

新技術活用による熟練技能維持の取組み

アイマップシステムの開発

田村 泰史

次世代への建設生産の活性化対策として、施工の自動化および高性能資機材などの革新的技術の開発が推進されている。そのような情勢の中においても、古より培ってきた熟練者の技能を確実に受け継ぎ、新技術を巧くコントロールさせるスキルの育成も重要であると筆者は考える。その観点のもと、熟練者のスキルの基本要素となる、“動作（振る舞い）”、“口伝（アドバイス）”、“差配（マネジメント）”、“記録保存（アーカイブ）”に対して、独自のセンシングツールと定量化による、スキルの活用に関するシステムの研究開発を行っている。本稿では、その試行事例を報告する。

キーワード：技能伝承、センシングシステム、映像解析、動線解析、PRISM

1. はじめに

今後、我が国の生産年齢人口の減少が見通されており、その対策として、建設業においてもさまざまな部門で生産性向上に対する取組みがなされている。その中でも施工の自動化や高性能資機材の開発は、革新的技術の適用により施工現場での試行段階を経て本格運用への導入が推進されつつある。

建設現場における生産活動は、現地一品の特徴を有するため気象環境などさまざまな条件への対応が必要である。そのような環境下においても、革新的技術であるそれらは、一定の生産量や品質を確保し建設業の課題への対応の可能性を発展的に広げつつあるものとする。例えば、激甚化する自然災害への対応においても自動運転による重機械の適用により、二次災害の発生を防止した早期の復旧作業が可能となり、社会資本の維持への貢献が期待されている。しかし、これらの新技術を活用するためには、人のスキルによるところが依然として多いのが現状である。例えば、土工事において、広範な部分は重機械による作業が効率的であるが、取り合いの部分等の摺り合わせ等の調整が必要なところは、人の手による方が効率的に品質を確保できる場合が多い。その他、施工中の条件変化や緊急時における対応において、現時点では人の意思決定が大きく影響し¹⁾、経験値の多い熟練技能者による行動が生産の要点を占めるところが大きいと云っても過言ではないと筆者は考える。そのような熟練技能者の保有するスキルは、暗黙知のまま個人に保有され、形式

知とならないまま通常の業務を通じて不規則かつ定性的に後継者へ継承されてゆくものとなる。今後の生産人口の減少を鑑みた場合、その継承行為の定量化と一定のルール化は、技能伝承行為の活性化は建設業における持続的な生産能力の確保において不可欠であるとする。そのような観点のもと、匠の技能の定量化とアーカイブ（記録保存）を具現化させるソリューションシステム、「アイマップシステム（Ai-MAP SYSTEM）」（図-1）（以下「本システム」という）の研究開発を行っている。本稿では、開発システムの概要と研究成果となる事例の一部を紹介し、建設のDX推進を目標とした今後の展開について報告する。



図-1 本システム概要図

2. システムの概要

本システムは、次世代建設生産の活性化を目的として、組織等が古から培ってきた施工データをもとに様々な計測手法を考案し、古今の技能者のアドバイスや生産現場における勘やコツ等をAI（人工知能）とIoTの活用による独自のセンシングツールで構成されるシステムであり、データの採取とスキルの定量化により、次世代の生産管理者の適切な意思決定を導くスキルの育成を目的としたものである。

採取されるデータは、位置情報と映像を基本情報としており、解析により稼働特性グラフや熟練者のコメント映像として抽出し、熟練者の行動特性や判断能力の再現を見える化させるものである。それらを建設現場における施工計画や品質管理に活用させ、その実施記録の蓄積により、スキルのデータベースとして次世代ユーザーのニーズに合わせた展開で建設生産能力の維持を持続させるものである。また、出力データの活用実績（データによる判断および実施工との乖離に対する処置等）や過去の施工事例を集約し、技能のアーカイブシステム（記録を保存・運用し次世代へ伝達すること）として、外国人労働者も含めた技能伝承や教育訓練ツールとしての活用も見込んでいる。

システムの特徴として、熟練者のスキルの基本要素である、“動作（振る舞い）”、“口伝（アドバイス）”、“差配（マネジメント）”、“記録保存（アーカイブ）”の観点でデータ化させることを目的としており、目的に合わせた様々なセンシングツールや統計分析等の手法を組み合わせたサブシステムにより構成している。また、今後のさまざまな条件による課題解決へのデータ活用を考慮し、時間・位置・映像の情報をセンシングデータへのインデックスとして付与し、条件検索等の機能の組み合わせをニーズに合わせた対応が可能となる仕組みを取り入れている。次章にて、要素ごとのサブシステムの代表的なセンシングツールの概要を紹介する。

3. サブシステムの概要

本システムのサブシステムとデータ活用について、熟練技能者のスキルの基本要素である“動作”、“口伝”、“差配”、“記録保存”より以下に紹介する。

(1) 動作解析に関する事例

(a) 概要

動作などの個人が保有する固有のスキルについて

は、個人の特性に合わせて習得されたものであり、そのまま受け継げるものでない場合が多い。それは、個人に適合するパターンはそれぞれあり、実践を通じた試行錯誤の訓練がなければ習得し難い性質のものであると考えられるからである。今後は、手本となる熟練者の減少が予測されるため、習得にかかる時間の増大とともに、実践の場となる生産現場の減少などでスキルの質の低下も予測される。よって、伝承の活性化を図るためには、熟練者のスキルの定量化と見える化により、伝承のポイントを絞った習得を促進させる工夫が必要であると考えられる。以下に映像解析技術（モーションレコードシステム：Ai-MOTION）による作業時の動作の定量化について紹介する²⁾。

(b) 事例

定量化の方法は、作業状況の映像データをAI（人工知能）の活用で作業者の関節位置を認識させ、その移動量を軌跡として出力させる。複数の技能者によるサンプルを採取することで、動作の特性となるポイントを抽出し、個性に合わせた訓練に活用することができる（図-2）。

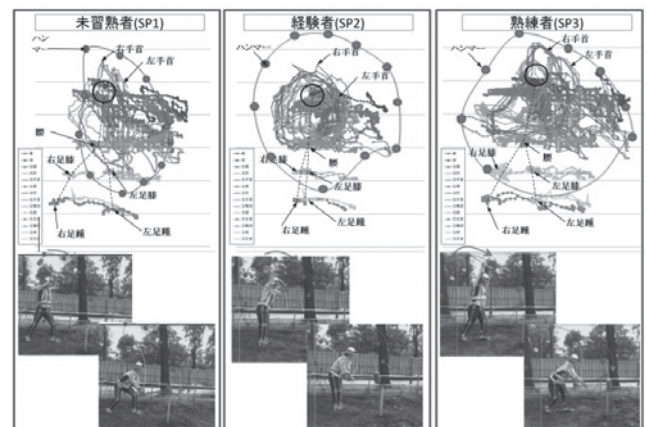
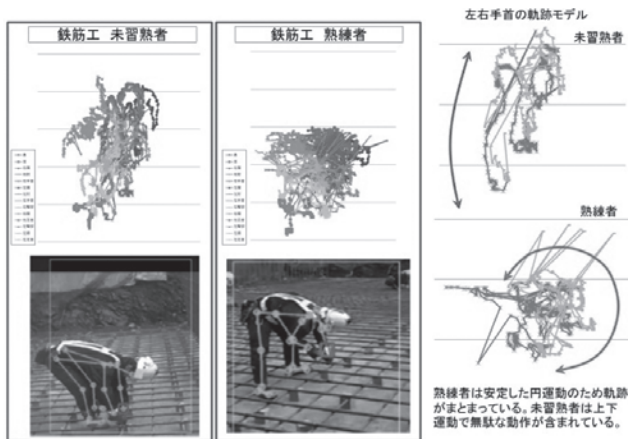


図-2 動作解析による出力例

システムでは、関節の変位を位置情報として定量化し、軌跡図による形状として動作の特徴を見える化する。この形状を観察し個人の動作の特徴を把握するとともに修復のポイントを抽出する。システムでは、見本となる動作との比較として類似率の出力による定量的評価も可能である。

システムの特徴として、解析は映像データのみで可能であり、作業者にセンサ等のモジュールの装着を必要としないため、実際の作業現場での緊張感をもった環境で計測できる。また、過去の映像でも解析が可能である（図-3）。



図一3 作業状態の解析

(2) 口伝計測に関する事例

(a) 概要

熟練者による管理のポイントを踏まえた手法は、業務遂行におけるエラー防止対策の主要な技術として継承されていると考えられる。それらのポイントは、アドバイスといった口伝による方法で継承される場合が多い。その口伝の記録データをマニュアルとして活用することで技能伝承の活性化とともに品質の確保に繋がるものとなるため、汎用的な記録方法と音声データの活用における工夫が必要である。以下に、通信技術（インフラ通信システム：Ai-TEC）の活用による事例を紹介する。

(b) 事例

汎用の携帯端末機を活用し、作業現場における観察を音声と映像等のデータによる記録を目的に開発した（写真一1）。



写真一1 通信システムの活用

定量化の方法は、遠隔地の熟練者との通信により現場の管理状況等に対するコメントやアドバイスを記録し、映像やテキストデータを位置情報とともに保存する。システム内では、専用の閲覧システムをキーワード検索やカルテ（図一4）の作成が可能であり、未習熟者への教育用テキストや現場点検・検査の実施マニュアルとし活用する。



図一4 カルテによる記録の編集

(3) 差配分析に関する事例

(a) 概要

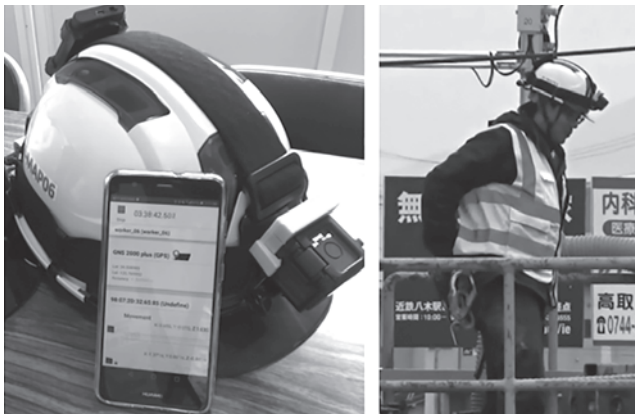
熟練者の生産現場におけるマネジメントの特徴として、差配と呼ばれるリソースの配分が挙げられる。現場の環境に合わせて、最適な組み合わせや調整を行うことで、品質、コスト、工程、安全のバランスを保つものである。現場条件に合わせて施すこのような差配の基本的なスキルは、マニュアルや仕様書だけで完結されるものではなく、熟練者の経験や勘の補完により、エラーの発生やリスクを最小限に抑制させるための方法への導きを可能にするところとなる。具体的には、施工現場における機械や資材の配置、稼働の順序、進捗に合わせた人員調整などが挙げられる。以下に、差配を支援させるためのデータ採取のツールである、稼働計測用のロギングシステム（Ai-LOGGER）と稼働状況を見える化する生産管理システム（Ai-SYS）の活用による事例を紹介する。

(b) 事例

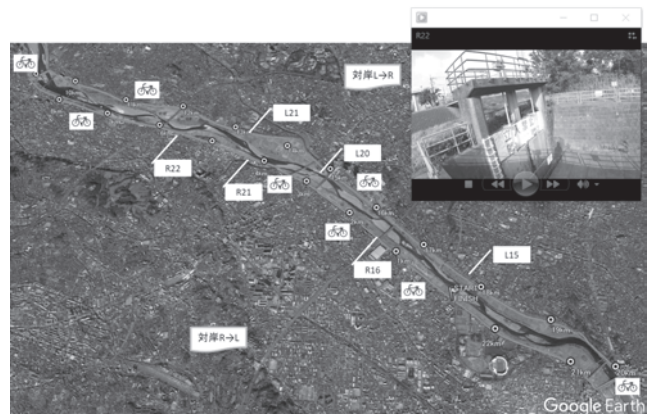
稼働状況の計測方法として、GPS センサとウェアラブルカメラを作業者のヘルメットに搭載した専用のロガーで、作業者の位置情報をロギングしデータを採取する（写真一2）。

採取データは、動線軌跡図や稼働率グラフとして出力し、意思決定の支援となる稼働特性の見える化データとして活用する（図一5）。

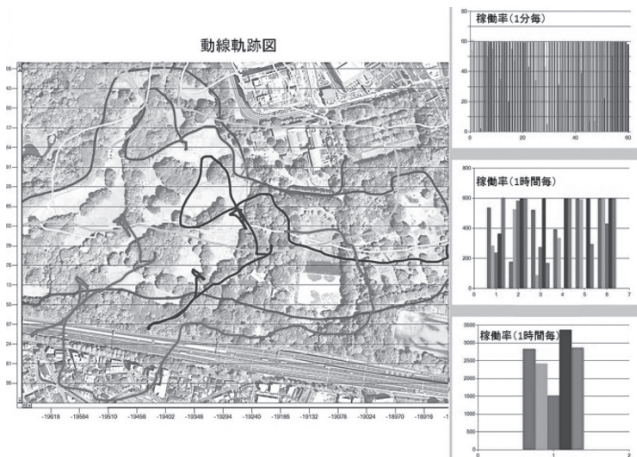
この出力データは、時系列やエリア毎の稼働状況として表示することが可能であるため、余剰人員の割合や軌跡の停滞位置を把握し、ウェアラブルカメラによ



写真一2 ロガーによる計測



図一6 データマッピングによる見える化



図一5 稼働特性のグラフ



写真一3 熟練者のコメントによるマニュアル

る映像データ等との照合により的確に管理のポイントへの対策を施すことができる。これらのデータを蓄積することで、熟練者による差配の傾向を定量化でき、意思決定のモデルとして活用できると考える。

(4) 動線計測に関する事例

(a) 概要

インフラ点検等の管理は、マニュアルや仕様書に沿ってその履行がなされているが、効率的かつ効果的な点検のポイントや確認の順序は熟練者のスキルによるところが大きいため、その未習熟者への教育の方法としては、現地へ随行しポイントを教示することが望ましいところであるが、今後の従事者不足に備えて、その代替となる教育の方法が不可欠となる。また、インフラ点検等の管理業務の成果は、自然災害防止などの社会的責務が大きいため、この分野における技能伝承の維持は、特に重要な課題である。よって、これまでの点検等の記録および管理ポイントの保存の方法について、誰が点検してもばらつきの生じない、スキルの平準化を取り入れた仕組みが必要となる。その対応として、位置情報を付与したデータの活用によるシステムを構築した。以下に、動線計測と情報マッピング

による見える化システムの活用事例を紹介する。

(b) 事例

データの採取方法は、前述のロギングシステム (Ai-LOGGER) を活用し点検等の作業状況を記録する。また、既存のカルテ等のデータは、システム内で位置情報を付与し編集する。情報検索が可能な専用の閲覧システムで地図上に軌跡とマーカーで表示させることにより、管理のポイントを明確にする (図一6)。

マーカーは、熟練者の推奨する管理のポイントを設定することが可能であり、熟練者のコメント入り動画を動画マニュアルとして挿入しておくことで、気付きの促進による未習熟者のスキルアップの効果を得ることができる (写真一3)。

記録保存された情報は、業務に必要な条件による検索で抽出し、マップ上で展開させることにより、管理ポイントの確認を行いながらの現地との照合を可能とする。また、熟練者のアドバイスの再現により管理ポイントの見落としを防止した記録としての保存の継続が可能となる。

4. システム活用の事例

以上のサブシステムについては、現場での検証により抽出された課題をもとに、今後の汎用化を目標として開発を継続中である。本章では、それらのサブシステムのうち、口伝計測のセンシングツールとなる通信システム（インフラ通信システム：Ai-TEC）による現場試行について紹介する。この現場試行は、「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）」の予算を活用して、国土交通省が実施する「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト（2018年度・2019年度）」において採択を受け履行したものである。

現場試行では、新技術の活用による品質管理の高度化を目的として、施工プロセスチェックや安全点検等の現場管理業務における通信システム活用の効果を検証するものである。具体的には、汎用の携帯端末機を使用した簡易な通信により、遠隔地の管理者との臨場感の伴うコミュニケーションによる管理手法でエラー防止に繋げるとともに、通信における熟練者のアドバイスやリアルタイムでの指示による気付き促進で、スキルアップを伴う品質管理および品質証明の手法として現場業務への適応性について検証したものである（写真—4、5）。



写真—4 通信システムによる検査の実施

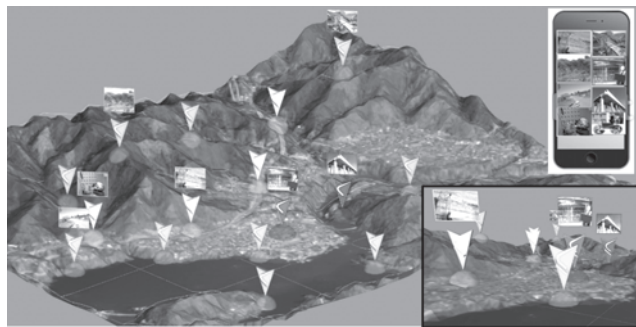


写真—5 システム活用によるコミュニケーション

システムの活用により、動画と音声によりさまざまなケースで手軽に状況の記録ができるため、技術者の現場力として必要な“現場観察の目”を養うスキルアップに大きな効果を得ることが確認できた。また、遠隔臨場検査として採用することで、受発注者において移動時間や待ち時間の短縮が業務効率化への繋がりととなった。その他、現場内に滞りがちな課題解決や創意工夫への情報共有が促進され、それらのデータはエラー防止対策のスキルとしてデータベースに蓄積されることになった。

5. おわりに

本稿では、新技術活用による熟練技能維持の取組みとして、熟練者のスキルを定量化させるセンシングシステムとその活用について紹介した。スキルの基本要素のセンシングに対する課題として、出力データの精度向上とデータ活用に向けたユースケース対応への工夫が挙げられる。精度向上については、人の動きや感覚を計測の対象としているため、ある程度のロバスト性を考慮したデータ処理の手法を適用する等のアルゴリズムとデバイスの改良が必要である。また、幅広くユースケースに対応させるための工夫として、複数のサブシステムによる出力データを組合わせたハイブリッドな手法が必要であり、それらを具現化させるためのプラットフォームによるデータ展開の仕組みを構築する必要があると考える（図—7）。



図—7 プラットフォームによるデータ展開

本システムアイマップシステムの開発を通じ、改めて人の有するスキルの再現は難しく、かつ重要な事であると痛感している。今後も、独自技術である本システムにより定量化されたスキルが、効率的な建設機械施工等の施工現場における生産性向上対策の意思決定のみちびきとなり、公益確保を伴う建設のDXによるマネジメントシステムとして、次世代への貢献を目的に研究開発を進める所存である。

J C M A

《引用文献》

- 1) 田村泰史, 「映像解析技術の活用による技能伝承と生産性向上の取り組み」, 建設マネジメント技術・2018年12月号, 2018.12
- 2) 田村泰史「アイマップシステムの開発・ICT活用による熟練技能維持の取り組み」コンクリート工学会2021年1月特集号, Vol.59 No.1, 2021.1



【筆者紹介】

田村 泰史 (たむら やすし)
株式会社沼組
戦略事業推進部 新技術事業化推進室
課長

