしまう問題が存在」
- **データ**：高次元のデータセットや大規模なトレーニングデータセットが必要

<sup>\*1</sup> 小学館. (n.d.). モーションキャプチャー【motion capture】. 『デジタル大辞泉』. 2025/12/16参照

<sup>\*2</sup> PRNewswire. (2024, May 15). 3D motion capture system market worth \$484 million by 2029.

<sup>\*3</sup> 体にマーカー(印)をつけずに、カメラの映像だけで動きをデジタル化する技術のこと。従来主流であった全身タイツにマーカー(印)をつけるタイプと比較して、手軽に動きをキャプチャできる。

<sup>\*4</sup> Yang, J. (2025). *Analysis of Motion Capture Technology Research and Typical Applications*. In Proceedings of the 5th International Conference on Signal Processing and Machine Learning.

<sup>\*5</sup> Wibowo, M. C., Nugroho, S., & Wibowo, A. (2024). *The use of motion capture technology in 3D animation*. International Journal of Computing and Digital Systems, 15(1).

<sup>\*6</sup> Zhang, X., Zhang, Z., Wang, Y., Lee, L.-H., & Hui, P. (2024). *SIDQL: An efficient keyframe extraction and motion reconstruction framework in motion capture*. arXiv preprint arXiv:2407.00925.

<sup>\*7</sup> Mazda Motor Corporation. (2025/6/27). 次世代へつなぐ「魂動デザイン」の金型技術 —モーションキャプチャーで叶える技能伝承者たちの願い—. Mazda.com.

<sup>\*8</sup> Menolotto, M., Komaris, D.-S., Tedesco, S., O'Flynn, B., & Walsh, M. (2020). *Motion capture technology in industrial applications: A systematic review*. Sensors, 20(19), 5687.

## 2.2 技術別動向 | EMG(筋電) : 筋活動

### (1)EMG(筋電)とは\*1

- 骨格筋が活動するときに生じる電気信号(筋の電気的活動)を、電極で計測・記録する技術/検査のこと。
- 具体的には、筋が安静時・軽い収縮・強い収縮をするときの電気活動を捉え、筋やそれを支配する神経の状態評価、あるいは研究・産業用途では筋活動の推定(どの筋がどれくらい働いたか)に使われる。



※非侵襲かつウェアラブル化に適した表面筋電図 (surface EMG: sEMG) を前提とする。

### (2)市場規模予測

- ウェアラブル筋電図 (EMG) 市場については、民間の市場調査会社による一推計として、Next Move Strategy Consulting(2024) \*2が2023年時点の世界市場規模を約7億米ドル、**2030年には約11億6,000万米ドル**へ拡大すると予測している。

### (3)技術トレンド

- 新素材・3Dプリントによる電極革新**：柔軟・伸縮性に優れた導電材料や3Dプリント技術により、**皮膚との密着性と快適性が向上**。ウェアラブルEMGセンサーや医療用スマートパッチとしての応用が急増\*3。
- 高密度・多チャンネルEMG**：従来の1~2チャンネルから、数百電極による高密度表面EMG (HD-sEMG) が主流化。将来、**一般消費者向けデバイスにも使われる可能性が高い**\*4。
- 標準化と再現性の強化**：国際的ガイドライン(CEDE-Check)の策定によりEMG研究の基準が統一され、**産業分野でも再現性が高まり応用が進むと期待**される。\*5。

### (4)研究事例:ロボットへのスキル継承\*6

研究段階

- カメラで人の腕の動きを撮影しつつ、sEMGで筋肉の活動から腕の「かたさ(剛性)」を推定し、その動きと力加減をUR5ロボットに真似させる仕組みを提案。
- 重りを支える作業とゴムバンドを伸ばす作業で試したところ、sEMGにもとづいて腕のかたさを変える制御のほうが、かたさを一定にした場合よりも、外から力を加えられたあとに動きのズレが小さく、元の軌道に戻るのも速いことがわかった。
- 人の「力の入れ方」をロボットに引き継げる**ことが示された。

### (5)活用に向けた課題・制約例

- 被験者間差・再現性**：皮下組織の影響の受けやすさの個人差、電極の貼り直しによる結果の差など再現性に課題がある\*7
- 装着・貼付の手間**：皮膚貼付やストラップ固定を要するケースがあり、現場では装着の手間と運用不可が増える。また配線が太くワイヤがかさばる製品もあり、使いやすさが下がる。\*8
- 汗・高温環境によるノイズ**：汗によるデータ取得中のノイズが生じるため、高温環境や長時間作業では、汗起因ノイズを見越した運用設計(再貼り付け、固定方法の工夫、品質チェック)が必要になる。\*8

\*1 Johns Hopkins Medicine. (n.d.). *Electromyography (EMG)*. 2026/2/26参照

\*2 Next Move Strategy Consulting. (2024). *Electromyography wearables market: Global opportunity analysis and industry forecast, 2023-2030*.

\*3 Su, H., Moeinnie, H., & Kim, W. S. (2023). *3D printed electromyography sensing systems*. *Advanced Sensor Research*, 2(9), 2300003.

\*4 Farina, D., & Enoka, R. M. (2023). *Evolution of surface electromyography: From muscle electrophysiology towards neural recording and interfacing*. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 71, 102796.

\*5 Besomi, M., et al. (2024). *Consensus for experimental design in electromyography (CEDE-Check)*. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 76, 102874.

\*6 Zhang, H., Peng, F., & Cai, M. (2025). *Human-robot variable-impedance skill transfer learning based on dynamic movement primitives and a vision system*. *Sensors*, 25(18), 5630.

\*7 De Luca, C. J. (1997). *The use of surface electromyography in biomechanics*. *Journal of Applied Biomechanics*, 13(2), 135-163

\*8 Babangida, A. A., et al. (2025). *Advancing occupational medicine through wearable technology: A review of sensor systems for biomechanical risk assessment and work-related musculoskeletal disorder prevention*. *ACS Sensors*, 10(8), 5410-5432

## 2.2 技術別動向 | EEG(脳波) : 脳活動(認知状態の推定)

### (1) EEG(脳波)とは\*1

- 頭皮上に電極 (electrodes)を装着して、脳の電氣的活動を記録する検査・計測法。
- 記録結果(脳波)は脳活動の変化を示し、臨床では主にてんかん(発作)などの評価に用いられる。

### (2)市場規模予測

- 民間市場調査会社の一推計として、Grand View Research(2024)\*2が、ウェアラブルEEGヘッドセットの世界市場は2023年に約1.22億米ドルであり、**2030年には約2.45億米ドルへ拡大**し、2024~2030年の年平均成長率は約10.5%と見込んでいる。

### ➤ (3)技術トレンド

- **ウェアラブルEEGの進化** : タトゥー型のデバイス\*3やイヤホン型のデバイス\*4など、従来より**簡易的に脳波計測が可能**となるハードウェアの研究開発が進展。
- **マルチモーダル計測 (EEG+他生理信号)** : 脳波と**心拍・身体動作・眼球運動・瞳孔**など複数の情報を統合する研究が大きく進展し、今後も増える見込み\*5。
- **脳波で機器を動かす技術** : EEGを用いて脳活動を計測し、**リアルタイムに外部デバイス/コンピュータを制御するBCI研究**が進展している。近年はポータブル/ウェアラブル化により、実験室外の実環境での利用も視野に入り、医療用途に加えて**ゲーム・健康・教育などへの応用**にも関心が高まっている\*6。

### (4)EEGを用いた技能向上\*7

研究段階

- 2025年、プロの射撃選手30名に、SMRベースのEEGニューロフィードバック(※)を4週間実施。
  - 技能 (特に精密運動/注意を要するスキル) において、EEGを用いた訓練が**“パフォーマンス改善”に資する**という可能性が示唆された。
- (※)ニューロフィードバックとは、脳活動を計測し、その状態を映像や音など五感を通じて本人に伝える手法。

### ➤ (5)活用に向けた課題・制約例

- **ノイズによる信号劣化** : 身体の動き、装着時のズレ、発汗による接触不良など、脳波以外の要因が混入しやすく、精度の維持が困難\*8。
- **実現場への適用における課題**\*9 :
  - **定義の多様性** : 測定対象 (負担、集中、感情など) の定義が研究や現場ごとに異なり、共通基準の構築が困難。
  - **環境の差** : 統制された実験室の指標が、豪的で複雑な日常・職場環境には適合しにくい。
  - **個体差の介在** : 経験・年齢・特性などの個人差が反応に大きく影響するため、一律の判定が難しい。



\*1 Mayo Clinic Staff. (2024, May 29). EEG (electroencephalogram). Mayo Clinic.

\*2 Grand View Research. (2024). *Wearable EEG headsets market size, share & trends analysis report, 2024-2030*.

\*3 Scalco de Vasconcelos, L., Yan, Y., Maharjan, P., et al. (2025). *On-scalp printing of personalized electroencephalography e-tattoos*. Cell Biomaterials, 1(1), 100004.

\*4 Azemi, E. (2023). *Biosignal sensing device using dynamic selection of electrodes* (U.S. Patent Application No. US20230225659A1).

\*5 Nobukawa, S., Shirama, A., Takahashi, T., & Toda, S. (2024). *Recent trends in multiple metrics and multimodal analysis for neural activity and pupillometry*. Frontiers in Neurology, 15, 1489822.

\*6 Liu, X.-Y., et al. (2025). *Recent applications of EEG-based brain-computer-interface in the medical field*. Military Medical Research, 12, Article 14.

\*7 Chen, F., Liu, Y., Lai, Y., & Ruan, Q. (2025). *An intelligent sport training method based on EEG neurofeedback*. Scientific Reports, 15, 37634.

\*8 Arpaia, P., et al. (2025). *A systematic review of techniques for artifact detection and artifact category identification in electroencephalography from wearable devices*. Sensors, 25(18), 5770.

\*9 Giangrande, A., et al. (2024). *Motion artifacts in dynamic EEG recordings: Experimental observations, electrical modelling, and design considerations*. Sensors, 24(19), 6363.

## 2.2 技術別動向 | ハプティクス：力覚・触覚(提示/補助)

### (1) ハプティクスとは\*1

- 力・振動・動きを与えることでユーザーが「実際にモノに触れているような感覚」を得ることが出来る、皮膚感覚フィードバック技術。



### (2) 市場規模予測

- 世界のハプティクス関連市場は、XR/ゲーム等の体験価値向上や産業用途での応用拡大を背景に成長が見込まれている。
- 例えばMordor Intelligenceの推計\*2では、ハプティクス技術市場が2025年の約46.2億米ドルから**2030年に約85億米ドルへ拡大**するとされる。

### (3) 技術トレンド

- マルチモーダル触覚**：力覚と温度など複数の感覚を同時に再現する研究\*3が注目されている。遠隔医療に加え、VRや機器の遠隔操作など、医療以外の領域でも**没入感・実在感を高める**技術として応用可能性が広がりつつある。
- AI・機械学習との融合**：触覚データの特徴抽出(押しているか、触っているか、動かしているかの情報抽出)が容易になり、**動きの認識の精度が上がっている**\*4。
- 低コスト化**：カメラベース触覚センサーの情報を用いて操作者に振動フィードバックを返す方法の提案がされ、低コストの市販既製ハードウェアのみで**手頃な価格の実装が可能**であること、ならびに公開コード等により**再現性が担保されうる**ことが示されている\*5。

### (4) 活用事例：トラック保守における触覚の技能移転\*6

- Sandvikは、鉱山用トラックの油圧オイル補充手順を、VRで練習できるデモにし、SenseGlove(触覚グローブ)を統合。
- 触覚グローブがないと、手で「つかむ・押す・握る・離す」といった操作がコントローラ操作になりやすく、実作業に近い手の動き(感覚込み)で反復しにくいのが難点になる。
- 没入感の向上、記憶定着や筋肉記憶の促進、安全な模擬環境、**現場へのスキル移転効率化、コスト削減**といった効果が示された。

### (5) 活用に向けた課題・制約例\*7

- 触覚表現が限定**：多くは振動中心で、質感・圧などの再現が弱い。
- 現場適用・電力/装着負担**：装置が大きく携帯性が低い/高コストになりやすい上に、消費電力も大きく、長時間の装着は疲労・不快につながり得る。
- 遅延の問題**：触覚が返ってくるタイミングが少しでも遅れると、目で見ていた動きと手に伝わる感覚がズレて、力加減や操作判断を誤りやすくなる(繊細な作業では事故につながり得る)。
- 温冷の問題**：温度刺激は変化が遅く、出せる温度の範囲も安全上限られるうえ、長時間当たると皮膚への負担(低温やけど等)のリスクがある。

\*1 Kyocera Corporation. (n.d.). 触覚伝達(Haptics)とは | 京セラ独自の触覚伝達技術「HAPTIVITY®」. 2025/12/12参照

\*2 Mordor Intelligence. (2025/11/7). *Haptic technology market size & share analysis - growth trends and forecast (2025 - 2030)*.

\*3 Jeong, J., et al. (2025). *Interactive haptic system with multimodal tactile sensing and hydraulic feedback for realistic human-machine interaction*. Advanced Intelligent Systems, 7(5), Article 2400578.

\*4 Shi, Y., & Shen, G. (2024). *Haptic sensing and feedback techniques toward virtual reality*. Research2024;7:Article 0333.

\*5 Lippi, M., Welle, M. C., Wozniak, M. K., Gasparri, A., & Kragic, D. (2024). *Low-cost teleoperation with haptic feedback through vision-based tactile sensors for rigid and soft object manipulation (arXiv:2403.16764v1)*. arXiv.

\*6 SenseGlove. (n.d.). *Sandvik mining trucks hydraulic oil level training*. 2025/12/12参照

\*7 Ajayi, O. K., Du, S., & Nahri, S. N. F. (2025). *A review of haptic technologies for hardware-in-the-loop development*. Sensors and Actuators Reports, 9, 100331.

### (1)アイトラッキングとは\*1

- 人の視線の動きを追跡すること。また、その分析手法。
- 被験者の眼球の動きを記録する専用の機器を使用し、視線の経路や滞留時間を計測する。
- 店舗の商品配置、ウェブサイトのデザイン、ソフトウェアのユーザーインターフェースなどの改善に利用される。



### (2)市場規模予測

- 世界のアイトラッキング市場について、調査会社 Grand View Research, Inc. の一推計\*2として、2021年時点で市場規模は約6.39億米ドルであり、年平均成長率(CAGR) 33.4% (2022~2030年) の前提で、**2030年には約80.6億米ドル**に達すると予測されている。

### ➤ (3)技術トレンド

- **低消費電力・小型化**：(1)眼電図(EOG)などの**生体信号で眼球運動を直接推定**する方式、(2)光センサー(フォトダイオード)等で赤外線反射の強度パターンを読み取り**“画像を撮らずに”推定する方式**(カメラレス)、(3)画素の変化イベントのみを出力するイベントベース視覚によりデータ量と**処理負荷を削減する方式**が検討されている。R&Dの位置づけでは**コンタクトレンズ型の視線計測**\*3も研究として報告されている。
- **自動キャリブレーション・個人最適化**：装着ずれに強く、再キャリブレーションを簡略化して運用負担を下げる(=現場で使える)方向がトレンドになっている。ユーザーが**“1つの目標点”**を見るだけで、ズレを補正して精度を戻すような研究\*4もされている。

### ➤ (5)活用に向けた課題・制約例\*6

### (4)研究事例:視線に基づく熟練者スキル抽出\*5

- 機械加工の「段取り(ワーク固定)」は熟練者の勘どころに依存し、時間と精度に効く。
- そこで**熟練者の視線データとインタビュー(認知タスク分析)**から注意点・手順を抽出し、ARで固定方法を提示する支援システムを開発。
- 事例検証では、段取り時間が短くなり、**加工効率の改善が確認**された。

- **環境要因**：動きや装置のズレ、太陽光、熱、混雑・騒音で誤差が増える。
- **装着者要因**：眼鏡の反射、まつげや濃い化粧、白内障などで追跡が乱れやすい。
- **自動判定の限界**：自動の「どこを見たか判定」は間違えることがある。
- **目視チェック前提**：結果は人が目で確認して修正する前提。
- **解釈の注意**：「見ていた = 理解/関心」と決めつけは危険で、状況次第で意味が変わり得る。

\*1 小学館. (n.d.). アイトラッキング[eye tracking]. 『デジタル大辞泉』. 2025/12/16参照

\*2 Grand View Research. (2022, May). *Eye tracking market worth \$8.06 billion by 2030 | CAGR 33.4%*.

\*3 Zhu, H., et al. (2024). *Frequency-encoded eye tracking smart contact lens for human-machine interaction*. Nature Communications, 15, Article 3588.

\*4 Xia, Y., Liang, J., Li, Q., Xin, P., & Zhang, N. (2022). *High-Accuracy 3D Gaze Estimation with Efficient Recalibration for Head-Mounted Gaze Tracking Systems*. Sensors, 22, 4357.

\*5 Miyata, M., Imahashi, M., Itoh, M., & Nakamoto, K. (2025). *Augmented reality-based system for skill transfer to assist workpiece fixturing on a machining center*. International Journal of Automation Technology, 19(5), 712-719.

\*6 Lohani et al. (2025). *Applying mobile eye tracking to measure real-time engagement and enhance informal learning at environmental exhibits*. Frontiers in Psychology, 16, 1607029.

## 2.3 横断的課題と実装上の限界

- 技術による技能継承の危機解決は、確かな可能性を示しているが、本格的な社会実装に向けては依然として壁が存在。
- 壁を乗り越えるために、技術のさらなる発展と社会基盤の構築、そして持続可能な事業構造への昇華が不可欠。

### 技術的論点

#### 前頁までの調査に基づき技術的な政略について論点を整理

- **品質**：汗・ズレ・動作、光・熱・混雑・騒音などで誤差や劣化
- **定義**：抽象概念は定義が一致しにくく、研究室指標が現場に当てはまりにくい(評価が不安定)
- **装着負荷**：貼付の手間、マーカー配置、装置の大きさ/携帯性
- **誤判定**：自動判定は誤り得るため、人の確認が残りやすい
- **解釈**：「見ていた = 理解/関心」の断定は不適切であるなど、誤った介入・評価につながる

### 社会的論点

#### 社会実装のため、技術横断的に解決すべき共通の要件を整理

- **知識隠し**：高技能者に負荷が集中して、評価・報酬・裁量は増え、利用される感覚が強いため、知識を外に出さない心理が働く\*<sup>1</sup>
- **受容性**：快適性、着脱、無線不安定、長時間装着の疲労・不快\*<sup>2</sup>
- **プライバシー/データガバナンス**：生体・行動データは「誰が」「何のために」「どう解釈されるか」が不透明になりやすく、目的の明確化・透明性・説明責任(accountability)を含むガバナンスが必要。\*<sup>3</sup>

### 事業的論点

#### 技術的・社会的な制約によって生じる、事業としての持続可能性を左右する論点を整理

- **コスト**：装置・運用・確認・管理に係るコストが上振れしやすい
- **スケール**：環境差・個人差・定義揺れ・運用負担により再調整が発生しやすく、横展開が難しくなりやすい



▶ 本格活用にはこれらの課題をクリアする必要がある

\*1 Bari, M. W., Khan, Q., & Di Virgilio, F. (2025). Knowledge donation, hoarding, and hiding behaviors of high performers: Mediation role of deviant silence. *European Research on Management and Business Economics*, 31(2), 100276.

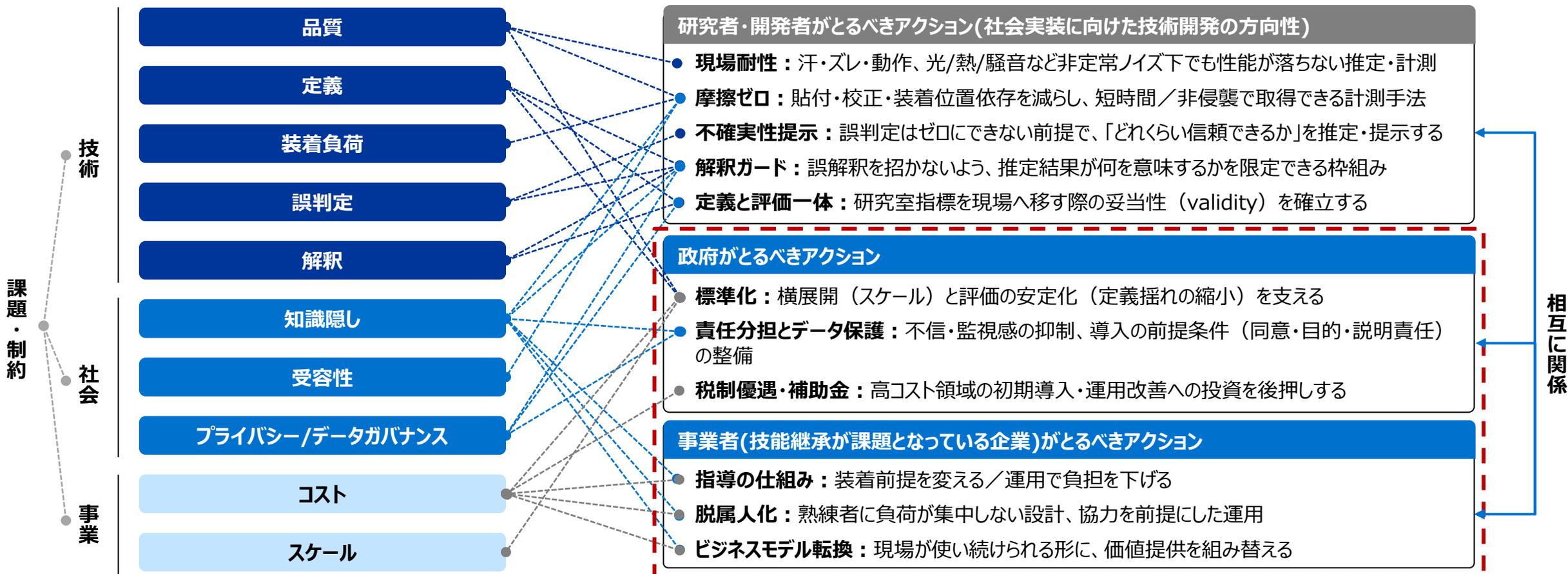
\*2 Figueira, V., et al. (2024). Wearables for monitoring and postural feedback in the work context: A scoping review. *Sensors*, 24(4), 1341.

\*3 総務省. (2023年4月25日). *DX時代における企業のプライバシーガバナンスガイドブック ver1.3* (公表ページ).

### 3. 技能継承を支える仕組みの構築に向けて

### 3.1 技能継承を支える仕組みの全体像

- 2章では、技術が技能継承の課題を解決し得るかを調査した。その結果、**技術に確かな可能性が示されたが、未成熟な部分があり、社会・事業の観点でも普及に向けた課題が残る**ことが明らかになった。
- 本章では、これらの課題に対する解決策を整理し、**関係者ごとのアクションを提案**する。技術面については研究開発の進展に依存する部分が大いいため、当面は研究開発の方向性を示すにとどめる。
- 一方で、制度・運用面は、技術の成熟を待つだけでなく、**政府および事業者(技能継承が課題となっている企業)ができる範囲から着手**し、段階的に整備を進められる領域であるため、これらを中心に深掘りする。



## 3.2 政府がとるべきアクション

- **政府は、標準化・事前支援・権利保護を一体で整備し、技能継承の技術活用が現場で回る土台をつくるべきである。**

### 標準化

- 日本は「日本独自の新標準」を作るのではなく、世界で使われている枠組みに乗せて、技能継承に必要な“記録の仕方”と“つなぎ方”をテンプレ化し、使える形(見本・テスト・要件)までセットで広げる。
- 政府単体での実現は難しいため、現場をよく知る民間企業も適切に巻き込む必要がある。

#### 参考事例

- [ドイツ]工場の設備データを整理する枠組み：Industry 4.0における「AAS(Asset Administration Shell)」\*1
- [米国]学習・訓練の行動ログを残す枠組み(xAPI)の実装例：xAPI Video Profile\*2

### 責任分担とデータ保護

- 被害者救済を保険で先に担保しつつ、悪意・重過失がない限り導入企業・開発者が萎縮しない**責任範囲を、認証・保険・求償の枠組みとして明確化**すべき。
- **目的を技能継承・安全に厳格に限定し、パフォーマンス監視は明確に禁止**する。そのうえで、取得データの最小化、休憩中オフ、短期削除等を労使協定の標準ひな形として整備し、監視転用を構造的に封じる運用を普及させるべき。

#### 参考事例

- [英国]免責の制度：Automated and Electric Vehicles Act 2018 (AEVA 2018)\*5
- [ドイツ]プライバシー保護の事例：製造業の工場でのスマートウォッチ型支援システムのパイロット導入\*6

### 税最優遇・補助金

- 現状の事後精算中心の制度では中小企業の着手が遅れやすく、指導時間の負担も見えにくい。
- ゆえに、技能を記録して共有できる仕組みづくり、短期の研修、指導者の指導時間に充てられる支援を、**事前に利用できる形で整備**すべき。

#### 参考事例

- [英国]強制徴収、用途を訓練に限定する制度：The Growth and Skills Levy\*3
- [シンガポール]クレジットを配布し、自己負担を減らす制度：SkillsFuture Enterprise Credit(SFEC)\*4

\*1 Plattform Industrie 4.0. (2022, May 30). *Details of the Asset Administration Shell – Part 1 (V3)*. Plattform Industrie 4.0. 2026/2/26参照

\*2 Haag, J. (2023/4/26). *Tracking video with xAPI and building a histogram chart*. Veracity. 2025/12/25参照

\*3 Department for Education. (n.d.). *The Growth and Skills Levy. Find training and employment schemes for your business*. 2025/12/25参照

\*4 Enterprise Singapore. (2025/11/10). *SkillsFuture Enterprise Credit (SFEC)*. 2025/12/25参照

\*5 Department for Transport. (2018). *Automated and Electric Vehicles Act 2018: Explanatory notes*. The National Archives.

\*6 Krzywdzinski, M., Evers, M., & Gerber, C. (2024). *Control and flexibility: The use of wearable devices in capital- and labor-intensive work processes*. ILR Review, 77(4), 506–534.

### 3.3 事業者(技能継承が課題となっている企業)がとるべきアクション

- **事業者は、技能を“人”から“仕組み”へ移す努力を徹底し、「指導の仕組み化」「脱属人化」「ビジネスモデル転換」を一体で進めるべきである。**

#### 指導の仕組み化

- 熟練者の口頭指導を前提にせず、作業手順と判断基準をデジタル化し、現場の作業の流れの中で**参照・学習できる「指導省力化」の運用へ移行**すべき。

#### 参考事例

- [米国]技能の手順化：Augmentirが作業手順をデジタル化し、現場の作業の流れの中で学べる形にした結果、バッテリーメーカーで新人のオンボーディング時間を40%削減\*6
- [ドイツ]手順化とデジタルガイド：TeamViewerは、熟練者が口頭で教えていた「次に何を取るか/どこから取るか」を、スマートグラス上の指示として提示し、教える行為を“仕組み”に移し、Vandemoorteleの新人教育の時間を削減\*7

#### 脱属人化

- 熟練者の「動き・判断・手順」を動画などの**行動データとして計画的に蓄積**し、特定の個人に依存しない生産体制を築く。

#### 参考事例

- [日本]暗黙知の形式知化：ダイキン工業における動画を活用した熟練技能のAI化\*1
- [米国]ロボット化：Boston DynamicsとTRIによる、VRテレオペ(ハプティクス等を含む)で行動データを収集し、言語指示でヒューマノイド(Atlas)を全身制御する大規模行動モデル(LBM)を学習・評価する研究\*2

#### ビジネスモデル転換

- **技能をパラメータ化して仕様化し、権利・契約を整えたうえで、データ・教育/評価・ライブラリとして外販できるIPに転換**すべき。
- 効果はKPIで定量化し、売切りではなく**継続課金モデルへ移行**。

#### 参考事例

- [日本]ビジネスモデル転換：コマツの「スマートコンストラクション」\*3
- [米国]技能評価ノウハウ販売：Lincoln Electric のVRTEX® 仮想現実(VR)溶接トレーナー\*4
- [スウェーデン]加工ノウハウ販売：CoroPlus Tool Libraryで、推奨切削データと工具データをCAMに統合し、工具選定・条件設定を支援(Sandvik)\*5

\*1 さくらインターネット株式会社。(2025/7/25). [ダイキン工業×フェアリーデバイスが仕掛ける大規模AIプロジェクト。高火力PHYが支える次世代現場支援](#)。2025/12/25参照

\*2 Boston Dynamics and TRI Research Team. (2025/8/14). [Large behavior models and Atlas find new footing](#). Boston Dynamics. 2025/12/25参照

\*3 Strategy&. (n.d.). [「DX」のその先へ！コマツの変革はいかにして進められたのか](#). Strategy& Japan. 2025/12/25参照

\*4 Lincoln Electric. (n.d.). [Virtual welding simulators \(Virtual trainers\)](#). 2025/12/25参照

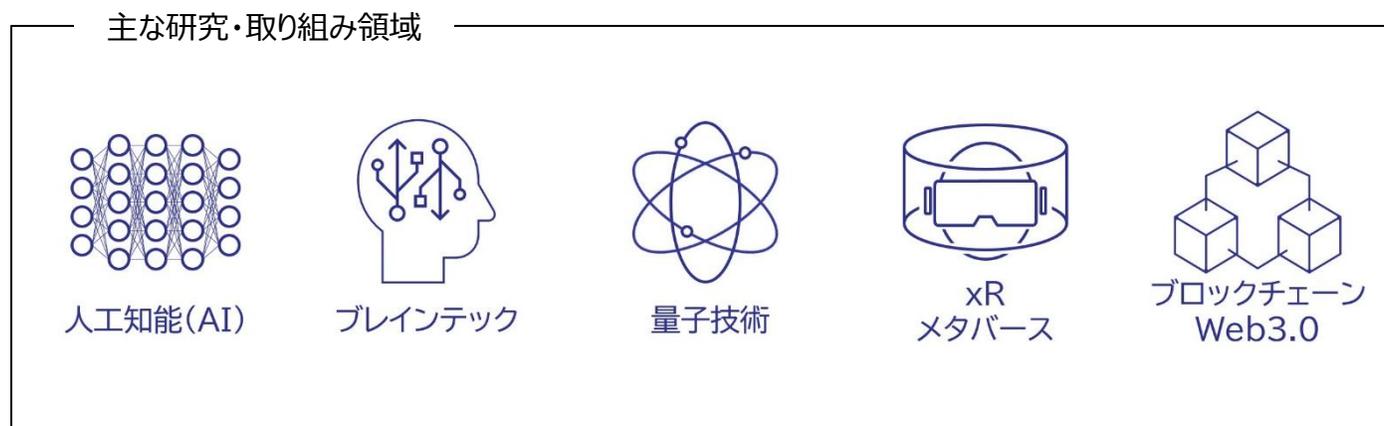
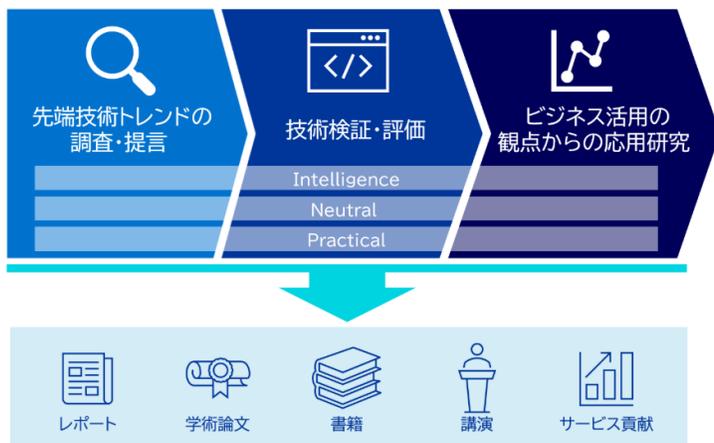
\*5 Sandvik. (2023/11/7). [CoroPlus® Tool Library and Mastercam® CAD/CAM software](#). Digital Manufacturing Solutions (Sandvik). 2025/12/25参照

\*6 Augmentir. (n.d.). [Leading battery manufacturer improves worker productivity by 17%, reduces onboarding time by 40%](#). 2025/12/25参照

\*7 TeamViewer. (n.d.). [Customer Success story: Vandemoortele](#). 2025/12/25参照

## 先端技術ラボのご紹介

先端技術を活用したITサービスの創出に向けた技術の目利き役として、「先端技術トレンドの調査・提言」、「技術検証・評価」、「ビジネス活用の観点からの応用研究」に取り組んでいます。



当社ホームページの [特集サイト](#) では、IT分野における先端技術の調査レポート、及び所属する部員のプロフィール詳細がご覧いただけますので、ぜひご参照ください。

本レポート執筆者へのメディア取材や講演などに関するご相談につきましては、当社ホームページの [問い合わせフォーム](#) よりご連絡ください。

## 株式会社日本総合研究所

日本総研は、シンクタンク・コンサルティング・ITソリューションの3つの機能を有するSMBCグループの総合情報サービス企業です。

東京本社 〒141-0022 東京都品川区東五反田2丁目18番1号 大崎フォレストビルディング

大阪本社 〒550-0001 大阪市西区土佐堀2丁目2番4号



**日本総研**

The Japan Research Institute, Limited