

## 業績の概要

| 応募部門  | 業績題目                | 応募者名              |
|-------|---------------------|-------------------|
| 大賞部門  | 山岳トンネル自動火薬装填システムの開発 | 株式会社大林組<br>慶應義塾大学 |
| 業績の概要 |                     |                   |

山岳トンネル工事における火薬装填作業は、従来、作業員が切羽直下に立ち入り、装薬孔へ火薬を手作業で挿入する方法が一般的であった。しかし切羽は、節理の発達や湧水等に起因する岩塊落下の危険が常に伴う、極めて高リスクな作業環境である。また、この工程は熟練作業者の経験と技量に大きく依存しており、省人化や技能継承の観点からも課題を抱えていた。

これらの課題を解決するため、当社は切羽への立ち入りを不要とし、遠隔地から安全に火薬を装填できる「自動火薬装填システム」を開発した。本システムは、図-1に示すように切羽から離れた安全な場所に設置したオペレータ室と、大型重機に搭載した装填ロボットで構成される。特に、装填ロボットの接触感覚を操作するリモコンに体感的あるいは数値化して伝送する触覚技術の導入により、鋭敏な雷管を含む火薬でもロボットを用いて人と同等以上の繊細かつ安全な操作が可能となった。さらに、孔検知と自動誘導を組み合わせることで、遠隔操作から半自動・自動装填へと至る一連の自律化プロセスを確立している。

これまでに実施現場で遠隔装填試験、自動化機能の検証実施し、2025年度までに2現場で実際の発破作業を達成した。これにより、切羽に人が立ち入ることなく、1名で確実に火薬装填を行える体制を構築し、火薬装填作業の安全性向上と省人化を同時に達成したものである。

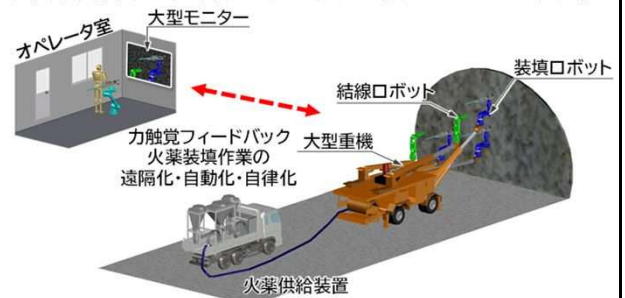


図-1 自動火薬装填システムの概要

### 業績の特徴

本システムの最大の特徴は、火薬装填工程に必要な遠隔・自動化技術を総合的に統合し、切羽無人化を実現した点である。遠隔操作・触覚伝送・自動誘導・火薬供給機構で一体化することで、作業員を危険区域から完全に隔離し、安全性を飛躍的に向上させた。本システムの構成技術は以下のとおりである。

#### ① リアルハプティクス技術

ロボットが切羽や装薬孔付近に接触した際の微細な負荷をオペレータへリアルタイムで伝送する技術である。過負荷時には自動停止する安全機能を備えており、繊細な角度調整や位置合わせといった熟練者の技能をロボットで再現できる。これにより、熟練者の技能の機械化・継承にも寄与している。

#### ② オペレータ室（切羽から離れた安全な場所での装填 実績：切羽から320m）

オペレータ室では、切羽映像モニターと専用リモコンを用いて装填ロボットを遠隔操作する。リアルハプティクスにより接触情報が伝わるため、過負荷を避けながら精密な位置合わせが可能となる。自動誘導時には触覚データを数値化して利用し、過負荷時は自動停止するなど安全性と操作性を両立している。



図-2 オペレータ室

#### ③ 装填ロボット

装填ロボットは、図-3に示すように、ロボットアーム、装填部、親ダイ供給装置、カメラにより構成される。

・ロボットアーム：ロボットアームは既存のマニピュレータを使って、独自で操作する。位置や動作ルートを設定でき、親ダイ供給装置と連携して確実に親ダイを受け取り、装填部へ供給する。

・親ダイ供給装置：ベルトコンベア上の親ダイを装薬孔毎に受け皿へ搬送し、ロボットが遠隔または自動で取り込む。

・装填部：直線動作が可能な装填パイプ・ホースで構成され、リアルハプティクス技術により、先端や外周の接触情報を伝送する。ホースの後端は爆薬供給装置と接続され、増ダイの供給も行う。

・カメラ：深度計測により孔形状と位置を把握し、装薬孔との角度調整後にロボットを装薬孔の中心へ自動誘導する。

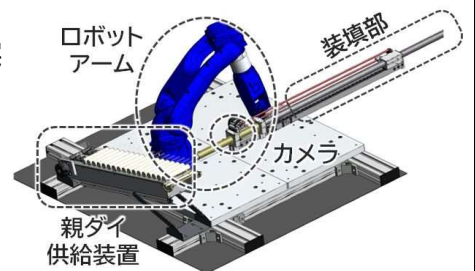


図-3 装填ロボット