

位置計測技術と AI の併用

属人性の高い計測業務に対し、AI を併用して作業を効率化していくための検討

新 居 和 展・熊 田 聖 也・古 橋 健 斗

建設現場における様々な計測業務において、最新の ICT 機器を活用した計測技術における生産性向上は目覚ましいものがある。ただし計測機器の機能や利便性は向上しているものの、測ると言う行為は属人性が高く誤差を生む要因にもなり得る。位置計測技術に AI を併用し、作業負荷の低減や自動化、常時同じ精度を担保した作業の実施など、他産業も含めた AI 活用事例を紹介し建設現場における位置計測技術と AI を併用していく展望について言及する。

キーワード：位置計測技術、IoT、AI、DX、デジタルツイン、物体検知、点群データ

1. はじめに

インフラ工事や建築工事において、GNSS やトータルステーションと言った従来の計測技術の他に、UAV や TLS による面的かつ高精度な計測手法による出来形管理が進み、昨今では SLAM や屋内測位など様々な計測技術を用いた多岐に渡る活用方法が検討および取捨選択できるようになってきている。勿論、各計測手法にはメリットとデメリットがあり、実際の現場での活用において、常に利便性の高い運用に至るにはまだ課題も多い。

一方、建設業だけでなく、製造業やその他の産業、ひいては日常において直接的に関係する Society5.0 やスマートシティなど、IoT の普及に伴い、AI（人工知能）の活用、ロボット技術の発展が目覚ましく、我々の日常生活の中でも様々な技術活用による利便性の向上が図られつつあり、今後も様々な用途に対して IoT・AI・計測技術・ロボットを併用して利活用が進むと思われる。この背景には、IoT に代表される通信インフラが整備され、昨今では 5G 活用のインフラ整備も進んでおり、より多くの情報をリアルタイムに送受信できるようになった。それに加え「クラウド」と言われてきた仮想化されたサーバで、より多くの情報を一元管理するビッグデータの取り扱いが進んでいる。ここ最近では「デジタルツイン」と言われる現実世界の実データを仮想化された環境に送り、そこでシミュレーションを施して、そこから得られた分析結果を現実世界に戻す事で、効率化や生産性を上げるための仕組みがより容易に構築でき、この活用が進んでい

る事が要因にあると言える。

また国土交通省の方では i-Construction の推進から更に進み、「インフラ分野の DX」（デジタルトランスフォーメーション）の提言がなされる中、現場の施工管理の在り方についてもデジタルツインを活用し、人に代わり AI による判断や作業の自動化を推し進めていこうとする動きがある。

そこで本稿では、建設工事における様々な作業において、特に計測技術を用いた業務は多岐に渡るが、いずれも計測機器の利便性は向上しているものの、まだ属人性が高くデメリットとなり得る条件も多いことから、ここに AI を併用し、作業負荷の低減や自動化、常時同じ精度を担保した作業の実施など、これまでの AI の活用の在り方からその可能性について言及する。

2. AI の活用事例

現在は 2000 年に入ってから始まった第三次 AI ブームの真っ只中であり、「ビッグデータ」を活用して AI 自身が特徴量を定義・獲得していく深層学習が発展しつつある。AI の分析の種類は多岐に渡り、用途に応じて教師データを用意し学習していく事も必要であるが、AI の詳細な説明は他の論文を参照いただきたい。

建設現場においては、カメラ画像を用いた AI 活用が進みつつあり、これはカメラと言うデバイスが他の ICT 機器や計測機器と比べて安価で扱いやすいと言う利点があるためである。カメラ画像を用いた AI は建設業に留まらず製造業など様々な産業で活用が進んでおり、画像に写る物体検知や動画による異常動作の

判断など、人がそこに留まって常に目視が必要な属人性の高い、また判断の誤りが生じやすい作業において特に効果を発揮する。

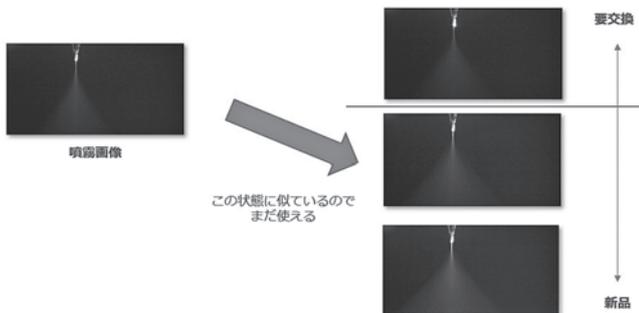
例えば図一1のように、ある材料の噴霧作業を画像で捉えAIが自律的に判断できるようにすることで、これまでは噴霧時の状態を人が目視で材料の交換時期を判断していたのに対し、AIで自動的に交換時期を導く事が可能となる。これは人によっては交換を早めに判断し、あるいは材料が無くなった後に交換の必要性に気づく場合もあるが、AIであれば、常に一定の精度・状態で交換時期を導く事で品質や材料コストを一定に保つ事が可能となる。

また別の事例では、画像に写った材料の粒度分布をAIにより自動的に抽出する。建設現場で用いられる土砂・盛土材料のボリュームや品質検査と言った工程はまだ手作業に頼る事が多いため、作業の生産性を上

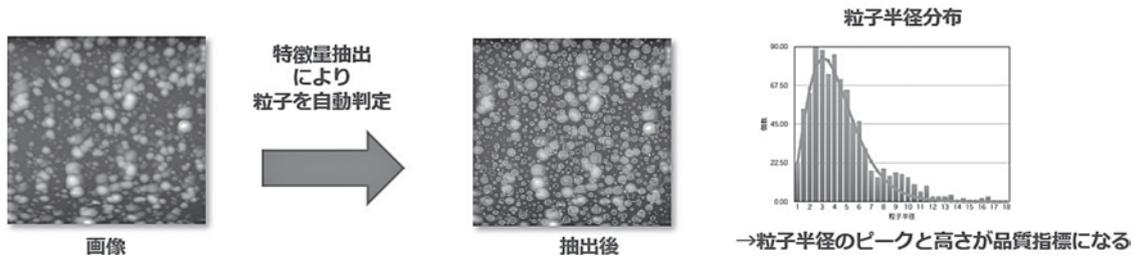
げる事に寄与できるものとなり得る(図一2)。

本稿は、位置計測技術とAIの組み合わせについて考察するものであるため、それに値する事例も紹介する。カメラで撮影した動画を用いて物体の変位量を捉え、更にはその動きの速度・加速度を画像だけで割り出す事が可能な事例である(図一3)。詳細には半導体の基板圧着を行う工程にて、目視で圧着度合いを検査していたこれまでの方法に対し、動画で基板間距離を捉え、一定の距離に達すると圧着完了であるとAIに判断させた取組みであり、動画から変位量を求め、変位と時間情報から速度や加速度を算出する事が可能である。これは製造業のみならず建設業においても応用が効くと思われ、地滑りや法面変位監視などと言った高精度な変位を検出する必要がない用途の計測であれば、タブレットなどのカメラ機能で実現でき、費用対効果の高い計測手法になり得る可能性がある。

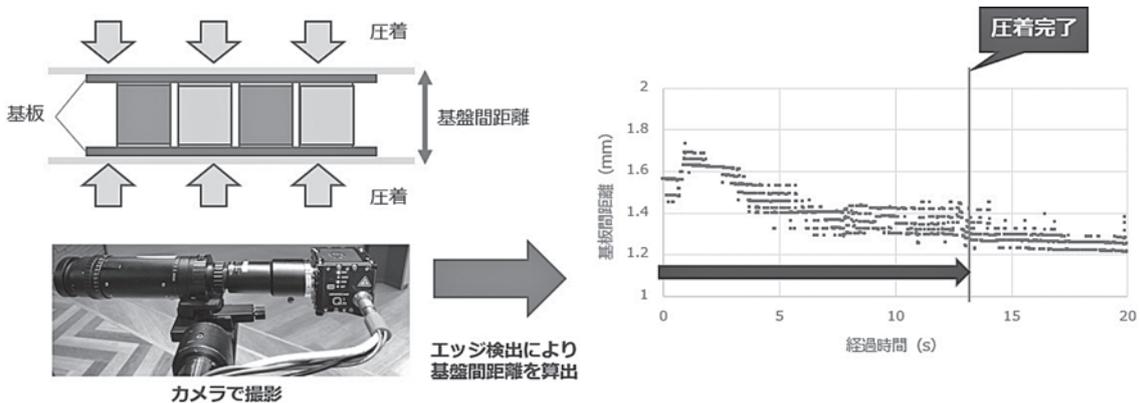
以上の事例のように、カメラを用いたAIの活用は様々な産業で進んでいる。しかし建設業において多少憂慮すべきは、カメラは確かにコストと言う点では他の計測機よりも安価で調達しやすく使い方も簡便であるが、屋外での撮影では天候や時間変化、時々刻々と現場状況・現地盤形状が変化するため、設置環境によっては撮影が難しい状況が出てくることである。運用面での対策検討が事前に必要である事は否めない。これに代替する活用になるかもしれず、また位置計測という観点をカバーするのが3Dモデルや点群データを用



図一1 噴霧状況の画像診断



図一2 画像診断による粒度分布



図一3 動画による変位計測

いた物体検知・形状認識技術である。人間が目を見た物体の形状の捉え方を AI においても同様に行う事で、例えばプラントなどにおいては、自身が持つ 3D モデルを突合条件にして、似た形状のパーツや部品がどの程度存在するかを瞬時に割り出す仕組みが活用されている（図一4）。建設業においても BIM/CIM の取組みから構造物や建設部材の 3D モデル化は進んできており、また起工測量や出来形管理においては点群データの取り扱いが一般的である。そこでこれら 3D モデルを活用し、繰り返される属人性の高い検査や作業において画像に代わる活用が新たに見出される可能性がある。

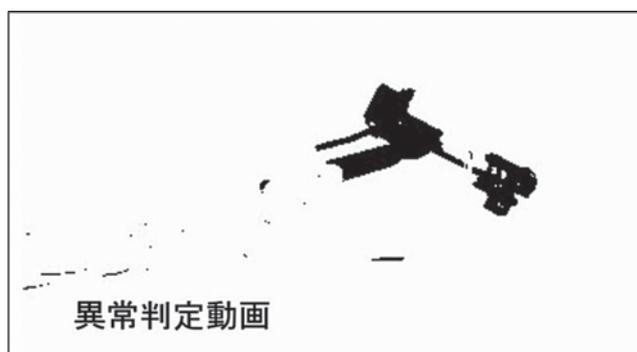
更に位置計測に関係した事例を紹介する。ある製造メーカー向けに開発した、動画を用いた異常検知システムである。そのメーカーでは、工場で組み上げた製品に対し 24 時間体制の耐久試験が行われている。その様子を撮影した動画には正常な動作の中に異常な動作が混じり、そのあと正常動作に復帰する様子が収められることがある。この異常な動作を自動的に検出することが目的である。撮影カメラは業務用の監視カメラであり、動画自体はすでに大量にストックされていた。正常な製品の動作範囲はあらかじめ分かるが、異常動作をあらかじめ想定することは難しい状況であった。また、低スペックの PC 上で動作し、リアルタイム性

が要求された。これらの条件下で、正常動作のみを収めた動画を学習に使用し、正常動作から大きく異なる動きをした場合にピクセル単位で異常を検知するシステムを構築した¹⁾。異常検知に用いたアルゴリズムは k 近傍法である。動画の各フレームをグレイ画像に変換し、ピクセルごとに k 近傍法を適用した異常検知器を作成した。グレイ画像の画素値は 0 から 255 までの整数値であることを利用し、リアルタイムな解析を実現した。

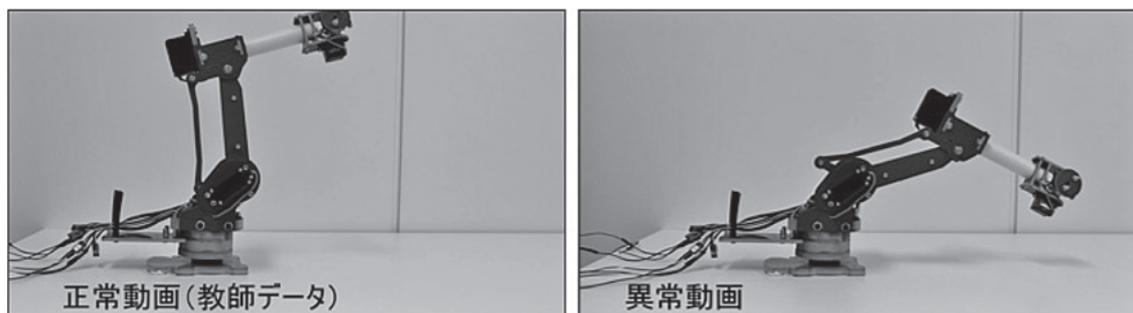
図一5の左は正常動作する対象物を撮影した動画、右は異常動作する対象物を撮影した動画である（実際の製品は公開できないので社内にあるロボットアームで代用した）。正常動作時にはロボットアームは上下に運動し、異常な場合は横方向にアームを伸ばす。上下運動する正常動画を用いて学習し、得られた検出器に異常動画を入力すると図一6のような動画をリアルタイムで生成できる。横方向に伸びる動きを異常とみなし、黒い影として出力している。さらに、1つのフレーム内の黒画素の割合を計算することで異常度を定義することができる（図一7）。一般的に、異常動作が発生する頻度は、正常動作のそれと比較して大変低い。そのような場合は、本事例のように正常動作だけで学習し、それからのずれを異常とみなす手法が適している（本事例は、画像センシングシンポジウム



図一4 左側は 3D スキャナーで取ったあるパーツの点群データ／右側は点群データから AI が形状認識し、似たパーツをビッグデータから検出し形状の類似度の高い物から並べたもの



図一6 異常検出の様子



図一5 動画による異常動作の検出（左は正常動画、右は異常動画）

SSII2019にてポスター発表を行った)。

このような条件は、建設現場においても非常によく当てはまる。現場で稼働する建機・機械は通常は問題なく稼働し、機械を用いた施工業務が工程通り行われるが、何らかの原因でひとたび異常な状態が生じると機械を用いた施工業務が行えず、それ以降の工程や他の業務に与える影響は大きい。建設現場の業務にAIを活用しようとした場合、このように異常時の動きを検出し、いざ影響が広がる前にアラートを発信し、機械をメンテナンス出来ればその効果は大きい。だが通常は問題なく稼働しているため、正常な状態の画像・動画データが多く、異常時のデータはほとんどないのが現状であり、そういった偏った条件でも異常動作を検出できるAIを開発出来ると好適だと言える。

また、動画に写る建機の動きを捉える事は、建機を用いた施工の最適化や自動化につながるため、現場において動画で物体検知し、動きを特定する技術は今後、活用が急速に進むものと思われる。

もうひとつ、切削加工メーカ向けに行ったAI事例を紹介する。当該メーカでは、プリント基板の穴あけ作業において、穴あけの回数を重ねるにつれ、穴あけ位置のずれが発生し、歩留まり低下の原因となってい

た。この問題を考察するため、加工機の各部位(44か所)に熱電対(温度測定のためのセンサ)を取り付け、各部位の温度を測定した(図-8)。

位置ずれと温度の関係を見るため、44か所の温度を説明変数、穴あけ時の位置ずれ(誤差)を目的変数とする回帰を行った。本事例で用いたアルゴリズムは勾配ブースティングの1つであるXGBoostである。本手法は非線形な性質を持つ回帰に対しても問題なく適用でき、さらに分類問題にも適用できる汎用性の高い手法である²⁾。結果を以下に示す(図-9)。

観測値(丸)と予測値(三角)はよく一致していることが分かる。さらに、時間の経過とともに、位置ずれも増えていることが分かる。回帰計算の副産物として、これらの温度の位置ずれへの寄与の大きさ(重要度)を算出できる(図-10)。下図を見ると、31番目の熱電対から取得した温度が、位置ずれに最も大きく寄与していることが分かる。この結果は、31番目の部位を中心に、重要度の高い部位の温度変化を管理することにより、位置ずれを制御できることを意味している。

この事例のように、目的変数として位置のずれ量を予測する事は、やはり建設現場でのAI活用に大いに展開できる。現場では構造物にせよ、土工事にせよ座標管理が重要であり、設計に対して許容誤差範囲内に仕上がっているか出来形管理が行われる。施工中の建機の動きに対する位置ずれ予測から、適切な施工動作に導く、施工作業を最適化するため常に位置のずれ量

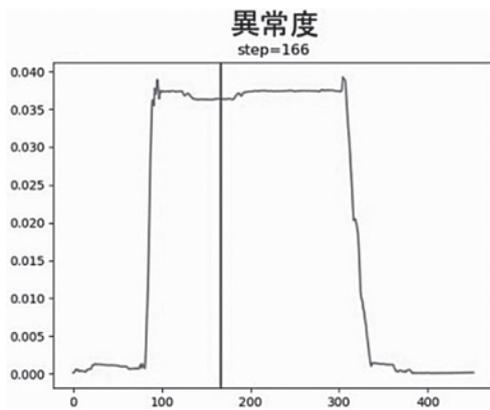


図-7 異常度のグラフ。横軸は時間、縦軸は異常度である。100~200の間の垂直な軸は図-6の瞬間の位置を表す

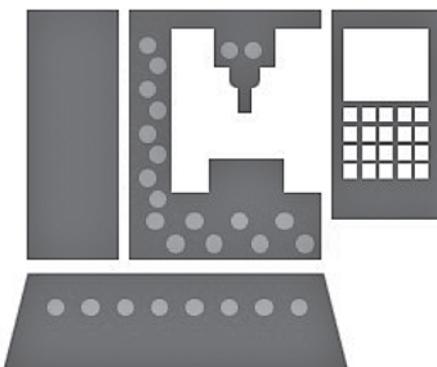


図-8 加工機の各部位に取り付けた熱電対(丸の箇所)のイメージ図

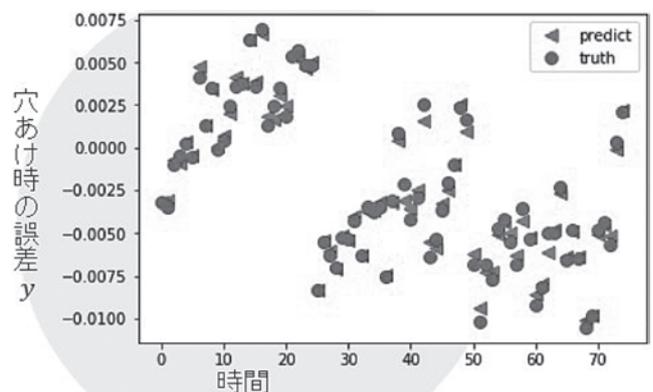


図-9 穴あけ時の位置ずれ(誤差)の回帰。丸が観測値、三角が予測値

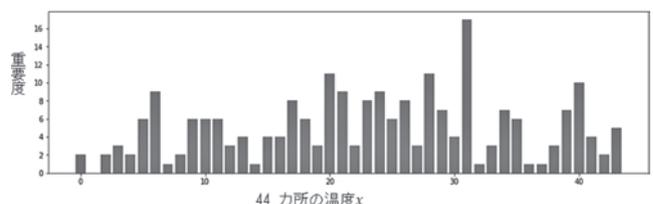


図-10 加工機各部位の温度と重要度の関係

を把握できる事は重要である。このように AI を活用して位置計測技術からその先の予測を経て、動作の最適化や自動化につなげていく事は、これまでの現場における職員・作業員による属人性の高い計測作業から脱却し、精度を一定に保った品質確保や安全管理に寄与していく活用の仕方へと発展していくものと考えている。

3. 位置計測技術と AI 併用の今後の展望

位置計測技術は前述の通り、ICT 機器の進化により様々な手法や精度として発展しつつある。しかしそれを適切に活用するのは人であり、そこに生産性を阻む要因がある。そこで利便性の高い計測機器を活用しつつ、AI により人が介する作業を低減化する活用の在り方について触れてみたい。

まず1つ目は、出来形管理において3D スキャナーで点群データを取得する事が一般的となっているが、取得した点群データは現場の現況を適切に押さえておきたいのに対し、人や建機など不要な物まで写り込んでしまい再計測となる場合や、ノイズとなる部分を点群処理ソフトで手動削除する事が往々にして発生する。そこで AI にこのノイズとなるものを学習させ、自動的にノイズを抽出できると、この出来形管理のデータを生成する作業において生産性が向上すると思われる。またノイズと判定した物の形状からそれが何であるかを認識し、記録として残しておく事で、出来形計測の際に生じやすいノイズを事前に防ぐ環境作りや、継続的な点検業務でノイズ情報も活用できる可能性がある。このノイズ除去の取組みは非常にシンプルな活用の仕方ではあるが効果は高く、実際の取組みは進んでいると思われる。

また点群データについては、現況地形の測量や出来形計測により得られた3次元地形データを、その後の工程計画を立てる際に AI や最適化を用いる事で自動化や効率化を図る事が可能になると考えられる。現場は日々盛土により層を重ねて施工を進めるが、最終的な3次元設計モデルだけではなく、日々の土量管理や施工計画に対しても、現況の地形データを元に切土による掘削計画、材料の違いによる撒き出し厚が異なる中での盛土による土量管理などに対し AI や最適化でシミュレーションする事が出来ると好適である。

例えば、テンポラリーとなる駐機場や重機の走路は本設の施工とは異なり、一時的に用意しバックホウやダンプトラックなどの車両が積込み場所や土捨場にアクセスするためのものである。あるいは盛土場における

重機の稼働台数と施工計画の検討はこれまで現場の職長など経験のある職員の勘と経験に頼って本施工を実施してきた。そのため勘や経験に頼らず、現況地形から誰でも施工の最適解を求められる事は非常に有効であるが、それは例えば土砂の切盛量を最小限に抑えられる、ルート全長が短い、稼働させる重機の台数を最小化するなどが目的として考えられる。

そこで点群データと材料情報などを入力して最適解を算出するロジックを考案する。入力する点群データは現在の地形データ（現況地形）と設計面の地形データの2つが使用できる。この点群データは X, Y, Z の座標のみ格納されていれば十分である（付加情報があればそれを活用することも可能）。また経路探索を行う際にいくつかの設定を行うことができる。例えば平面的範囲や高低差から通したい走路の最大勾配や曲率を指定することでより詳細に探索することが可能になる。

最適経路探索ではこのように点群データを用いて A-star 探索を改良したロジックが使用できる。これはすなわち土砂の切盛量を最小化する経路や施工手順を探索する手法を用いるものである。A-star 探索はヒューリスティックを考慮するアルゴリズムであり、全探索に比べて高速に最適解を見つける事が可能である。また、アルゴリズム内の最小化したいコスト計算に対して柔軟に対応できるため、新たに考慮したい値の追加が可能になるという点でこのアルゴリズムが採用でき、現況地形を考慮した施工計画のための最適解を求める事が可能になると言える。

このように3次元の点群データを活用すれば、知識や経験がなくとも AI や最適化を用いて自動化・効率化していく事が可能になり、重機走路や日々の切土・盛土の施工計画、土砂運搬など、他にも様々な用途で使用する事が考えられる。

その他、位置情報を AI で分析する事で3D と4D(時間情報) データを活用し作業の生産性向上とともに、原価管理などの5D データの精緻化につなげていく事が考えられる。具体的には、作業員の動きなどを位置情報として取得し、それを AI で分析することで、ある時間軸における人流や機械の動きを定量化し、一見無駄のない作業や動きに見えていたものを、実は人のスキルなどと言った属性情報と共に考察する事で人員配置を見直すことや、動き自体の無駄を捉えて施工計画に活かしていくと言うものである。これは施工に際してロボット活用が進んでいる昨今では、人とロボットの最適な動かし方・作業分担の仕方などの分析も当てはまると思われる。原価管理については、作業の無

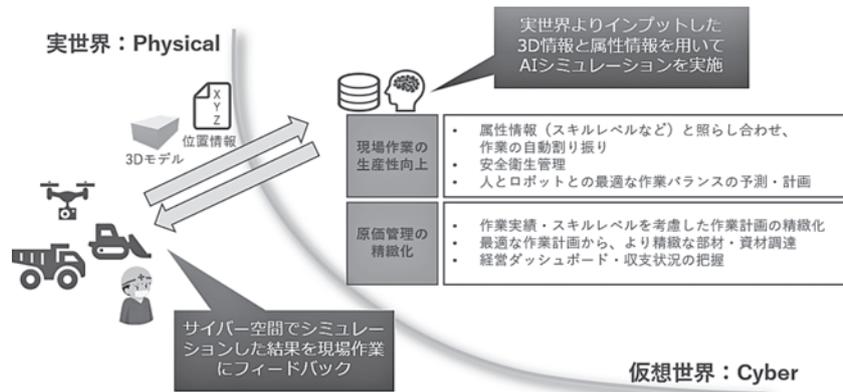


図-11 サイバー空間でのAIシミュレーション検討例

駄が省ける事でコストメリットが生まれ、現場作業における利益率向上につなげていく事が考えられる（図-11）。これらは前述したデジタルツインにより、現場の位置情報をビッグデータとして仮想化された環境で属性情報と共にAI分析し、その結果を現場にフィードバックする事で産み出される新たな活用となる。このように位置計測技術にAIを組み合わせる事で、これまで最も良いと思われていた作業計画に対し、実績データを活用してAI分析から予測につなげていく事で、新たな管理手法を創出できる可能性がある。

4. おわりに

本稿では、建設業や製造業を始めとしたあらゆる産業においてDX推進の潮流の中で、AIの現場活用の普及が進む背景と事例から、AIをより高度化させて位置計測技術と組み合わせて分析していく事で、新たな管理手法や生産性を上げる取り組みにつながると言う展望を含めて言及した。位置計測技術とIoT/AIを組み合わせる事で、これからもより様々な用途で効率性を高めていく事は可能であると思われ、各産業に従事する技術者や我々のようなITエンジニアは、業務から日常生活に及ぶより広い領域に目を配り、最新情

報を収集して検証し、今後も利便性が高い新しい仕組みやサービスを創出していきたい。

JCMMA

《参考文献》

- 1) 「異常検知と変化検知」井出剛, 杉山将 講談社
- 2) 「パターン認識と学習の統計学」麻生英樹, 津田宏治, 村田昇 岩波書店

【筆者紹介】



新居 和展 (にい かずひろ)
 (株)コアコンセプト・テクノロジー
 DX事業本部 DXソリューション開発部
 セールスマネージャー



熊田 聖也 (くまだ せいや)
 (株)コアコンセプト・テクノロジー
 DX事業本部 IoT/AIソリューション開発部
 ドメイン CTO



古橋 健斗 (ふるはし けんとう)
 (株)コアコンセプト・テクノロジー
 DX事業本部 IoT/AIソリューション開発部
 エキスパート