

# 生産性, 安全性の向上を目的とした バッテリー機関車の自動運転システム

川崎 智博<sup>1</sup>・谷崎 英典<sup>2</sup>・橋本 崇俊<sup>3</sup>・川崎 哲嗣<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 鉄建建設株式会社主席研究員 研究開発センター (〒286-0825 千葉県成田市新泉 9-1)  
E-mail: kawasaki-tomohiro@tekken.co.jp

<sup>2</sup>正会員 鉄建建設株式会社部長 機電部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町 2-5-3)  
E-mail: hidenori-tanizaki@tekken.co.jp

<sup>3</sup>鉄建建設株式会社所長 JV 吹田シールド作業所 (〒503-0003 大阪府大阪市北区堂島 1-5-17)  
E-mail: takatoshi-hashimoto@tekken.co.jp

<sup>4</sup>鉄建建設株式会社副所長 JV 新宿駅改良作業所 (〒169-0073 東京都新宿区百人町 1-23-6)  
E-mail: tetsushi-kawasaki@tekken.co.jp

近年, シールドトンネルの長距離化に伴いセグメント運搬作業など無人化や自動運転などによる生産性向上につながる技術開発が求められている. さらに, 上下水道のバイパス化を目的としたシールド工事においては, 長距離かつ小断面トンネルが多く, 坑内で資材運搬を行う際に坑内作業員の退避場所が確保できないため, 安全性の向上が求められている. このような状況を踏まえ今回は生産性, 安全性の向上を目的としたバッテリー機関車の自動運転システムを開発した.

**Key Words:** safety, self-driving, productivity, AI camera, battery locomotive

## 1. はじめに

本システムを導入した工事の概要について述べる. 発注者は東京都水道局であり, 延長 2,229m の配水本管用のトンネルを泥水式シールド工法により築造するものである.

トンネル断面は図-1 に示すように外径 $\phi=2056\text{m}$ の鋼製セグメントで構築されたシールドトンネル内に呼径 1,000mm の配水本管を敷設し, セグメントと配水本管の間はエアミルクで充填される. 本工事の特徴としては小断面で施工延長が長いことが挙げられる.

縦断的には土被りの変化が大きく, 発進側は土被り 35m 程度であるが発進より 1,000m 付近より 20~26% の上り急勾配となり, 到達側は土被り 5m 程度である. 掘削部の地質は発進から 1,500m 程度までは N 値 50 を超える硬質土・砂礫土層であり, そこから達までの 700m 程度は N 値 2 程度の軟質粘性土層である.

トンネル線形は図-2 に示すように発進直後に R=40m の急曲線があるが, その他は直線と R=200m 程度の緩曲線で構成されている.

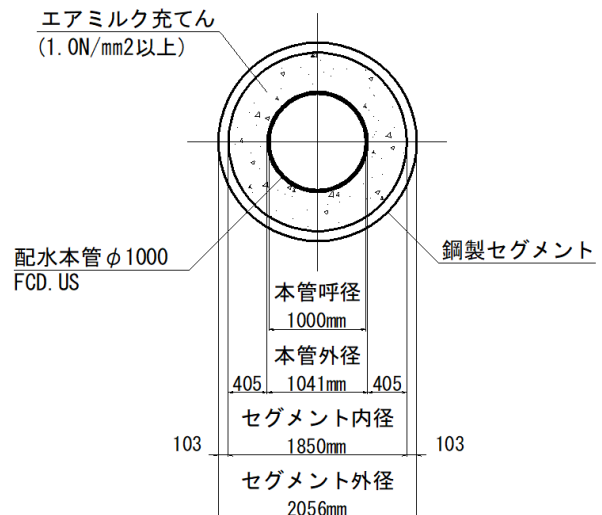


図-1 断面図

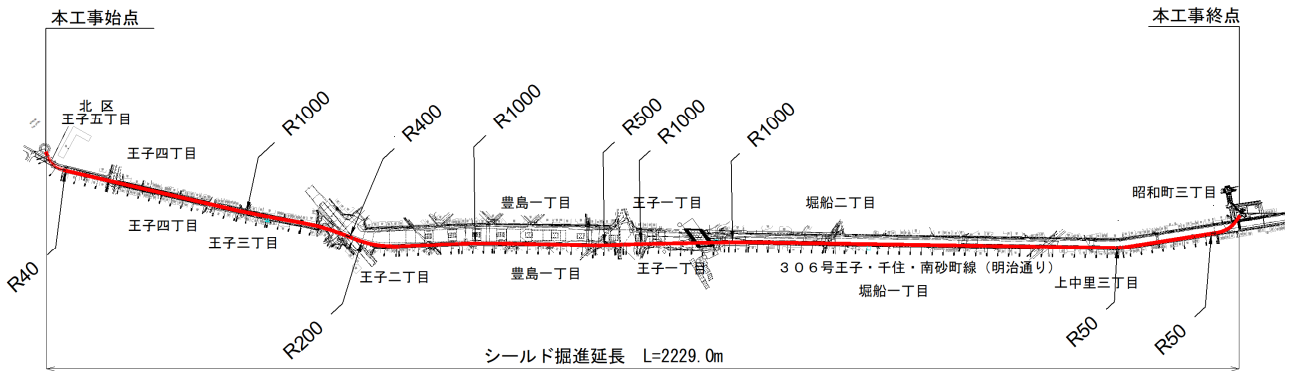


図-2 平面図

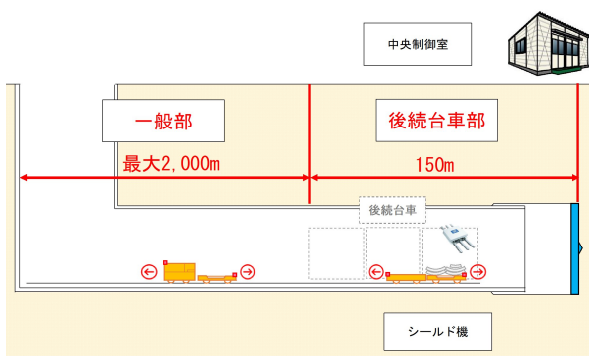


図-3 運転区分け図

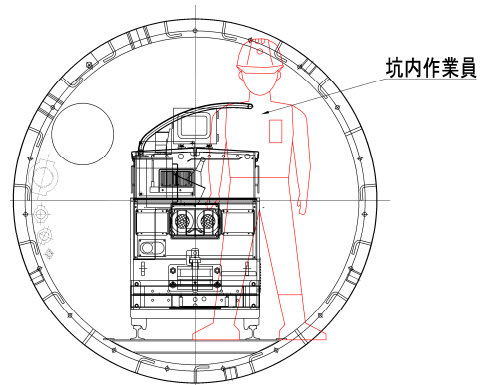


図-4 一般部断面図

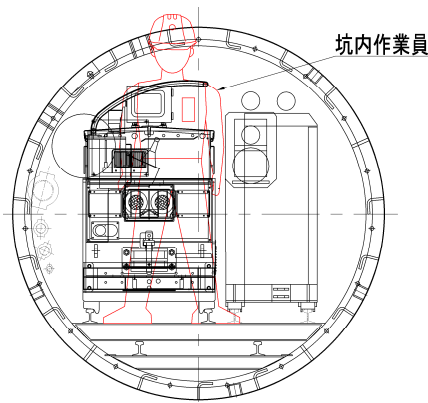


図-5 後続台車部断面図

## 2. 技術開発の背景

近年、施工延長が長距離化するシールドトンネル工事において、発進立坑からのセグメント運搬システムの無人化や自動運転による生産性向上に繋がる技術開発が求められている。

今回の場合は断面が小さく狭隘であるため坑内作業員の退避場所を物理的に確保できない箇所もあり安全性についても考慮する必要がある。

さらに切羽部は、電源や制御機器、送排泥設備などが搭載された後続台車が配置されており、一般部と比較して断面が非常に狭隘となっている。

一般的バッテリー機関車では風管やセグメント搬送装置が支障して、セグメント運搬ができない状況であった。また、図-3 に示すようにこの後続台車長は 150m と長いいため、ホイスト等によるセグメント搬送も不可能であった。(図-4、図-5 参照)

このような施工条件の中で、生産性と安全性の向上を目的としたセグメント運搬システムの自動化開発を進めた。

## 3. 技術開発

### (1) 新しい車両の製作

先に述べた通り後続台車部は狭隘であり、ホイスト等によるセグメント搬送ができないことからバッテリー機関車とセグメント搬送台車による運搬方法を採用することとした。図-8 に示すように一般的バッテリー機関車は高さ 1m 程あり高さが支障するため今回の現場では使用できなかった。そのためバッテリー機関車の高さの問題対策を以下の通り行うこととした。



写真-1 超低空頭セグメント搬送台車（自走牽引台車）



写真-2 中央制御室監視モニタ画面

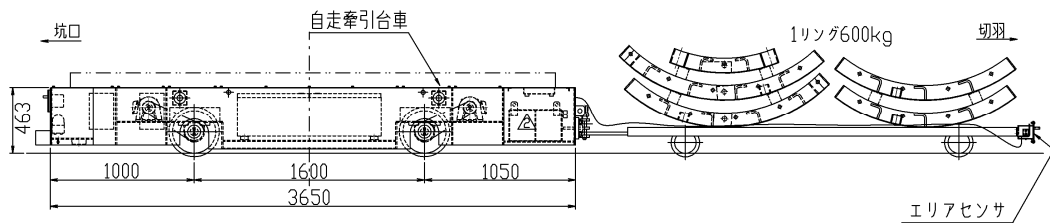


図-6 セグメント運搬図

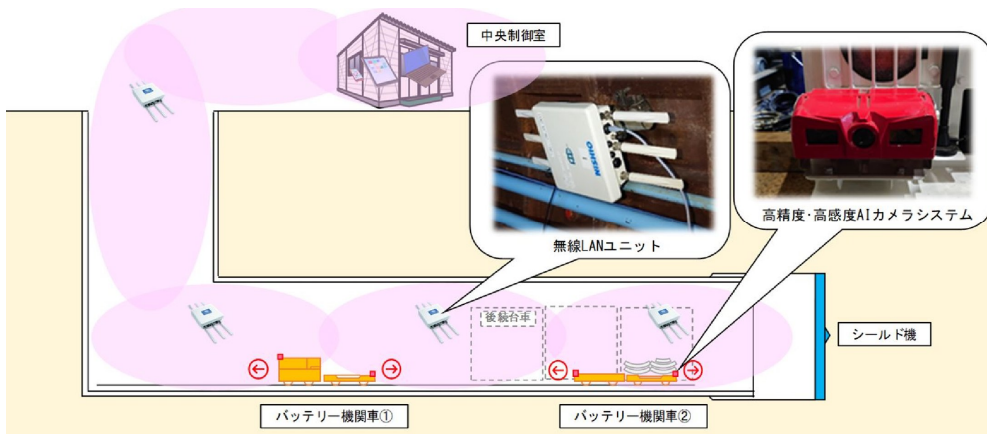


図-7 Wi-Fi ネットワークイメージ図

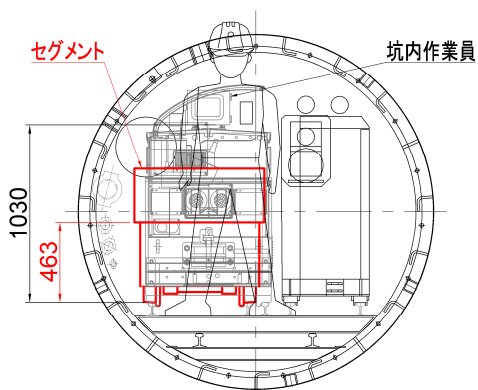


図-8 バッテリー機関車断面比較図

そこで、今回の現場専用の自走牽引台車（超低空頭：H=0.463m）を製作した。（図-6、図-8 参照）  
 これにより、この車両を上越したセグメント搬送（セグメント台車への積み込み）が可能となった。

## (2) 生産性向上

セグメント運搬システムの生産性向上の観点から、バッテリー機関車は自動運転にすることとした。これによりバッテリー機関車に同乗する作業員数を削減することで省人化を図った。従来から使用している SS 無線による運行管理システムの特徴は自動運転は可能なものの、車両の位置情報もエリア把握のみでありバッテリー機関



写真3 AIカメラ取付位置



写真4 坑内作業員の退避場所が確保できない状況

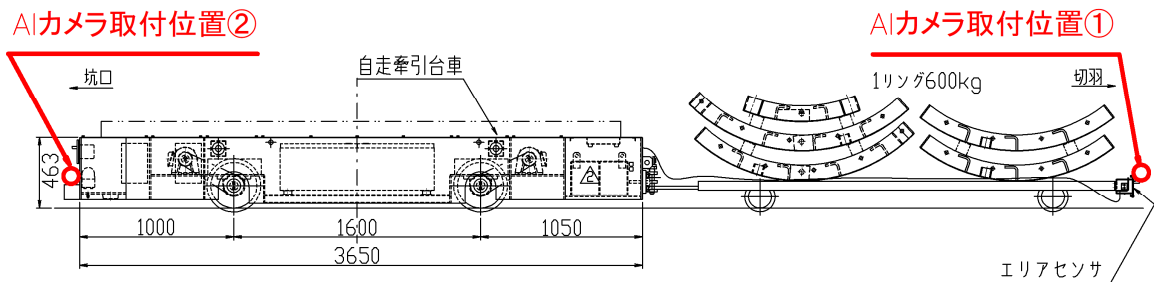


図-9 AIカメラ取付位置図

車から発する情報量が圧倒的に少なかった。

そこでWi-Fiによる大容量・高速通信が可能な坑内ネットワークを構築することによりセグメント運搬台車の位置情報がメートル単位で正確に把握できるようにした。Wi-Fiネットワークは図-7に示すように中央制御室から切羽まで坑内全域をカバーする必要があるため、無線LANユニットを概ね100m毎に設置している。

また、無線LANユニットはシールド機の進捗に合わせて増設することでWi-Fiの空白地帯を生じさせないように管理している。

なお、このWi-Fiによるセグメント運搬システムによる運行管理システムは建設業界初のものである。バッテリー機関車先端とセグメント運搬台車の後端に搭載したAIカメラからの画像がリアルタイムに転送されることで遠隔監視ができるようにした。(写真-2参照)これにより、自動運転中のトラブルが防止されることで、生産性が大きく向上する。

### (3) 安全性の性向上

今回のシールド断面では坑内作業員の退避場所が確保できない箇所があるため(写真-4参照)、さらに接触防止を図り安全性を向上させる必要がある。

従来の運行管理システムは光センサーで支障物の有無を判定し支障があれば停止していたが、運行再開には現

地確認と人による復帰スイッチボタン操作が必要であり時間を要していた。

本セグメント運搬システムではバッテリー機関車先端とセグメント台車後端に搭載したAIカメラで支障物が人であるかモノであるかの判定が可能となっている。(写真-5, 写真-6, 写真-7, 図-9参照)

(写真-5, 写真-6, 写真-7, 図-9参照)

人とモノを高精度で判別できるAIカメラの採用により、周囲の状況に合わせた運転方法を自動で選択する(A・B・Cパターン)。

これにより重量物を運搬するバッテリー機関車は作業に支障することなく、狭隘な作業化環境下での作業員の安全性が向上する。

(Aパターン)

人を感知した場合は警報を発して注意を促しながら最徐行で接近し、人が退避しない場合はその前で停止する。

(写真-5参照)

(Bパターン)

Aと同様に最徐行で接近し、人が退避した場合は停止せずに通常速度で運転を再開する。(写真-6参照)

(Cパターン)

モノを感知した場合は急制動をかけずに徐々に手前で停止する。また、運転再開にあたってはAIカメラから転送された画像で確認できることから短時間での復旧が可能である。(写真-7参照)

#### 4. 今後の展開

本自動運転技術の開発により狭隘な小断面シールドトンネルに対応可能なセグメント運搬システムを構築することができた。

この運搬装置は自動運転を基本とし、支障物監視は高精度 AI カメラを用いることで運転再開までの時間短縮効果も見込まれる。よって、従来システムに比べて生産性向上を図ることができた。また、坑内作業員に対する安全性の向上も合わせて図ることができたが、このセグメント運搬システムは直線区間に入った後に投入したため、AI カメラの急曲線部での実装データが得られていない。今後施工を行う急曲線部において AI カメラの検知範囲を確認し、必要に応じ検知範囲の再設定を実施する予定である。

本セグメント運搬システムの今後の展開としては、他現場への導入を図り多数の現場データ収集を行い、フィ

ードバックすることで必要に応じたセグメント運搬システムの改善を図り、システムの信頼性向上に繋げたいと考えている。また、Wi-Fi による大容量・高速通信が可能な坑内ネットワークを活用した作業員のバイタル管理などの応用も検討していく考えである。



写真-5 A パターン制動確認



写真-6 B パターン制動確認



写真-7 C パターン制動確認

(2022.8.26 受付)

### BATTERIES FOR INCREASED PRODUCTIVITY AND SAFETY DEVELOPMENT OF AUTOMATIC LOCOMOTIVE DRIVING SYSTEM

Tomohiro KAWASAKI , Hidenori TANIZAKI ,  
Takatoshi HASHIMOTO and Tetsushi KAWASAKI

In recent years, as the length of shield tunnels has increased, there has been a demand for technological development that will lead to improved productivity through unmanned operations such as segment transportation and automated driving. In addition, there is a trend toward smaller tunnel cross-sections due to water supply and sewage bypasses, etc., so there is a need to improve safety when carrying materials in confined areas where it is not possible to secure shelter for underground workers. In response to this situation, we developed an automatic driving system that can be used in narrow shield tunnels.