2025 年度下期未踏アドバンスト事業

掘削機械のオペレーター作業自動化

—改造せず後付けで、掘削現場のまるごと DX—

1. 背景

地表から深さ数千メートルに及ぶ井戸を掘削する技術は、CO2 の地下貯留、地熱発電、レアメタル探査、温泉掘削、地下水素の抽出、石油・天然ガスの採掘、核燃料の地層処分など、性質の異なる複数分野を横断的に支える共通基盤技術である。

一方で、掘削業界は熟練人材と危険な労働に依存し、他の建設・製造業以上に深刻な人手不足に直面している。現場作業員の平均年齢は上昇を続け、国内には 70 代・80 代のオペレーターも珍しくない。掘削機械の操作は経験と勘に基づく暗黙知に大きく依存しており、マニュアル化や AI 活用がほとんど進んでいない。加えて、近年の 36 協定改定に伴う労働時間規制の強化により、同じ作業量をこなすために必要な人員がさらに増加する構造的な変化も生じている。結果として、稼働可能な掘削機械の台数に対しオペレーター数が慢性的に不足する状態が常態化し、受注可能な工事数そのものを制約するボトルネックとなっている。

2. 目的

本プロジェクトは、オペレーター不足という構造的課題を、掘削機械自体を改造することなく、外付けの機器や機械学習モデルによって解消し、最終的には掘削作業の無人化・完全自動化を実現することを目的とする。(図 1)

この目標に到達するには、地中という視覚情報の得られない環境で、経験と勘に頼ってきたオペレーターの判断をデータとして捉え直す必要がある。そのため、机上の検証にとどまらず、実際の現場に入り込み、炎天下・振動・泥水といった過酷な環境の中で実運用に耐える装置とサービスを作り込むことを開発方針の中心に据えた。

具体的には、①現場状態(メーター値・映像・振動・温度等)をデータとして取得・可視化する仕組みと、②取得データに基づき日報作成を自動化する仕組みを優先的に構築し、現場に日常的に使ってもらうことで掘削・操作データを継続的に蓄積する。これを土台として、オペレーターの操作ログと現場データを組み合わせた遠隔操作・自動化アルゴリズムの開発へと段階的に進め、将来的な無人化につなげる方針とした。

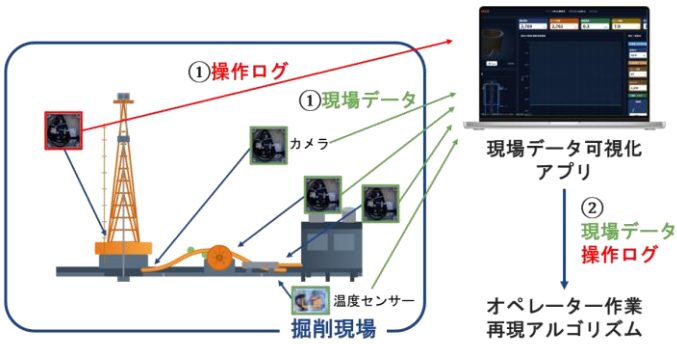

図 1 本プロジェクトの開発方針

3.　製品・サービスの内容

本プロジェクトでは、「掘削現場の計器を目視確認し、作業後に 1〜2 時間かけて手書きの日報を作成する」という、現場の日常的な負担を最初に解決することを目指した。開発したシステムは既存の掘削機械を一切改造せずに後付け(レトロフィット)できるため、掘削機械の機種・用途を問わず、稼働中の現場にそのまま導入できる点が特徴である。

現場には計 8 台のカメラ(図 2)を設置し、オペレーターが常時目視確認している圧力・荷重等のアナログメーターや泥水の状態を映像として記録した。振動・粉塵・水分にさらされる現場環境に対応するため、市販カメラをそのまま使うのではなく、独自の防水カメラモジュールを設計・製作し、輻射熱対策としての遮熱シート、熱伝導対策としての外部接点の最小化など、現場特有の課題に個別に対処した。これらの対策により、実証現場において 1 ヶ月間故障なく連続動作することを確認しており、カメラ内部への泥の侵入も生じていない。

取得した映像は、①映像取得→②メーター認識→③針・目盛り検出→④値変換、の 4 段階からなる画像認識により自動的に数値化し、サーバー上の推論 API として実装した。あわせて、泥水温度センサー・慣性計測装置(Inertial Measurement Unit (IMU))センサーにより、掘削深度、ビット荷重、送泥圧力・温度など主要指標をリアルタイムに表示するダッシュボードを構築した。

通信環境については、当初の地上回線では現場停止や猛暑によるルーター停止が頻発し、24 時間体制でのデータ収集を維持できなかった。そこで、福井の実証現場に毎週足を運び、複数のルーター・回線構成を実地で試行錯誤した結果、低軌道衛星通信サービス Starlink Standard 4X の導入により通信を安定化させ、24 時間体制でのデータ収集を実現した。

これらの現場データをもとに、従来 1〜2 時間要していた日報作成を、確認・修正を含めてワンクリックで自動出力できる機能を実現した。これにより、現地に滞在せずとも、掘削の進捗や機械の状態をリアルタイムに把握することが可能となった。

(a)　(b)

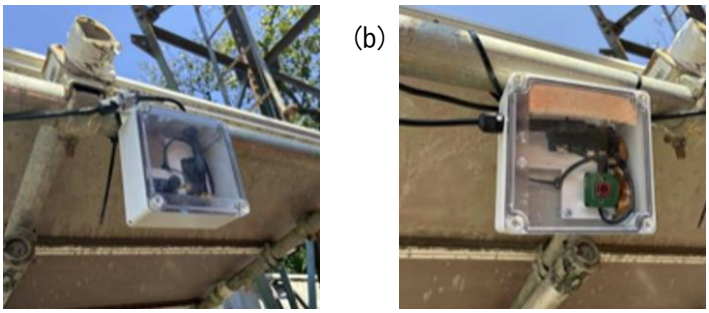

図 2 現場を監視するカメラを含む防水モジュール(a)、(b)

さらに、オペレーター作業自動化に向けた足がかりとして、既存機械のレバーを外部から遠隔操作する外付け装置(図 3)を設計・試作し、実機での検証により 4 本のレ

バー全てが遠隔指令通りに動作することを確認した。

以上のシステムは、全国の実証現場 5 拠点に導入され、2026 年 9 月現在も現場で常時稼働しながら随時データを取得している。

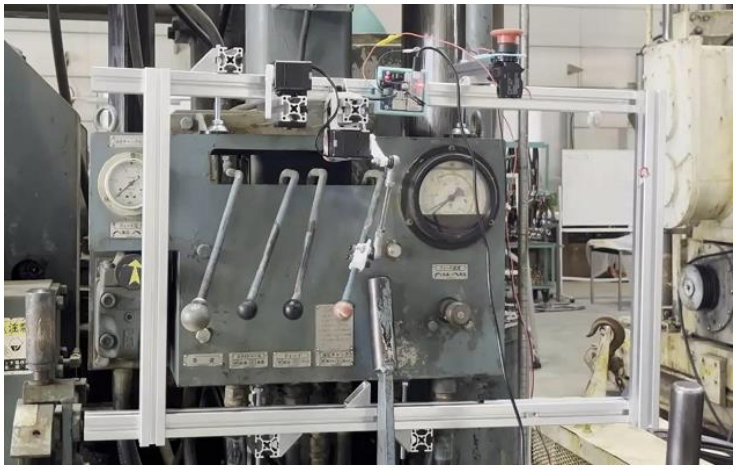

図 3 既存の掘削機械に装着された外付けの制御装置

4. 新規性・優位性

本技術の新規性は、AI 活用がほとんど進んでいない掘削業界に対して自動化を導入する点にある。建設機械の DX とは異なり、掘削は視覚情報が得られない地中作業を対象とするため、地上の映像・センサー情報から間接的に地下の状態を推定する広範かつ探索的なデータ収集の仕組みを構築した点に独自性がある。

優位性は、単なる技術実証にとどまらず、実際の掘削現場で 1 ヶ月以上の連続稼働に耐える水準まで作り込んでいる点にある。炎天下・振動・粉塵・不安定な通信環境といった現場特有の制約に対し、防水防塵モジュールの独自設計、遮熱・熱伝導対策、通信環境の現地検証といった試行錯誤を積み重ねた結果得られた装置設計・運用ノウハウは、他の現場・他の掘削機械にも横展開できる資産として蓄積されている。この「現場で使える」レベルへの作り込みは、技術力だけでは代替できない参入障壁となる。

この他の優位性としては、①既存の掘削機械を一切改造せず、後付けできるレトロフィット設計である点、②市販カメラを用いず現場環境に最適化した独自の防水モジュールを開発したことでコストと耐久性を両立している点、③サーバーサイド API 方式により現場端末に高性能な演算環境を要求しない点、が挙げられる。また、画像認識アルゴリズムについては弁理士と連携して既存特許 9 件を調査し、現設計が技術的範囲に属さないとの見解を得ており、事業化に向けた知財面のリスクも一定程度考慮している。

5. 事業普及（または活用）の見通し

全国の掘削業者を訪問し、地熱発電・温泉など用途の異なる 5 つの現場でシステムを実証した。各現場では常時稼働しながら随時データを取得しており、この過程で国内の掘削業者全社とのネットワークを構築した。その結果、8 社の掘削業者から具体

的な導入意向を獲得するに至った。特に近年の自然災害の増加を背景に、井戸の新設・復旧需要が高い九州エリアの業者からの関心が強い。現時点で法人設立には至っていないが、導入契約の締結時期に合わせて法人化を進める予定であり、国内に加え海外現場を対象としたPoCの準備も並行して進めている。

無人化に向けては、現在すでに現場データ（メーター値・映像・振動・温度・掘削深度等）と一部の操作の実証データを蓄積している。自動化の第一段階としては、定型的かつ判断の再現性が高い作業から着手し、遠隔監視によるオペレーターの介入余地を残した形で安全性を検証しながら、段階的に自動化範囲を拡大していく計画である。

6. 期待される波及効果

本技術が普及すれば、二酸化炭素回収・貯留（Carbon dioxide Capture and Storage (CCS)）、地熱発電、地下水素抽出、温泉開発、レアメタル探査、石油・天然ガス採掘、核燃料の地層処分など、脱炭素・エネルギー安全保障に関わる幅広い分野において、オペレーター不足を背景とした施工能力の制約を緩和し、各分野の事業拡大を下支えする効果が期待される。

現場での日常利用を通じて蓄積される掘削データは、単なる可視化・日報効率化にとどまらず、オペレーターの技能をデジタル化し、自動化アルゴリズムへと発展させるための基盤となる。これにより、経験豊富なオペレーターの技術を組織的な資産として継承できるようになり、掘削業界全体の生産性向上にも波及的に貢献しうる。

より長期的には、月面や小惑星における地下資源探査、など、地球外・特殊環境における掘削需要への応用可能性も見込まれる。現在は限られた掘削業者のみが担っている「地下へのアクセス」を、データと自動化によって誰もが安全に扱える基盤技術へと変えていくことが、本プロジェクトの最終的な狙いである。

7. イノベータ名（所属）

平田 泰之（東京大学大学院学際情報学府学際情報学専攻）
戸井 啓允（東京大学大学院情報理工学系研究科知能機械情報学専攻）
倉嶋 太郎（東京大学大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻）