

# AI-ロードヘッダの開発

松尾陽介

トンネル工事における担い手不足やよりよい作業環境を求める声、AI/IoTを活用した自動化、効率化の機運の高まりを受け、掘削に使用される自由断面掘削機ロードヘッダの付加価値として、離れた場所から機体を操作する遠隔操作機能と切羽における掘削作業を自動で行う自動運転機能を搭載したAI-ロードヘッダを開発したので、その主な特徴と実際の工事現場で行った実証試験の結果を紹介する。

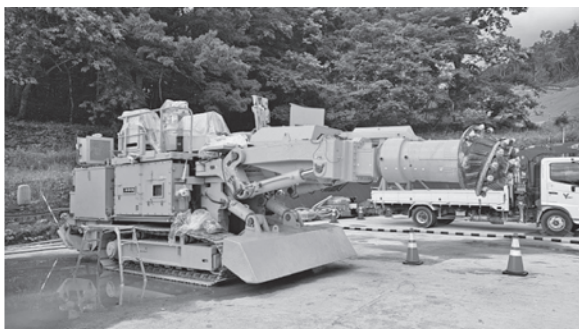
キーワード：自由断面掘削機、遠隔操作、自動運転、省人化、IoT

## 1. はじめに

AI/IoT技術が身近なものとなり久しいが、土木の現場でも油圧ショベルなどの遠隔化、自動化といった操作技術の高度化が行われている。自由断面掘削機ロードヘッダにおいてはこれまで過掘りを防止するNARAIシステムや切羽におけるドラムの位置を表示するナビゲート機能といった機上での操作をアシストする機能はあったが、それ以上の発展は進んでいなかった。このような背景のもと、昨今のAI/IoT活用の機運を受け、自動で掘削を行う自動運転機能、遠隔から機体の操作を行う遠隔操作機能などを備えたAI-ロードヘッダ（以下、AI-RHという）を開発した（写真—1）。今回(株)安藤・間様のご協力により実現現場での検証を終えることができたのでその概要を紹介する。

## 2. 開発のねらい

ロードヘッダとは切削チップが配列された半球形の



写真—1 AI-RH

ドラムを回転させながらクローラによって自走し、岩盤や鉱物を縦横無尽に掘削する機械である。ドラムは機体前部のブームの先端に搭載されており、上下左右に振り、前後に伸縮しながら掘削を行う。

AI-RHは国内でメジャーに使用されているロードヘッダS200（以下、ベースとなったロードヘッダという）をベースとし以下の機能を搭載した。

- ①自動運転機能
- ②遠隔操作機能
- ③自己位置推定機能
- ④データ収集機能

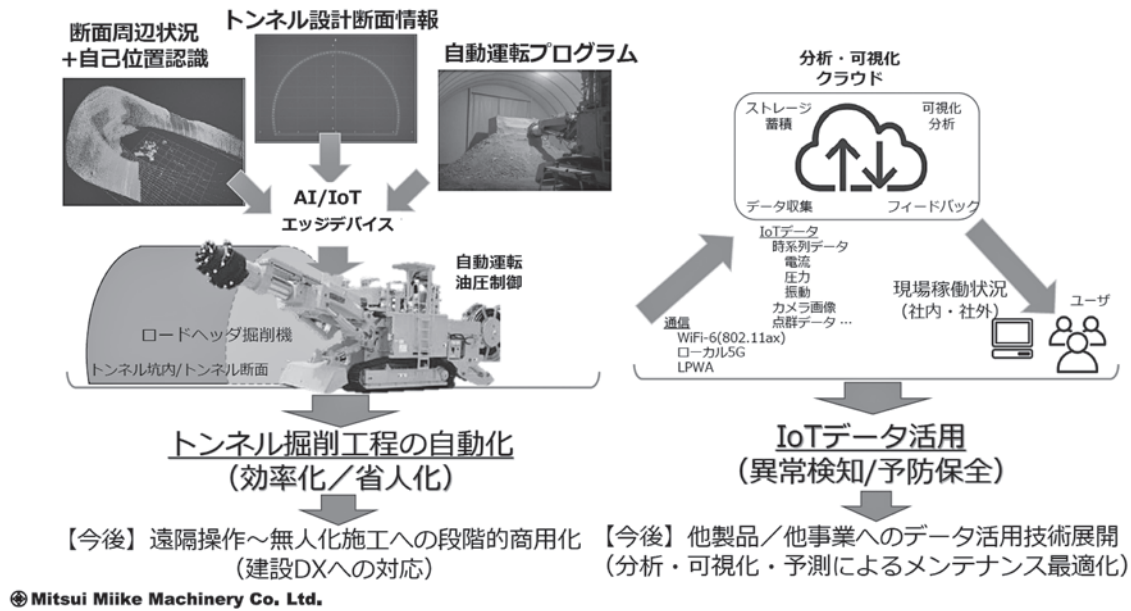
AI-RHは自動運転機能と遠隔操作機能を2つの大きな柱とし、その補助的な機能として自己位置推定機能とデータ収集機能を搭載する。断面周辺状況とトンネル設計断面情報、自動運転プログラムを組み合わせることでトンネル掘削工程の自動化を実現し、工事の効率化、省人化を目指した（図—1）。

## 3. 主な特徴

AI-RHの各機能の特徴を以下に示す。実現現場で行った検証結果も合わせて紹介する。

### (1) 自動運転機能

AI-RHに掘削動作を自動化する自動運転機能を搭載した。機械に増設した自動運転処理PC及び油圧制御用PLCを用いる。①自動運転処理PCに対してあらかじめ設計断面を設定し、設計断面からはみ出さないように考慮した固定ルートをドラムの目標経路として設定する。②自動運転処理PCから油圧制御用PLC



図一 1 AI-RH 概念図

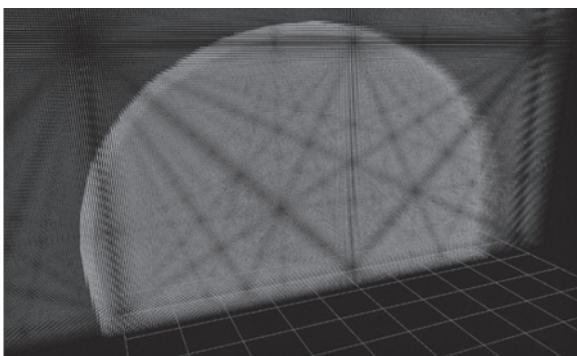
に対して指示を送り、ドラムの目標経路に沿ってドラムを移動させる。③油圧制御用 PLC は、油圧シリンダの電磁弁を制御しドラムを移動させる。各シリンダはストロークセンサーを装備し、そのストローク値を油圧制御用 PLC に常時フィードバックしながら制御する。

ドラムの移動は掘削による負荷を監視し、移動速度を調整しながら行うこととした。

実現場で検証を行った際には機体を切羽の中央に据えてドラムの届く範囲の掘削を行った。掘削の深さは 750 mm とした。手動での掘削と比べると 70% 程度の時間効率を有することが確認された (図一 2)。

## (2) 遠隔操作機能

離れた場所に遠隔操作室を設置し、その中で AI-RH を操作する。AI-RH と遠隔操作室は無線と有線の両方を用いて通信し、AI-RH のすべての動作を遠隔で操作することができる。操作は若い人たちがなじみや



図一 2 設計断面

すいように遠隔操作用 PC に接続されたゲーム用のコントローラで行うこととした (写真一 2)。機体の周囲には 10 台 + トンネル支保工に取り付けた後方確認用 1 台のカメラと 4 台のミリ波レーダを取り付け、カメラの映像を見ながら掘削、走行を行い、カメラでカバーできない範囲をミリ波レーダで探知し、周囲の安全を確保する (図一 3)。

遠隔で操作する以上、通信に遅延があると非常に危険である。そのため、通信の死活監視機能を搭載しており、通信状況が悪いときには電磁弁が OFF となり動作が停止する。通信が悪い状況が一定時間継続した場合は油圧用の電動機が停止させるようにした。

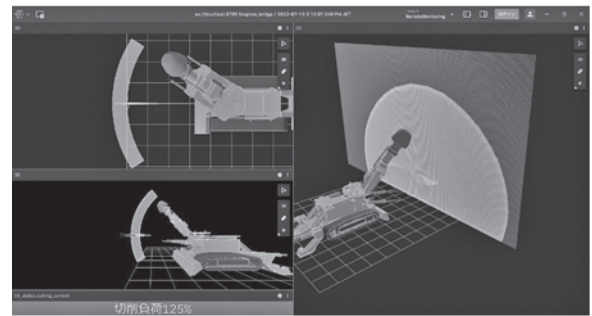
また、掘削アシスト機能として 3D モデルによって機体から見てドラムがどの位置にあるか表示させ、掘削の助けとなるようにしている (図一 4)。また、LiDAR センサーの点群データを遠隔操作室に表示させることで、周囲の状況をより把握しやすくしている (図一 5)。

実現場での実証試験ではトンネル坑口付近に遠隔操作室を設置、約 300 m 先の切羽にある AI-RH を遠隔操作し掘削を行った。掘削についてはカメラ位置の調整などはあるが、問題なく行えることが確認できた。こちらも機上での操作と比較すると 70% 程度の効率を有することが確認できた。走行についてはカメラの解像度等を減らし、通信量を抑えるようにはしたが通信の遅延などもあり、まだまだ改善の余地が残っている。

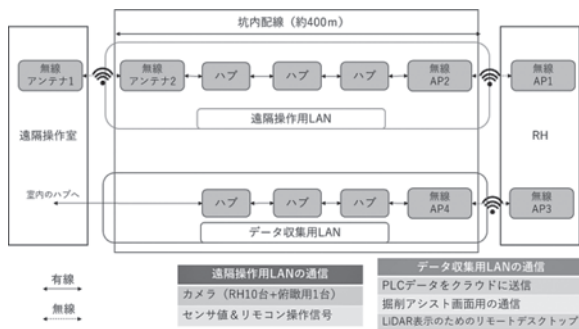
今後は、より操作性を高めるために遠隔操作の画面の改良等を行っていく。



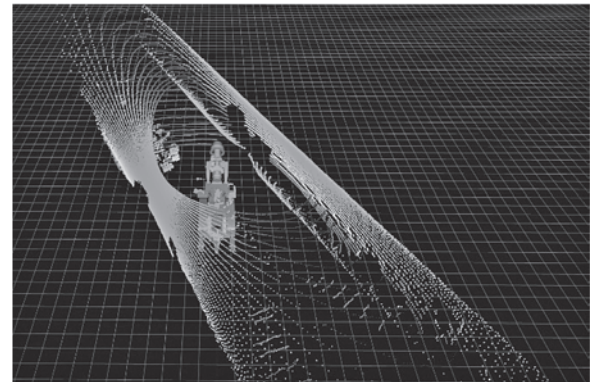
写真一 遠隔操作室



図一 掘削アシスト画面



図三 通信経路



図五 LiDAR 表示データ (遠隔操作補助)

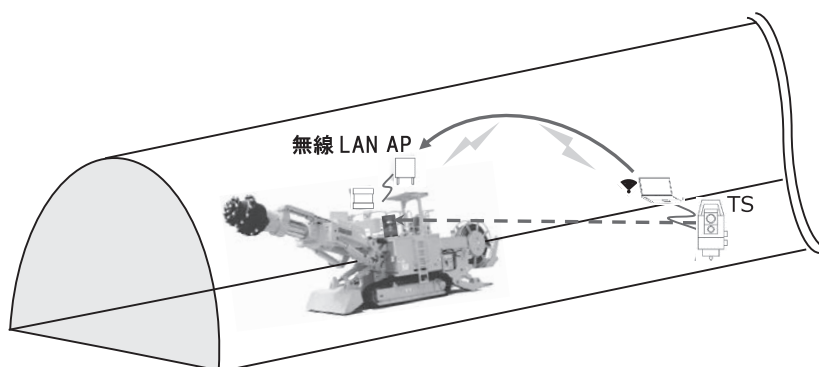
### (3) 自己位置推定機能

機体に取り付けた LiDAR センサーの測定値とトータルステーションでの機体位置の測定結果から、機体周辺の坑内のマッピングを行い、作成したマップ上における現在地を推定する機能となる (図一6)。これまでのトンネル坑内における機体位置を測定する方法はトータルステーションなどで直接機体上のターゲットなどを測定する方法などが主流であるが、本機能では周辺の構造物を測定することで機体の相対的な位置を推定する。また、機体周辺の測定に LiDAR センサーを使用することにより、掘削中に粉塵が発生して視界が確保できない状況になっても機体位置の推定が可能で、掘削動作を継続することができる。

実現場では自己位置推定で推定された座標と、機体上のターゲットをトータルステーションで測定した座標を比較し、その精度を確認した。実現場でも工場内の検証と同様に機体の位置を推定することができ、通信の状態や周囲の状況などにもよるが、概ね 10 cm 以内の誤差で自己位置を推定することが確認できた (写真一3)。ただし、切羽から離れた坑内の途中といったマップ作成に必要な特徴的な物体がない場所ではマップの作成に失敗することが分かった。

### (4) データ収集機能

機体に取り付けた各種センサーや電動機の電流値、油圧の圧力、操作履歴、異常履歴などのデータを収集



図六 自己位置推定システム構成



写真-3 実証試験時の様子

し、クラウドにアップロード、可視化を行う。アップロードされたデータはWEBブラウザ上で確認できるシステムを構築しており、ネット環境があればどこでもデータを確認することができる。

実現場での検証でも工場内の検証と同様にデータを収集し、持参したモバイル回線を用いてクラウド上にアップロードし、可視化できることを確認した(図-7)。

#### 4. その他の変更点

上記の機能を搭載するために、ベースとなったロードヘッドから以下の点を変更している。

##### (1) 油圧回路

ベースとなったロードヘッドではすべてのシリンダを一つのポンプからの油圧で動作させていた。AI-RH

は自動運転時に掘削に使用するドラム上下、左右、伸縮の3種類のシリンダを各々制御するために一つのアクチュエータに対して一つのポンプとし、流量制御できるように変更した。これにより、より精度よくドラム位置の制御ができるようになった。

##### (2) PLCによる制御

ベースとなったロードヘッドではリレーによる制御を行っており、高度な制御を行うことができなかった。AI-RHを開発するにおいてPLCを搭載した制御盤に載せ替え、PLCで制御することで各センサーとのデータのやり取りや、自動運転プログラム通りに電磁弁を動作させる、ドラムの移動速度を変化させるなどといった制御ができるようにした。

#### 5. おわりに

当社におけるAI, IoTを生かしたAI-ロードヘッド開発への取り組み、実証試験の結果などについて紹介した。実現場における実証試験において、各機能の現場で実際に使ってもらうための課題を確認することができた。AI-ロードヘッドはこれまで、弊社工場内で開発を続けてきたものであり、メーカーとしての考えで機能面や操作性といったところを検討してきた。今回実際に現場で実証試験をさせていただき、現場で使う側の意見を数多くいただくことができ、それを生かして2年後の商品化を目指してさらにより良い



図-7 AI-RH データ可視化画面

ものを目指して開発を進めていく。将来的には一人のオペレータが遠隔操作で複数の現場のロードヘッダを同時に操作するような未来を考えている。

今回実際にトンネル工事が行われている現場を用いた実証試験にご協力いただいた(株)安藤・間様にはこの場を借りて深くお礼申し上げます。

J C M A



[筆者紹介]  
松尾 陽介 (まつお ようすけ)  
㈱三井三池製作所  
産業機械技術部 産業機械設計グループ  
アシスタントリーダー

