# トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状

# 中間とりまとめ（案）

令和７年４月

トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術に関する技術検討委員会

2025/06/12　　一部落丁があったため修正しました。

2025/04/01　　初版発行

## はじめに

本中間とりまとめは、国土交通省 道路局が進める新技術導入促進計画の中の「トンネル発破作業における自動化･遠隔化技術」の成果をとりまとめたものである。本取組みは、令和４年３月の道路技術懇談会（座長　久田 真 東北大学教授）の審議を踏まえて決定した「令和４年度新技術導入促進計画」のテーマに位置付けられ進めてきた。

「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」の導入促進については、一般社団法人日本建設機械施工協会が新技術導入促進機関として選定され、技術公募をはじめとする各種検討を進めてきた。その際、トンネル自動化・遠隔化に関係する産学官の有識者からなる「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術に関する技術検討委員会」（委員長　砂金伸治　東京都立大学教授）を設置し、審議及び検討を行ってきた。同委員会の委員構成は以下の通りである。

トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術に関する技術検討委員会 名簿

| 区分 | 所　属 | 役　職 | 氏　名 |
|---|---|---|---|
| 委員長 | 東京都公立大学法人 東京都立大学<br>都市環境学部 都市基盤環境学科 | 教　授 | 砂金（いさご） 伸治（のぶはる） |
| 委　員 | 国立研究開発法人 産業技術総合研究所<br>エネルギー・環境領域 安全科学研究部門 爆発安全研究グループ | 上級主任<br>研究員 | 久保田（くぼた） 士郎（しろう） |
| 委　員 | 独立行政法人 労働者健康安全機構<br>労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ | 上席研究員 | 吉川（きっかわ） 直孝（なおたか） |
| 委　員 | 国土交通省 大臣官房　参事官（イノベーション）グループ<br>施工企画室 | 室　長 | 森川（もりかわ） 博邦（ひろくに） |
| 委　員 | 国土交通省 道路局 国道・技術課 技術企画グループ | 企画専門官 | 増（ます） 竜郎（たつろう） |
| 委　員<br>（前委員） | 国土交通省 中国地方整備局 道路部 | 道路情報<br>管理官 | 荒木（あらき） 勲（いさお）<br>（前田（まえた） 文雄（ふみお）） |
| 委　員<br>（前委員） | 国土交通省 国土技術政策総合研究所<br>道路構造物研究部 構造・基礎研究室 | 室　長 | 藤田（ふじた） 智弘（ともひろ）<br>（西田（にしだ） 秀明（ひであき）） |
| 委　員 | 国立研究開発法人 土木研究所<br>つくば中央研究所 道路技術研究グループ トンネルチーム | 上席研究員 | 日下（くさか） 敦（あつし） |
| 委　員 | 一般社団法人 日本建設業連合会 | 常務執行役 | 大野（おおの） 昌仁（まさひと） |
| 委　員 | 一般社団法人 日本トンネル専門工事業協会 技術情報委員会 | 委　員 | 森崎（もりさき） 達之助（たつのすけ） |
| 委　員 | 一般社団法人 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 | 所　長 | 真下（ましも） 英人（ひでと） |

（検討委員会には、経済産業省産業保安グループ、厚生労働省労働基準局がオブザーバーで参加された）

# 目　　次

第１章　背景と目的 ･･････････････････････････････････････････････････････････････1－1
１．１　背景 ･･････････････････････････････････････････････････････････････････1－1
１．２　目的 ･･････････････････････････････････････････････････････････････････1－4
１．３　用語の定義 ････････････････････････････････････････････････････････････1－4

第２章　取り扱う範囲 ･･････････････････････････････････････････････････････････2－1
２．１　対象とするトンネル作業 ････････････････････････････････････････････････2－1
２．２　トンネル発破作業の自動化・遠隔化の現状と展望 ･･････････････････････････2－2
２．３　トンネル施工全体の自動化の取組み ･･････････････････････････････････････2－3

第３章　技術情報のとりまとめ結果 ･･････････････････････････････････････････････3－1
３．１　対象技術 ･･････････････････････････････････････････････････････････････3－1
３．２　技術情報 ･･････････････････････････････････････････････････････････････3－2

第４章　更なる導入促進に向けた取組み ･･････････････････････････････････････････4－1
４．１　法令・基準類への対応 ･･････････････････････････････････････････････････4－1
４．２　今後の展望 ････････････････････････････････････････････････････････････4－4

# 第１章　背景と目的

## １．１　背景

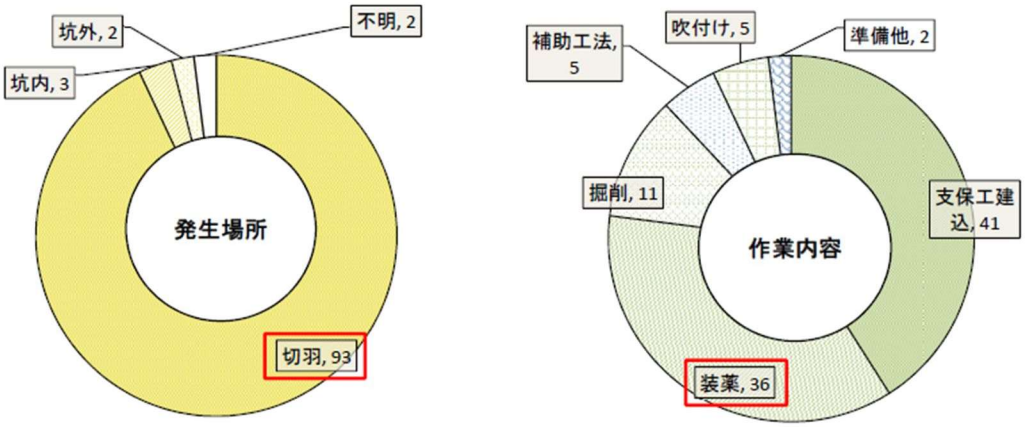
山岳トンネルの掘削は、一般に発破掘削と機械掘削に大別される。このうち発破掘削では、切羽鏡面の直近において爆薬の装填や結線等の人力作業が行われることが多い。この結果、切羽鏡面からの肌落ちにより作業員が被災しやすい状況にある。

図-1.1 はトンネル工事における肌落ち災害の発生状況を図示したものである。トンネル工事では爆薬の装薬や結線等の一連の発破作業以外にも、支保工建込み、吹付けコンクリート等の様々な作業があるが、そのうち肌落ちによる被災する割合が多い作業が支保工建込みと装薬であることが示されている。また肌落ち災害の発生場所としては、切羽周辺で発生することがほとんどであることが示されている。

また、作業員の経験や技量に頼るトンネル施工において、高齢者や熟練者の不足が進行している。図-1.2 は技能者等の推移および建設業就業者の高齢化の進行について図示したものである。建設業就業者は年々減少し（685 万人（H9）→492 万人（R2））、また、55 歳以上が約 36%、29 歳以下が約 12%と高齢化が進行し、次世代への技術継承が大きな課題となっている。

他方、建設分野全般では、i-Construction のように生産性向上を目指した取り組みが推進されている。トンネル分野においても同様に、生産性向上等を目的として切羽鏡面での人力作業を省略するために自動化・遠隔化の施工技術の開発が進められている。

図-1.3 は、トンネル施工の自動化・遠隔化技術の一例である。発破作業の自動化・遠隔化については、発破の作業内容が複雑であることに加え、爆薬が火薬類取締法の制約を受ける等から他の作業項目に比べて自動化・遠隔化の技術開発が遅れている。



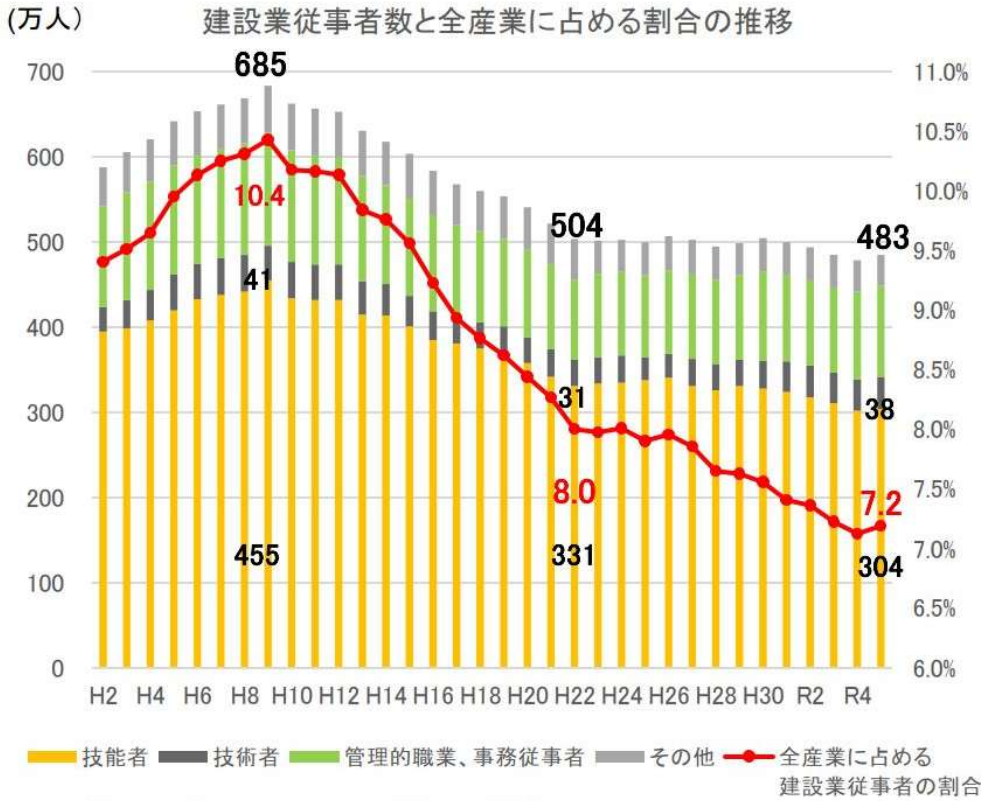

出典：厚生労働省「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン概要」より抜粋

図-1.1　トンネル工事における肌落ち災害の発生状況

（国土交通省　第５回道路技術懇談会資料より引用）

## 技能者等の推移

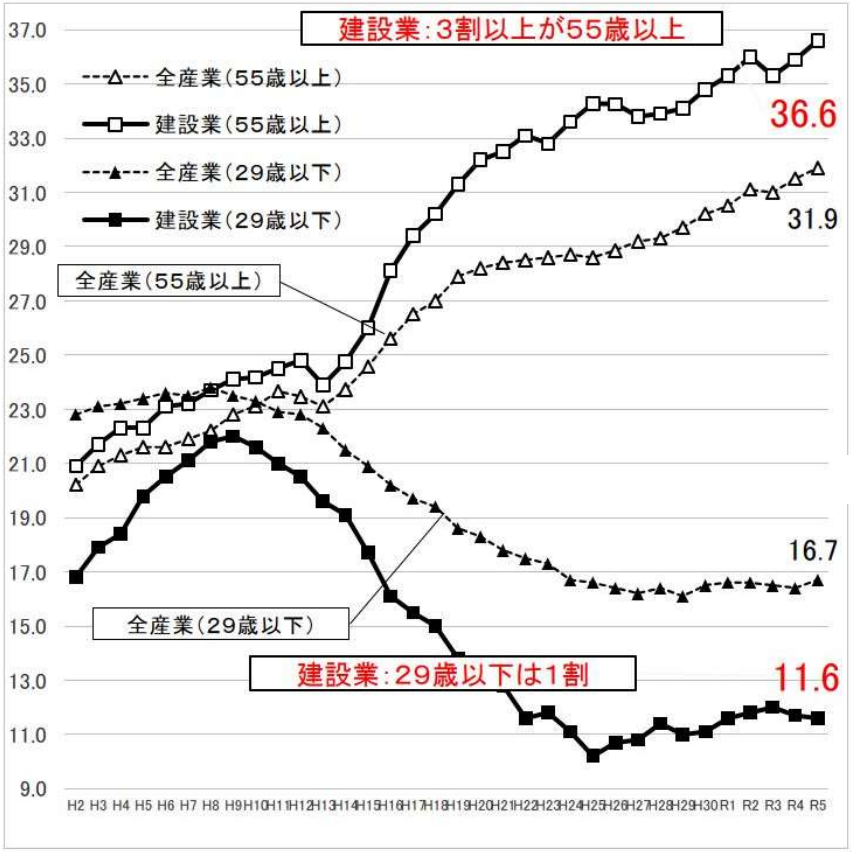
| | ＜就業者数ピーク＞ | | ＜建設投資ボトム＞ | | ＜最新＞ |
|---|---|---|---|---|---|
| ○建設業就業者： | 685万人（H9） | → | 504万人（H22） | → | 483万人（R5） |
| ○技術者　　： | 41万人（H9） | → | 31万人（H22） | → | 38万人（R5） |
| ○技能者　　： | 455万人（H9） | → | 331万人（H22） | → | 304万人（R5） |




出典：総務省「労働力調査」（暦年平均）を基に国土交通省で算出
（※平成23年データは、東日本大震災の影響により推計値）

## 建設業就業者の高齢化の進行

○ 建設業就業者は、55歳以上が36.6%、29歳以下が11.6%と高齢化が進行し、次世代への技術承継が大きな課題。
※実数ベースでは、建設業就業者数のうち令和4年と比較して55歳以上が5万人増加（29歳以下は増減なし）。




出典：総務省「労働力調査」を基に国土交通省で算出

図-1.2　技能者等の推移および建設業就業者の高齢化の進行

図-1.3　トンネル施工の自動化・遠隔化技術の一例

（国土交通省　第５回道路技術懇談会資料より引用）

## １．２　目的

前述の背景のもと、国土交通省ではトンネル発破作業の自動化・遠隔化技術を新技術導入促進のテーマとして設定し、当該技術の開発や導入促進を進めている。本中間とりまとめは、当該技術に関する情報を収集してとりまとめたものである。

本中間とりまとめにおける技術情報の整理結果は、技術概要票、カタログ、性能評価結果で構成される。また、各技術情報は公募により収集したものである。本中間とりまとめでは、技術の概要や詳細をとりまとめるとともに、技術概要票やカタログで整理するとともに、性能確認結果には各技術を導入することで期待される安全性や生産性の向上効果をとりまとめている。

本中間とりまとめによりトンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状把握が可能となり、これらの技術の利用が促進されるとともに、さらに高性能な発破作業の自動化・遠隔化等の技術開発を促すことが期待される。

## １．３　用語の定義

本中間とりまとめで使用する用語の定義を以下に示す。

- **実用段階技術**

  応募された技術のうち、既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術（実用化されているものの利活用がない、または少ない技術（新技術）も含む）

- **検証段階技術**

  応募された技術のうち、実用化はされていないが現場での試行が可能な技術（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

上記以外のトンネルに関する用語については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」（社団法人日本道路協会，平成 15 年 11 月）に従うことを基本とする。ただし、同一の内容を表す用語で、各技術の名称・解説に用いられるものと道路トンネル技術基準（構造編）・同解説で用語が異なる場合は、各技術の名称・解説に用いられる用語を優先する（例：穿孔と削孔、装填と装薬）。

# 第２章　取り扱う範囲

## ２．１　対象とするトンネル作業

本中間とりまとめではトンネル掘削・支保工の一連の作業のうち、図-2.1の赤枠で囲んだ削孔前鏡面確認～発破終了確認までの作業を対象とすることを基本とする。また、同図に示す作業以外でトンネル発破掘削に関係する作業を対象とした技術についても取り扱う。本とりまとめにおいて取り扱う技術には、直接的に自動化や遠隔化した技術ではなく、それらを補助するような技術もあるが、発破作業の安全性・生産性の向上が見込める技術もとりまとめの対象としている。

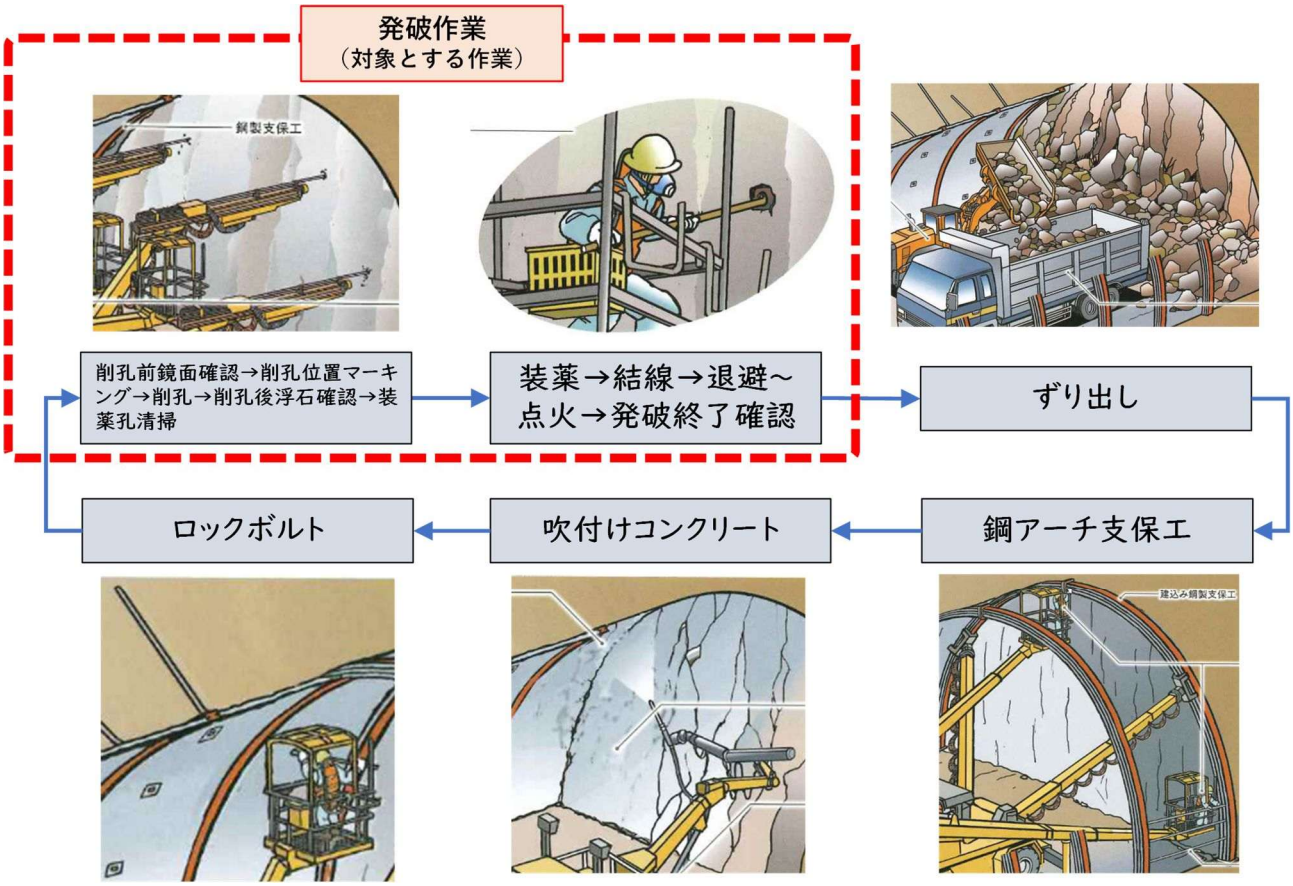



図-2.1　トンネル掘削・支保工作業のフローチャート

（イラスト：岩山仁（日本建設業連合会編『施工がわかるイラスト土木入門』彰国社より引用））

## ２．２　トンネル発破作業の自動化・遠隔化の現状と展望

トンネルの発破作業は切羽鏡面直近での作業が多いことから、肌落ちによる被災を軽減する方法には、切羽鏡面から離れて施工ができることが求められる。一方、生産性を向上させるために作業人員を軽減することも求められる。図-2.2 は発破自動化・遠隔化技術の導入と安全性・生産性の向上との関係をイメージしたものである。従来の施工法は切羽周辺での人力作業が中心であるが、作業の自動化や遠隔化により安全性が向上するとともに、省人化による生産性の向上等も期待される。

図-2.2　発破作業の自動化・遠隔化のロードマップ

## ２．３　トンネル施工全体の自動化の取組み

国土交通省ではトンネル施工の全自動化を目指し、関連業団体と連携しながら各種技術の開発の方向性や技術を導入するための枠組みについて検討を進めている。この取り組みにおいて、日本建設業団体連合会（日建連）の山岳トンネル自動化専門部会により、トンネル施工自動化のロードマップイメージが提案された。

そのロードマップイメージにおいては、トンネル施工の自動化を、Step0～Step3 まで４段階を設定し、それぞれのステップでの取り組みを以下のように示している。

STEP 0：熟練作業員の経験と技量（暗黙知）に依存した施工

STEP 1：熟練作業員の経験と技量に頼らない施工

STEP 2：省人化施工

STEP 3：自動化施工

図-2.3 にトンネル施工自動化のロードマップと発破自動化・遠隔化技術の関係を示す。図中左列の Step 0～Step 3 はトンネル施工全体を対象としたロードマップを示し、右列に各ステップに対応するトンネル発破の自動化・遠隔化技術を示している。トンネル施工全体を対象としたロードマップは自動化施工を主眼においているのに対し、発破自動化・遠隔化技術は安全性もしくは生産性の向上に主眼をおいているため、各ステップで目指す方向性と発破自動化・遠隔化技術の内容が必ずしも一致しないが、各技術の成熟度や国内での利用状況を踏まえるとおおむね同図のような関係が整理できると考えられる。

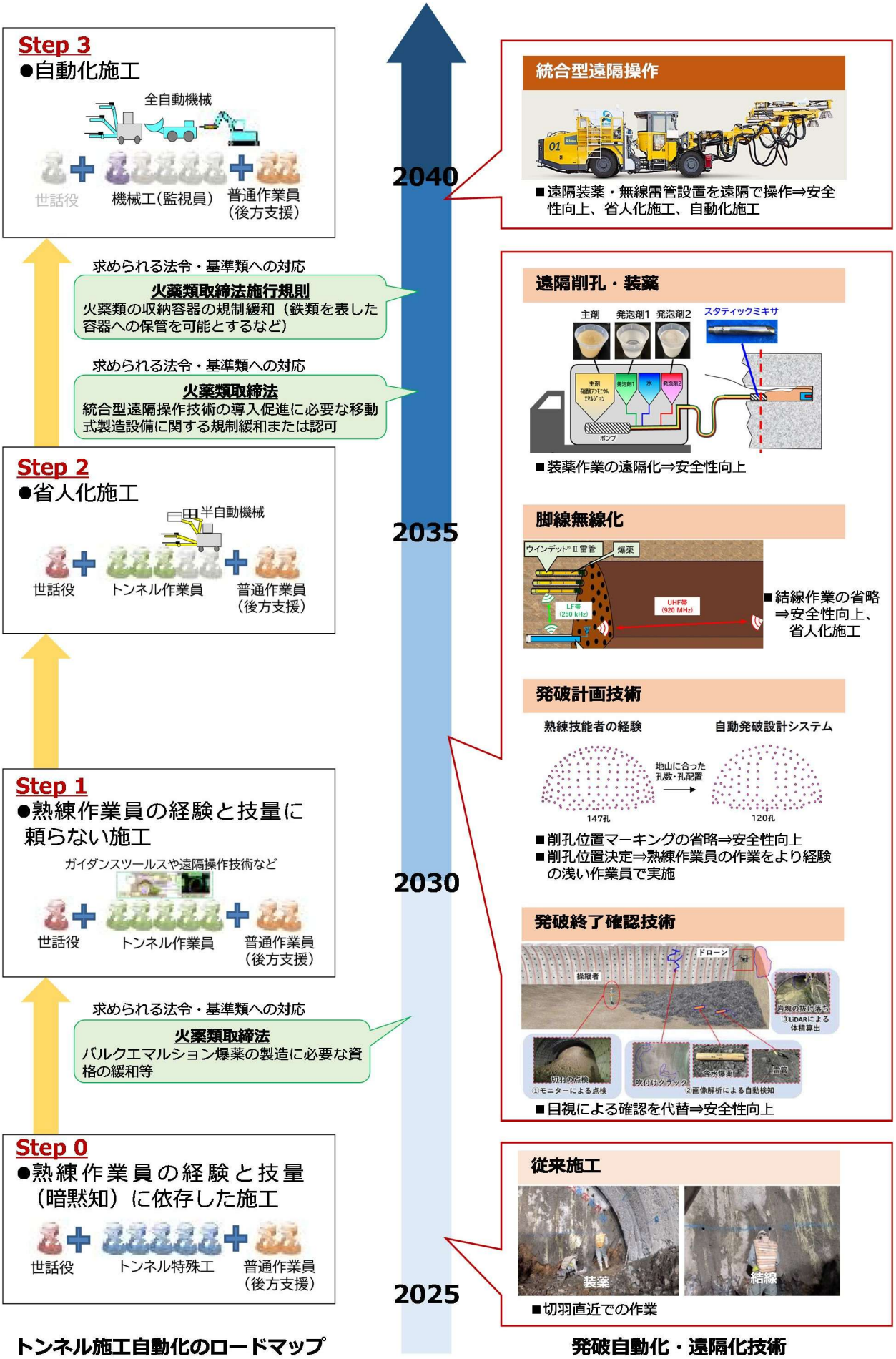



図-2.3　トンネル施工自動化のロードマップと発破自動化・遠隔化技術の関係

（日建連　山岳トンネル自動化専門部会作成資料より一部引用）

# 第３章　技術情報のとりまとめ結果

## ３．１　対象技術

本中間とりまとめに掲載する技術情報は公募により収集した。公募概要は以下の通りである。

公募技術：トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術

公募期間：令和 6 年 11 月 15 日(金)～令和 6 年 12 月 13 日(金)

応募書類：様式-1　技術概要書

様式-2　実績内訳書

様式-3　性能確認表

様式-4　適用性確認表

公募の結果、全 21 技術の応募があった。表-3.1 に応募された技術をカテゴリごとに分類して示す。

表-3.1　中間とりまとめ掲載技術

| カテゴリ | | | No. | 技術名 | 開発者 |
|---|---|---|---|---|---|
| 支援対象とする主な発破作業 | 作業内容等 | | | | |
| A 削孔位置マーキング | 1 発破計画 | | A1-1 | 最適発破設計システム | 鹿島建設 |
| | | | A1-2 | AIによるトンネル地山評価システム | 鴻池組 |
| | | | A1-3 | 発破パターン自動適正化システム | 佐藤工業 |
| | | | A1-4 | 発破パターン設計・シーケンス設計を自動かつ同時に実現する余掘り低減技術「ブラストマスタⅡ」 | 清水建設 |
| | 2 削孔位置誘導 | | A2-1 | ドリルNAVI | 鴻池組 |
| B 削孔 | 1 遠隔操作 | | B1-1 | ジャンボ遠隔化システム | 安藤・間 |
| | | | B1-2 | ドリルジャンボ遠隔操作システム「Tunnel RemOS-Jumbo」 | 西松建設 |
| C 装薬 | 1 坑内遠隔装薬 | a 紙巻爆薬 | C1a-1 | 爆薬の遠隔装填システム | 熊谷組 |
| | | | C1a-2 | SSS装填機を使用した遠隔装填システム | カヤク・ジャパン |
| | | | C1a-3 | 爆薬遠隔装填システム「セーフチャージャー®」 | ジャペックス |
| | | | C1a-4 | 爆薬装填装置「T-クイックショット」 | 大成建設 |
| | | b 粒状爆薬 | C1b-1 | ランデックス装填機を使用した遠隔装填システム | カヤク・ジャパン |
| | | | C1b-2 | ANFO装填機を使用した遠隔装填システム | カヤク・ジャパン |
| | | | C1b-3 | 爆薬遠隔装填システム「ＡＮＦＯ装填機」 | ジャペックス |
| | | c バルクエマルション | C1c-1 | バルクエマルション爆薬 | 戸田建設 |
| | | | C1c-2 | バルクエマルション爆薬装填 | 鹿島建設 |
| | 2 坑外遠隔装薬 | | C2-1 | 力触覚技術を応用した自動火薬装填システム | 大林組<br>慶應義塾大学 |
| D 結線 | 1 脚線無線化 | | D1-1 | 無線電子雷管「ウインデット®Ⅱシステム」 | 日油 |
| E 発破終了確認 | 1 画像・スキャン | | E1-1 | 発破後無人安全点検システム | 清水建設 |
| | | | E1-2 | 切羽掘削形状モニタリングシステム | 西松建設 |
| F 装薬・結線 | 1 統合型遠隔操作 | | F1-1 | Orica and Epiroc Avatel™ | Orica |

## ３．２　技術情報

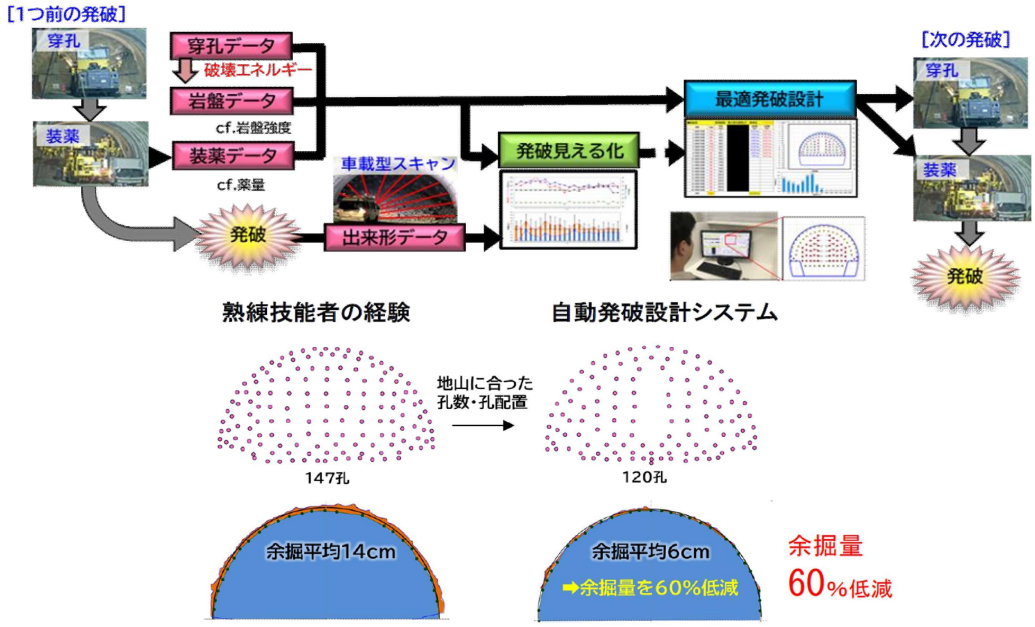
技術概要票、カタログ、性能確認結果で構成され、各技術情報は公募により収集したものである。本中間とりまとめでは、技術の概要や詳細を技術概要票やカタログで整理するとともに、性能確認結果には各技術を導入することで期待される安全性や生産性の向上効果をとりまとめている。

次頁以降にそれぞれのとりまとめ結果を示す。

# 技　術　概　要　票

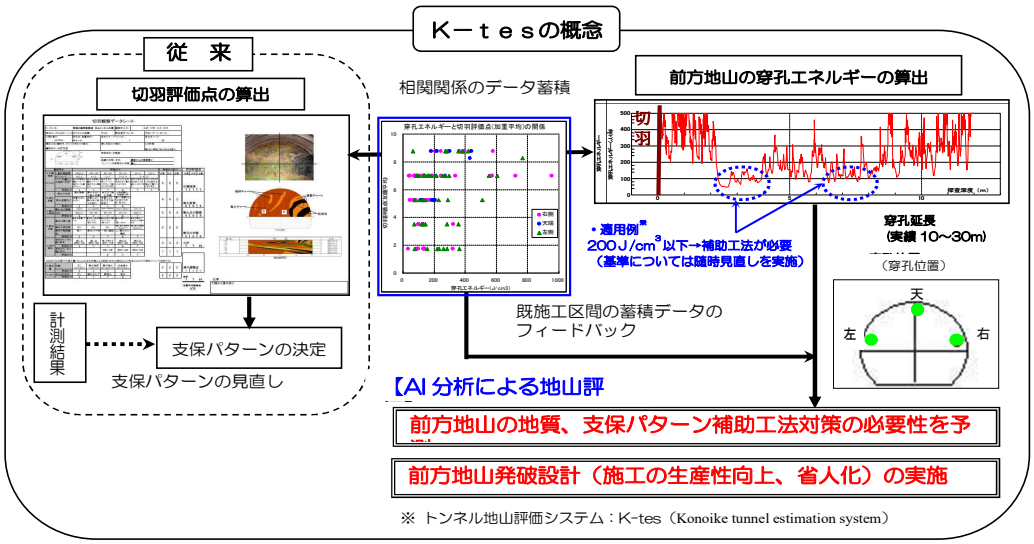
- 各技術の概要を個票に整理したもの。

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | A 削孔位置マーキング |
| | 作業内容等 | 1 発破計画 |
| 技術名 | | A1-1 最適発破設計システム |
| 開発者 | | 鹿島建設 |
| 技術概要 | | コンピュータジャンボの適用を基本とし、岩盤穿孔で得られるデータと理論解を基に孔配置を自動で設計するシステム。また岩盤データと発破後切羽形状データの一元化により岩盤硬さと余掘量のトレンド分析から余掘量低減及びその管理を行うシステム。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ① 穿孔データから理論解を基に最適な孔配置（孔数）を自動設計する。<br>② 穿孔データおよび発破後切羽形状のスキャンデータから岩盤硬さと余掘量の変遷を一元化する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・削孔において、従来技術より遠隔による作業が可能となる。 |
| | 生産性 | ・最適発破設計システムによる穿孔パターンをコンピュータジャンボにてフルオート穿孔することにより、複数の穿孔ブームを1名でオペレーションすることで省人化に寄与する。<br>・岩盤硬さの変化に応じて適切に孔配置（孔数）を見直すことにより穿孔のサイクルタイムを適正化し、生産性を向上する。 |
| その他の効果 | | ・発破後切羽形状を把握し余掘量を適切に管理することで、後続の施工ステップの生産性を向上する。（吹付量低減等） |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

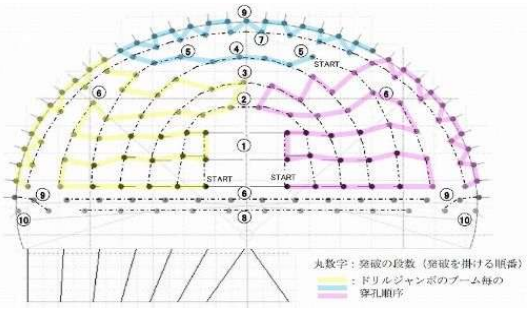
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | A 削孔位置マーキング |
| | 作業内容等 | 1 発破計画 |
| 技術名 | | A1-2 AIによるトンネル地山評価システム |
| 開発者 | | 鴻池組 |
| 技術概要 | | 切羽前方探査時の機械データを用いて穿孔エネルギーに基づきAI分析により支保パターンを予測する。事前に支保パターン毎に発破パターンを検討することで支保パターンに応じた発破が実施できる。<br>本システムでは、システム内に穿孔時のデータを蓄積することができ、予測値と実測値を統計的に処理することができる。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 検証段階技術 |
| 作業内容 | | ① 切羽前方地山の評価（支保パターン）をAIにより実施する。<br>② ①の結果から適切な発破パターンを検討する。<br>③ システム内に穿孔時のデータを蓄積する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・削孔位置マーキングにおいて、従来技術より遠隔による作業が可能となる。 |
| | 生産性 | ・弊社保有技術のドリルNAVIとの併用により、削孔位置は自動で決定されるため削孔位置マーキングの省人化が図れる。 |
| その他の効果 | | ・経験の少ない若手技術者（切羽担当者）の施工管理の補助ツールとして使用することで生産性の向上が図れる。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

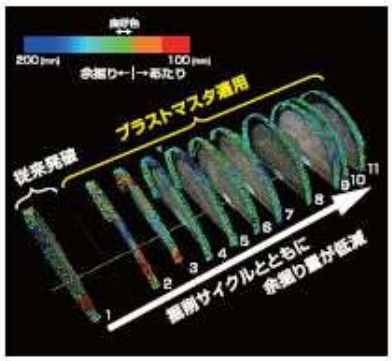
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | A 削孔位置マーキング |
| | 作業内容等 | 1 発破計画 |
| 技術名 | | A1-3 発破パターン自動適正化システム |
| 開発者 | | 佐藤工業 |
| 技術概要 | | 山岳トンネルにおいて発破掘削を行うためには地山状況に合った発破パターンが必要となる。本システムは全自動ドリルジャンボでの穿孔に伴い記録された穿孔エネルギーに基づき、地山状況に適した発破パターンを自動的に作成するものである。このシステムで作成した発破パターンを全自動ドリルジャンボに送って穿孔することにより、自動的に地山状況に合った発破を行うことが出来る。 |
| 外観 | |   |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ① 穿孔エネルギーの値から地山の硬軟を判断する。<br>② 地山に応じた最適な発破パターンを自動作成する。 |
| 生産性の効果 作業の安全性・ | 安全性 | ・穿孔位置マーキングの作業が不要となる。 |
| | 生産性 | ・穿孔作業における作業員の人数の削減、および火薬量、ずり出し量の削減。 |
| その他の効果 | | ・地山状況に適した発破パターンを適用することで過装薬、弱装薬を防げる。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

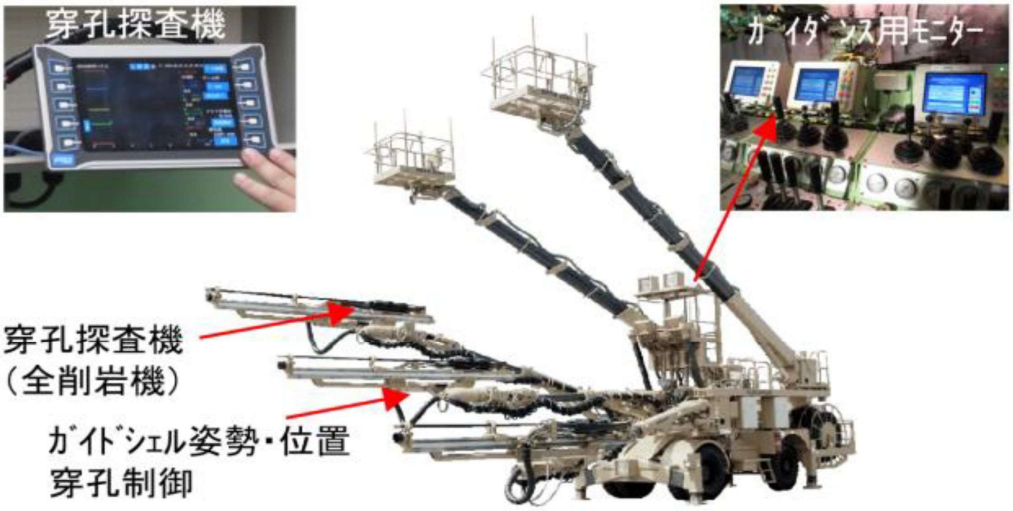
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | A 削孔位置マーキング |
| | 作業内容等 | 1 発破計画 |
| 技術名 | | A1-4 発破パターン設計・シーケンス設計を自動かつ同時に実現する余掘り低減技術「ブラストマスタⅡ」 |
| 開発者 | | 清水建設 |
| 技術概要 | | 本技術はコンピュータジャンボ（フルオート/セミオート）で測定された穿孔エネルギーを基に、地山の性状に合わせた発破パターンを自動で設計するとともに、シーケンス（穿孔順序）を自動で設計する。あわせて、3Dスキャナで測定した余掘り量を基に、余掘りを低減できる最適な最外周孔差し角を自動算出する。これらの情報を統合しコンピュータジャンボに転送（自動）することで、熟練技能者の技量に頼ることなく、余掘りを低減することが可能となる。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ① 穿孔エネルギーを基に地山の性状に合わせた最適な発破パターン・選好順序をを自動で設計する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・削孔位置マーキングの作業が不要となる。<br>・最外周孔の差し角を制御し余掘量を低減することで、トンネル空洞の安定性に寄与し、安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・発破パターンを自動作成することで、孔数の制御（延いては装薬量の制御）が可能となり生産性が向上する。<br>・シーケンスの自動設計を行うことで、ジャンボブーム操作を最短距離で行うことができる。結果として，削孔作業時間の短縮に貢献できるため、生産性が向上する。 |
| その他の効果 | | — |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

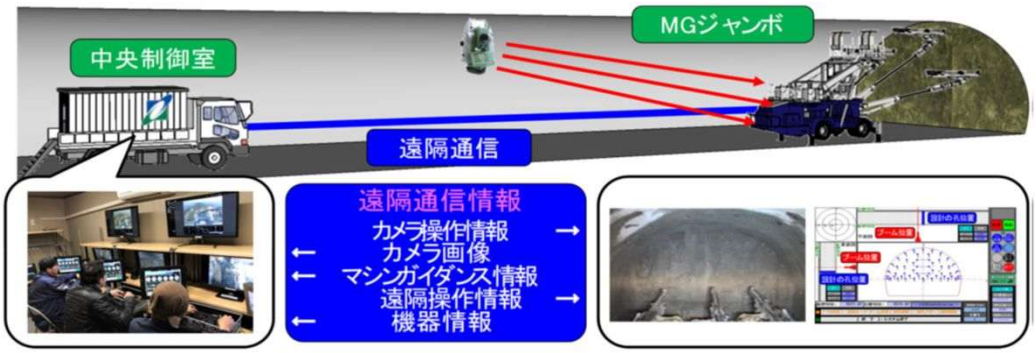
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | A 削孔位置マーキング |
| | 作業内容等 | 2 削孔位置誘導 |
| 技術名 | | A2-1 ドリルNAVI |
| 開発者 | | 鴻池組 |
| 技術概要 | | ジャンボのブームに位置検知用センサーを搭載し、３本のブーム全てに穿孔探査機能を搭載することで、切羽全断面の穿孔誘導と、日々の穿孔時における地山性状の把握が可能となる。これらにより、長孔発破などの穿孔を高精度で行い、余掘りを最小限に抑えることができる。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ① 発破パターンから穿孔位置、角度を誘導し、正確に発破孔を穿孔する。 |
| 生産性の効果 作業の安全性・ | 安全性 | ・穿孔誘導機能により、発破孔のマーキングを省略でき、切羽に立ち入る時間を減少できる。<br>・マーキング作業のために切羽に立ち入ることが必要なくなるため、肌落ち等に対する作業時の安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・削孔前鏡面確認及び削孔位置マーキングにおいて、作業人員が不要となる。<br>・余掘り、あたりを防止して、生産性を向上することができる。 |
| その他の効果 | | － |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | B 削孔 |
| | 作業内容等 | 1 遠隔操作 |
| 技術名 | | B1-1 ジャンボ遠隔化システム |
| 開発者 | | 安藤・間 |
| 技術概要 | | トンネル坑内に設置した中央制御室と、切羽正面に配置したドリルジャンボを通信ケーブルで接続し、遠隔で穿孔作業を行う。ドリルジャンボの施工データは中央制御室に集約され、オペレータはドリルジャンボに設置したカメラ画像とドリルジャンボのマシンガイダンス情報に基づいてドリルジャンボを操作する。中央制御室は空調設備等を備えており、劣悪な坑内環境から解放された場所で作業を行うことができる。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ① 施工データを中央制御室で一元管理し、それを見ながらドリルジャンボを遠隔で操作する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・通常よりも離れた位置での削孔作業が可能となり、安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・削孔位置マーキングの作業が不要となる。<br>・削孔において、従来技術より作業人員の削減が可能となる。 |
| その他の効果 | | ・装薬孔の穿孔位置や掘削出来形、地山情報といった、通常のドリルジャンボの操作席では把握できない情報を中央制御室内で確認しながら作業できる。このため、従来は熟練工の経験や勘に依存していた機械操作における判断材料を、経験の浅い坑夫でも視覚的に確認できるようになり、熟練工と同程度の作業時間で穿孔することができる。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | B 削孔 |
| | 作業内容等 | 1 遠隔操作 |
| 技術名 | | B1-2 ドリルジャンボ遠隔操作システム「Tunnel RemOS-Jumbo」 |
| 開発者 | | 西松建設 |
| 技術概要 | | 本技術は、爆薬装薬のための削孔やロックボルト工等の多くの作業で用いられるドリルジャンボの遠隔操作システムである。切羽から離れた遠隔操作室にて地山性状のリアルタイム評価（リアルタイム3D地山評価システム）や切羽の高精細映像の取得（4K高精細映像無線伝送システム）といった要素技術を活用しながら無線遠隔操作を行う。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ① ドリルジャンボの走行、ブームの操作や削孔、マンケージの操作等を、切羽から離れた遠隔操作室から無線遠隔操作する。 |
| 生産性の効果 作業の安全性・ | 安全性 | ・ドリルジャンボを切羽から離れた場所で操縦することができるため、切羽への立入りが無くなり肌落ち災害を防ぐことができる。 |
| | 生産性 | ・３機あるブームを遠隔操作室から１名で削孔作業を行うことができる。（従来は、３機のブームを２～３名で操作。）<br>・予め、設定した削孔位置を自動で削孔することもできる。 |
| その他の効果 | | ・削孔時の油圧や速度等のデータを基に削孔したその場で周辺地山の性状を定量的かつ自動的に3次元評価できるため、切羽の安定性をリアルタイムに把握することができる。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | ・現時点では重機を遠隔で操縦する場合の法整備が必要と考える。例えば、重機の周囲何mを立入禁止とするかや、立入禁止措置の具体的手法、資格要件等が考えられる。<br>・将来的に通信インフラがより発展すれば、超遠隔地からの操縦も可能となり、能力の高い操縦者が複数現場を担当して施工サイクルを短縮できることが見込まれる。そのためには、複数現場の兼務を認めるために法改正が必要である。 |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | a 紙巻爆薬 |
| 技術名 | | C1a-1 爆薬の遠隔装填システム |
| 開発者 | | 熊谷組 |
| 技術概要 | | 山岳トンネル工事の発破掘削方式における爆薬（紙巻の含水爆薬）の装填作業を、切羽から離れた場所から自動化された機械装填システムにて行う。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・作業員が装薬作業を切羽に密着せずに行えるように、切羽より1～2m程度離れた位置から、親ダイを取り付けた装填用パイプを発破孔に挿入し、手元のリモコンによる操作により、後方の装填装置から爆薬（増ダイ）と込め物をエアーで搬送して、爆薬を遠隔で機械装填する。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・切羽から離れて爆薬の装填作業が可能となったことによる安全性の向上。 |
| | 生産性 | ・爆薬の機械装填により、従来の人力装填より装薬作業の効率が向上。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

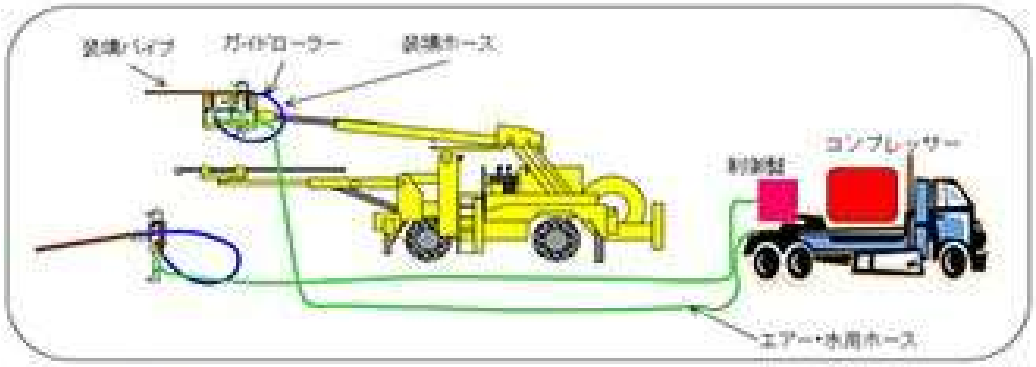
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | a 紙巻爆薬 |
| 技術名 | | C1a-2 SSS装填機を使用した遠隔装填システム |
| 開発者 | | カヤク・ジャパン |
| 技術概要 | | 切羽より1～2m程度離れての親ダイ、増しダイを遠隔で装薬が可能となる装填機。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・親ダイと増ダイを切羽から1～2m程度離れて装薬。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・親ダイと増ダイを切羽から1～2m程度離れて装薬ができる。落石から安全性を目的とした装填システム。 |
| | 生産性 | ・結線において、従来技術と比べ、作業人員及び作業時間は同程度である。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

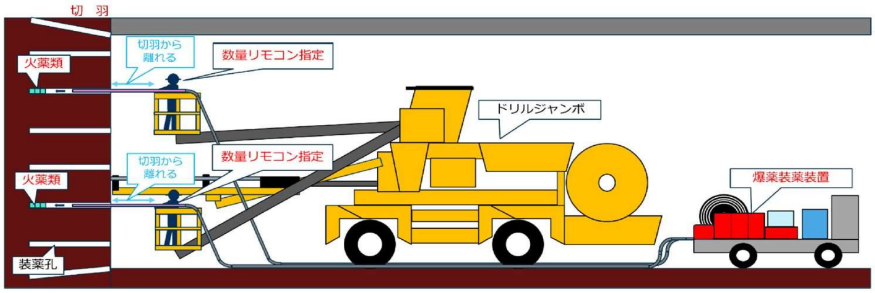
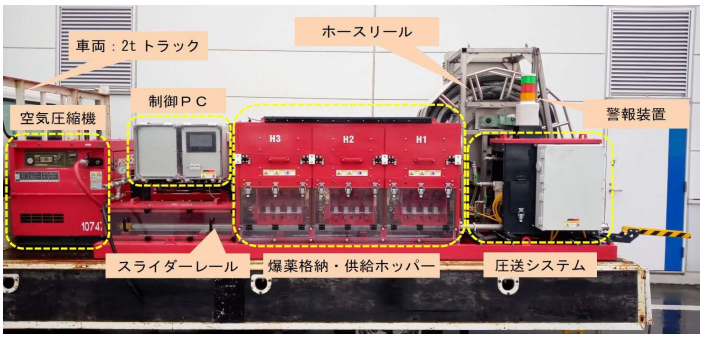
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | a 紙巻爆薬 |
| 技術名 | | C1a-3 爆薬遠隔装填システム「セーフチャージャー®」 |
| 開発者 | | ジャペックス |
| 技術概要 | | 「セーフチャージャー®」は、爆薬の装填作業時の安全性確保を目的とし、従来から山岳トンネル工事の発破掘削に使用される紙包装品（カートリッジ）の含水爆薬を、切羽より1～2m程度離れた位置から遠隔装填することを可能としたシステム。<br>本システムは鹿島建設株式会社と日油株式会社が共同開発したもので、株式会社ジャペックスが実施。<br>※セーフチャージャーは鹿島建設株式会社および日油株式会社の登録商標である。 |
| 外観 | |  <br>システム概要図 |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・装填パイプと装填ホースの組合せにより切羽から1～2m程度離れて遠隔装填作業。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・装填パイプと装填ホースの組合せにより切羽から1～2m程度離れて遠隔装填作業が可能。 |
| | 生産性 | ・装薬において、従来技術と比べ、作業人員及び作業時間は同程度である。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | a 紙巻爆薬 |
| 技術名 | | C1a-4 爆薬装填装置「T-クイックショット」 |
| 開発者 | | 大成建設 |
| 技術概要 | | 紙巻含水爆薬を圧縮空気にて装填する装置<br>装填パイプの先端に親ダイを装着し、機械から供給された増しダイとともに切羽から離れて装填する。 |
| 外観 | |   |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・切羽より1m以上離れた位置から紙巻含水爆薬を装填する。ホッパーに格納した増ダイを機械から空気圧送することにより、手込と比較して高速で装填する。また、密装填ができ、込物が省略可能である。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・切羽より1m以上離れた位置から装填でき、安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・増ダイを高速装填することにより、装薬作業時間を短縮することが可能となり、生産性が向上する。 |
| その他の効果 | | ・密装填により発破効率が向上する。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | b 粒状爆薬 |
| 技術名 | | C1b-1 ランデックス装填機を使用した遠隔装填システム |
| 開発者 | | カヤク・ジャパン |
| 技術概要 | | 切羽より1～2m程度離れての遠隔操作により、周囲の状況を確認しながら装薬が可能。<br>導火管付き雷管を使用することにより、切羽の密着時間の短縮。<br>密装填により爆薬の威力を高め、孔数が削減による切羽の密着時間の短縮。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・主に増ダイを遠隔で装薬する。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・切羽から1～2m程度離れて装薬でき、結線が容易な導火管付き雷管を使用することで切羽の密着時間の短縮。 |
| | 生産性 | ・装薬及び結線において、従来技術より作業時間の削減が可能となる。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | b 粒状爆薬 |
| 技術名 | | C1b-2 ANFO装填機を使用した遠隔装填システム |
| 開発者 | | カヤク・ジャパン |
| 技術概要 | | 切羽より1～2m程度離れての遠隔操作により、周囲の状況を確認しながら装薬が可能。<br>導火管付き雷管を使用することにより、切羽の密着時間の短縮。<br>密装填により爆薬の威力を高め、孔数が削減による切羽の密着時間の短縮。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・主に増ダイを遠隔で装薬する。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・切羽から1～2m程度離れて装薬でき、結線が容易な導火管付き雷管を使用することで切羽の密着時間の短縮。 |
| | 生産性 | ・装薬及び結線において、従来技術より作業時間の削減が可能となる。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

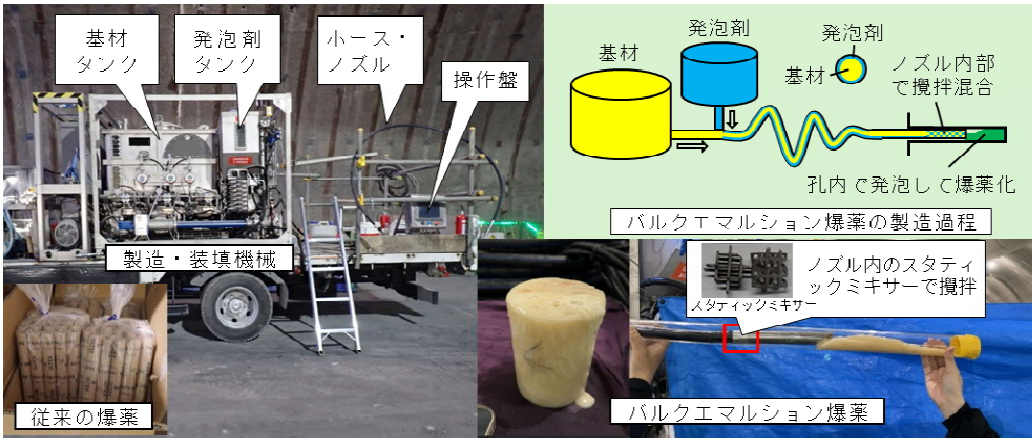
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | b 粒状爆薬 |
| 技術名 | | C1b-3 爆薬遠隔装填システム「ＡＮＦＯ装填機」 |
| 開発者 | | ジャペックス |
| 技術概要 | | 「ＡＮＦＯ装填機」は、硝酸アンモニウム爆薬（ＡＮＦＯ爆薬）を、山岳トンネル工事の発破掘削の切羽より1～2m程度離れた位置から遠隔装填することを可能としたシステム。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・装填ホースを使用して切羽から1～2m程度離れて遠隔装填する。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・装填ホースを使用して切羽から1～2m程度離れて遠隔装填することによる安全性の向上。 |
| | 生産性 | ・装薬において、従来技術より作業人員の削減が可能となる。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

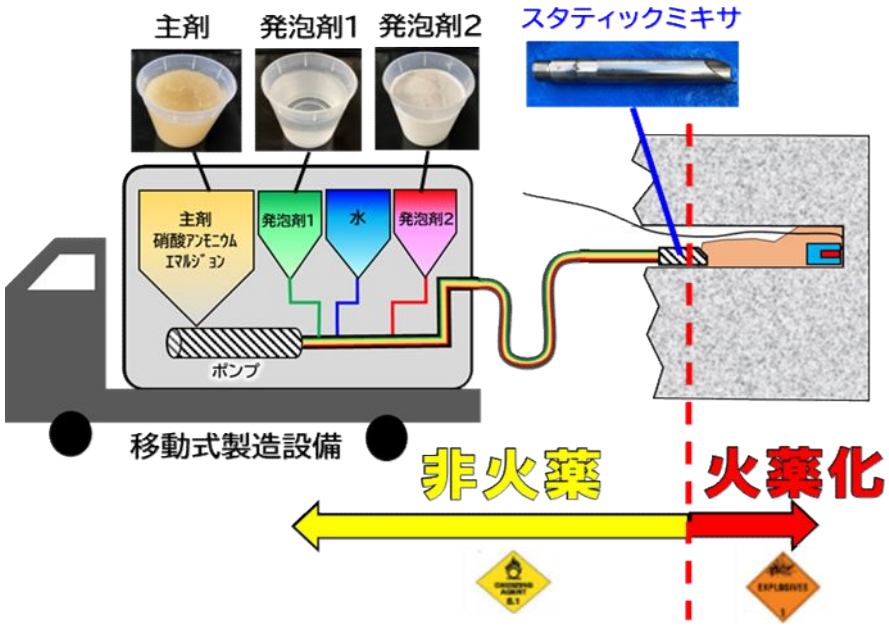
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | c バルクエマルション |
| 技術名 | | C1c-1 バルクエマルション爆薬 |
| 開発者 | | 戸田建設 |
| 技術概要 | | バルクエマルション爆薬は移動式の製造・装填機械にて、非爆薬の基材と発泡剤を現場で混合して製造できるマヨネーズ状の爆薬である。当該爆薬はホースと長いノズルを用いて切羽から従来よりも離れた位置で、爆薬量を10g単位で調整して密に短時間で装填できる。ノズル内で混合するまでは非爆薬であり、誤爆の危険性がなく、自動化機械での取り扱いに向いている。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・本技術は専用の製造・装填機械で基材と発泡剤をホースで送り、ホース先端に取付けたノズル内部で撹拌して爆薬を製造し、ホース先端から吐出して装填する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・ホースと長いノズルを使用することにより、切羽から離れた場所から安全に装填することが可能になる。 |
| | 生産性 | ・爆薬の装填時間を短縮できる。 |
| その他の効果 | | ・ノズル内部で撹拌混合するまでは非爆薬であり、誤爆の危険性がない。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | ・火薬類取締法について、火薬類製造保安責任者資格が難関資格であるため、当該爆薬だけに特化した取得し易い資格の設定等が望まれる。<br>・当該爆薬のトンネル現場での製造に特化した簡易な製造許可も望まれる。 |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 1 坑内遠隔装填 |
| | | c バルクエマルション |
| 技術名 | | C1c-2 バルクエマルション爆薬装填 |
| 開発者 | | 鹿島建設 |
| 技術概要 | | バルクエマルションは従来の爆薬とは異なり、装填機および装填ホース内では"危険物"であり、ホース先端のミキサを通して混ざることにより装薬孔内で初めて爆薬化する爆薬である。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・装填機およびホース内では複数の"危険物"の状態で、ホース先端で混合されることで初めて爆薬化する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・ホースと先端パイプによる孔装填（専用リールを使うことでホース押出/引抜は機械コントロール）となることで、通常の人による装薬作業よりも作業員が切羽から離れた位置での装薬作業が可能となり、安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・装薬において、従来技術より作業人員の削減が可能となる。 |
| その他の効果 | | ・装填機、装填ホース・パイプ内は、非火薬状態であり、孔内で初めて火薬化することから、誤爆の可能性が従来作業に比べ低減し、安全性が向上する。<br>・マヨネーズ状のため装薬の際、孔に満管　または　孔面積の○%（ストリングローディング）といった薬量調整が可能。それにより外周孔などでデカップリングによる起砕効果の調整を可能とする。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | ・バルクエマルション爆薬の使用→火薬取締法の当該条項について現場適用の実状にあった改正が望まれる。 |

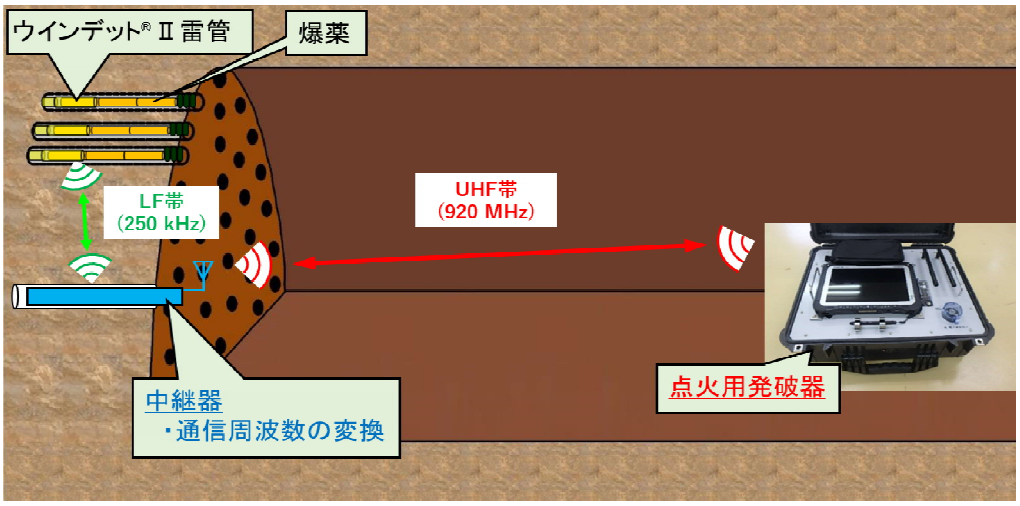
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | C 装薬 |
| | 作業内容等 | 2 坑外遠隔装填 |
| 技術名 | | C2-1 力触覚技術を応用した自動火薬装填システム |
| 開発者 | | 大林組　慶應義塾 |
| 技術概要 | | 本技術は、リアルハプティク技術により接触情報が双方向に伝わる装填ロボットを重機等に搭載し、切羽から離れた場所からリモコンロボットを操作し火薬の装填を行うものである。その遠隔操作時のデータを活用することで装填作業の自動化ができる。また、カメラによる孔検知とロボットの自動誘導による装填作業の自律化もできる。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 検証段階技術 |
| 作業内容 | | ①切羽側に装填ロボットと切羽から離れてリモコンロボットを配置する。両者は有線で接続し、リアルハプティクス技術により双方向に瞬時に力触覚の伝送が可能である。<br>②その力触覚の伝送より、リモコンロボットの操作であたかも切羽で装填しているかのように作業ができる。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・切羽に立ち入らず火薬を装填する遠隔化機能により安全性を向上できる。 |
| | 生産性 | ・記録した作業の再現による自動化機能により生産性を向上できる。<br>・カメラ等による孔検知技術との連動により、自律化機能により生産性を向上できる。 |
| その他の効果 | | ・孔荒れ時も力触覚機能により、過度な負荷をかけずに、親ダイを孔尻まで装填できるため、暴発を防ぐことができる。<br>・過度な負荷がかかった時の安全装置により、装薬の安全性を確保できる。<br>・火薬装填の力加減を常に伝送する力触覚機能により安全性を向上できる。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | ・改正が望まれる法令：火取表施行規則　51条1項「火薬類を収納する容器は、、、、、、内面に鉄類を表さないこと。」 |

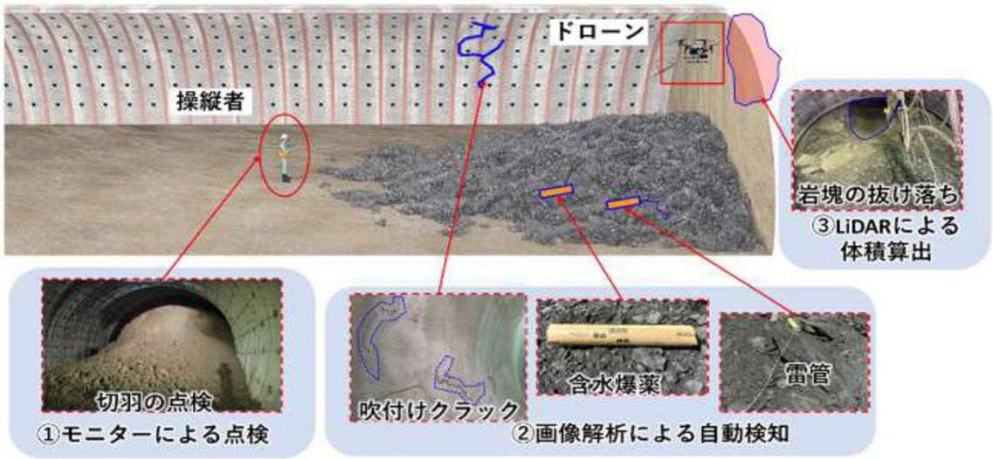
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | D 結線 |
| | 作業内容等 | 1 脚線無線化 |
| 技術名 | | D1-1 無線電子雷管「ウインデット®Ⅱシステム」 |
| 開発者 | | 日油 |
| 技術概要 | | 起爆に必要なエネルギーの供給と点火指令を無線方式で行うことで、結線作業が不要になり、切羽に接近した作業を排除できる。同時に、装薬作業における雷管脚線の取扱いが不要になり、脚線の損傷による不発を防止する。<br>※ウインデットは日油株式会社の登録商標 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 検証段階技術 |
| 作業内容 | | ・無線化した電子雷管により、切羽での結線作業を排除する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・無線通信によって従来の有線式雷管の配線を無くし、落石の危険のある切羽周囲での結線作業を不要にすることで、発破作業の安全性を向上させる。 |
| | 生産性 | ・従来技術で必要となる結線作業を不要化することで、同作業に要する時間を省略することができると共に、爆薬装填機の完全機械化が可能となるため、省人化（自動化）が促進される。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

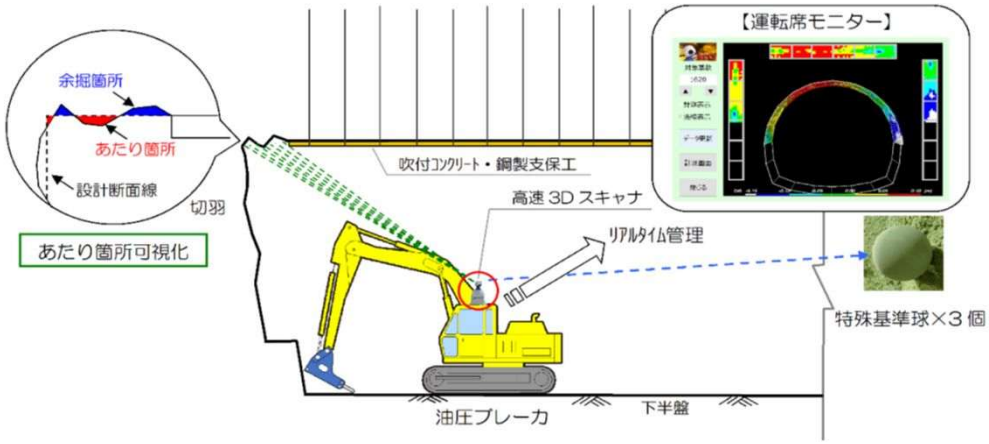
※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | E 発破終了確認 |
| | 作業内容等 | 1 画像・スキャン |
| 技術名 | | E1-1 発破後無人安全点検システム |
| 開発者 | | 清水建設 |
| 技術概要 | | 本技術は、ドローンに高精細カメラ2 台とLiDAR、AIを搭載している。高精細カメラにより、発破後の切羽の状況や残留火薬・吹付けコンクリートに生じるクラックの有無をリアルタイムに判定し、LiDAR により切羽近傍の点群データを測定し掘削面の抜け落ちを判定する。これらにより、発破後に人が切羽に立入ることなく、掘削面や不発残留火薬の点検・確認を実施できる。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・発破後の掘削面や不発残留火薬，抜け落ち量等の点検・確認ができる。<br>・点検・確認作業を機械化できる。<br>・高精度に吹付け面のクラックや抜け落ち量を算出できる。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・切羽に人が立ち入ることなく，発破後の点検・確認作業が行えるため，安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・点検・確認作業を従来の人から機械化することで，省人化につながり，生産性が向上する。 |
| その他の効果 | | ― |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | E 発破終了確認 |
| | 作業内容等 | 1 画像・スキャン |
| 技術名 | | E1-2 切羽掘削形状モニタリングシステム |
| 開発者 | | 西松建設 |
| 技術概要 | | 発破完了後の切羽において掘削作業を行う重機に搭載した高速3Dスキャナで切羽の掘削形状を計測し、余掘り、アタリを重機キャビン内のモニタにヒートマップ表示させることで、切羽に作業員が立入ることなく掘削の過不足（余掘り、あたり）の把握が可能である。また、本システムで取得した余掘り、あたり量を基に削孔位置、孔数、装薬量等の見直しを常時行うことで発破パターンに応じた削孔作業が可能となる。 |
| 外観 | |  |
| 技術区分※ | | 実用段階技術 |
| 作業内容 | | ・スキャナ計測（±30～50mm精度）であたり必要箇所を定量可視化する。 |
| 生産性の効果・作業の安全性 | 安全性 | ・従来、発破完了後の切羽掘削の過不足（余掘り、あたり）の確認は作業員が切羽直下に立入り目視にて行い、レーザーポインター等で重機オペレータに指示を出していたため、切羽の肌落ち、崩落による被災、重機との接触等の労働災害が発生しやすい作業であった。しかし、本技術により重機の運転席モニターで掘削の過不足が可視化されるため、切羽直下に立入って目視確認する必要が無くなるため、安全性が向上する。 |
| | 生産性 | ・余掘り・あたり確認において、作業人員が不要となる。 |
| その他の効果 | | ・油圧ショベルのキャビン上に搭載した高速3Dスキャナで切羽掘削形状を3次元データで取得し、設計断面と比較することであたり箇所を定量的に可視化することができるため、発破パターンの見直しが可能となり、削孔位置、孔数、装薬量など常時修正することで発破作業の生産性が向上する。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | なし |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

## 「トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術」技術概要票

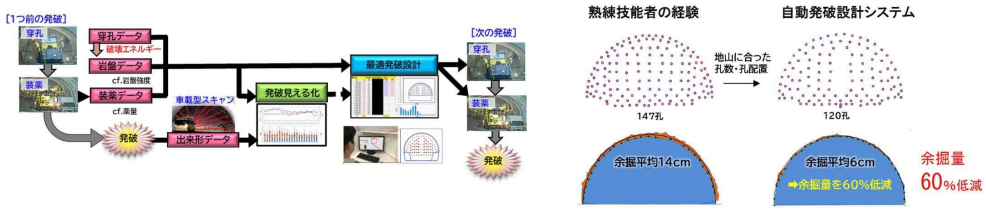
| | | |
|---|---|---|
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | F 装薬・結線 |
| | 作業内容等 | 1 統合型遠隔操作 |
| 技術名 | | F1-1 Orica and Epiroc Avatel™ |
| 開発者 | | Orica |
| 技術概要 | | 地下鉱山の横坑および建設トンネル用途向けに設計された、無線、半自動爆薬充填機。オペレーターが密閉キャビン内から爆薬の準備、雷管の装填、爆薬の充填を行います。本機はエピロックのM2ブーマー構成に基づいており、既存の機械と共通のハードウェアを使用している。Avatelには無線雷管WebGen™や、オリカのバルク硝酸アンモニウム乳剤、バルク乳剤供給システムを使用した爆薬エネルギーの自動制御など搭載されている。 |
| 外観 | | |
| 技術区分※ | | 検証段階技術 |
| 作業内容 | | ・手作業での装薬作業が不要になり、トンネル切羽から5m以上離れた安全なキャビン操作室から、1人のオペレーター操作者が装薬作業の全工程を実行できる。 |
| 作業の安全性・生産性の効果 | 安全性 | ・トンネル切羽から5m以上離れた安全なキャビン内から遠隔操作する事で、トンネル切羽での作業者の危険作業を防ぎ、安全性を向上させる。<br>・無線雷管＋バルクエマルション爆薬に対応しており、結線作業が不要。 |
| | 生産性 | ・雷管の接続・圧送、装薬孔の清掃・装填を自動制御して、同一品質の装薬を繰り返し再現します。<br>・コンピュータジャンボの削孔座標との互換性により、自動装薬機Avatelのブーム操作のナビゲーションにかかる負担・時間を短縮できる。<br>・装薬作業にはオペレーター1人しか必要とせず、作業員・作業時間を削減します。 |
| その他の効果 | | ・孔フラッシング、バルクエマルション爆薬の注入はオート自動で実行される為、操作者の負担を軽減できる（操作ミスも軽減）。<br>・Avatel搭載の装置で接続・エンコードされた無線雷管WebGenが、数百メートル離れた場所からの遠隔起爆を可能にします。<br>・バルク硝酸アンモニウム乳剤(ANE)は、装填量(爆薬エネルギー)を孔毎に制御できる「ストリング装填」が可能である。 |
| 各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容 | | ・自動装薬機Avatelは、火薬の移動式製造設備に該当する。<br>・現行法では、無線雷管「WebGen」とブースター「Pentex」の接続、バルクエマルション主剤との混合が火薬製造に該当する。<br>・火薬類取締法「第7条 許可の基準」「第9条 製造施設及び製造方法」「第15条 完成検査」に適合する構造・設備かの認可が必要。<br>・火薬類取締法「第30条 保安責任者及び副保安責任者」に適合する「火薬類製造保安責任者」の有資格者にしか自動装薬機Avatelの操作コンソール「LoadPlus」を操作できない。 |

※ 技術区分：実用段階技術・・・既に実用化されており現場での活用促進が望まれる技術
（実用化されているものの利活用がないまたは少ない技術（新技術）も含む）
検証段階技術・・・実用化はされていないが現場での試行が可能な技術
（現場での使用にあたり法令の改正等が必要な技術も含む）

# カ　タ　ロ　グ

- 各技術の詳細をカタログ形式に整理したもの。

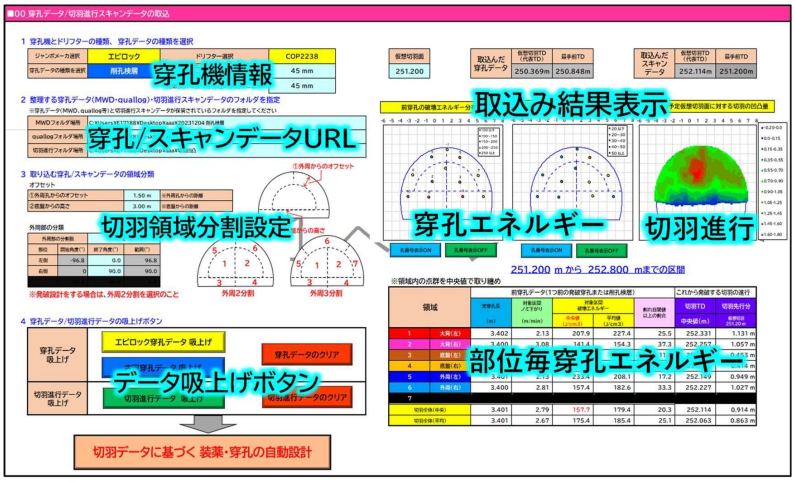
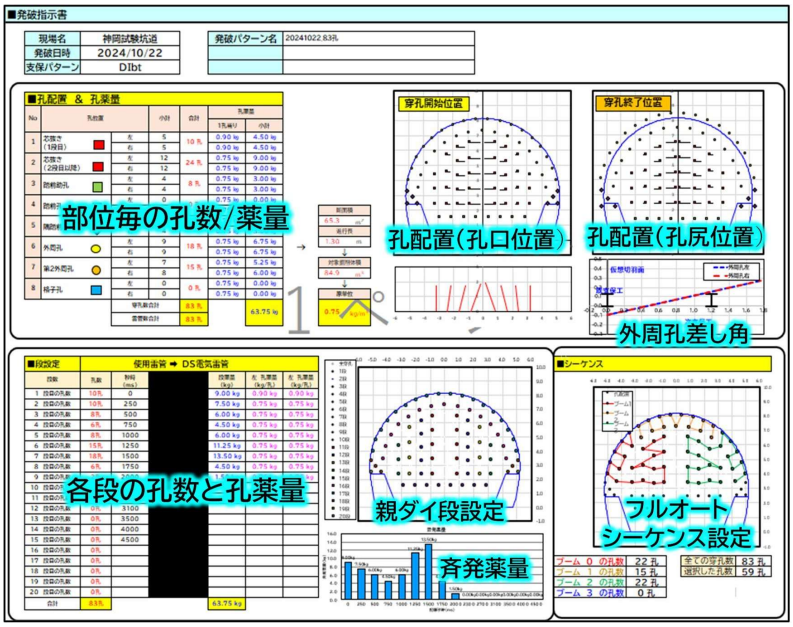
## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | A1-1 最適発破設計システム | | | |
| 技術概要 | コンピュータジャンボの適用を基本とし、岩盤穿孔で得られるデータと理論解を基に孔配置を自動で設計するシステム。また岩盤データと発破後切羽形状データの一元化により岩盤硬さと余掘量のトレンド分析から余掘量低減及びその管理を行うシステム。<br>・穿孔データから理論解を基に最適な孔配置（孔数）を自動設計する。従い従来の坑夫の経験/勘所（暗黙知）に依らず、発破経験のない職員でも容易に岩盤状況に即して最適な発破設計を行うことを可能とする技術。<br>・穿孔データおよび発破後切羽形状のスキャンデータから岩盤硬さと余掘量の変遷を一元化し、その発破結果のトレンド分析により余掘量を適切に管理することを可能とする技術。<br>・システムは、岩盤穿孔データに基づき最適設計を行う「発破設計システム」と、発破結果として岩盤データ・薬量・余掘量などを一元化しトレンド分析を行う「発破見える化」の 2 システムから構成される。<br>・「発破設計システム」では、穿孔データから最適孔配置を算出するのみでなく、消費薬量や雷管の段設定、フルオートコンピュータジャンボの穿孔順（シーケンス）の設定も可能である。孔配置についても V カット芯抜、平行芯抜の両芯抜パターンに対応する。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 削孔位置マーキング | 作業内容等 | 発破計画 |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | ■「発破設計システム」<br>①穿孔データ（1 つ前の発破/削孔検層等）を取込み ➡ ② 断面形状、支保パターン、使用爆薬/雷管を確認後、自動発破設計 ➡ ③シーケンス設定 ➡ ④ コンピュータジャンボに転送<br>■「発破見える化システム」<br>①当該発破の発破直後の切羽スキャンデータ、穿孔データ を取込み ➡ ② それまでの発破結果グラフに追記 ➡ ③ 岩盤硬さの傾向・余掘量の多寡、その発生原因を分析し、次発破設計につなげる。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・削孔において、従来技術より遠隔による作業が可能となる。 | | |
| | 生産性 | ・最適発破設計システムによる穿孔パターンをコンピュータジャンボにてフルオート穿孔することにより、複数の穿孔ブームを 1 名でオペレーションすることで省人化に寄与する。<br>・岩盤硬さの変化に応じて適切に孔配置（孔数）を見直すことにより穿孔のサイクルタイムを適正化し、生産性を向上する。 | | |
| その他の効果 | ・発破後切羽形状を把握し余掘量を適切に管理することで、後続の施工ステップの生産性を向上する。（吹付量低減等） | | | |
| 開発者 | 鹿島建設株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 岩野　圭太 | | |
| | Tel | 090-2747-6194 | | |
| | E-mail | iwanokeita@kajima.com | | |

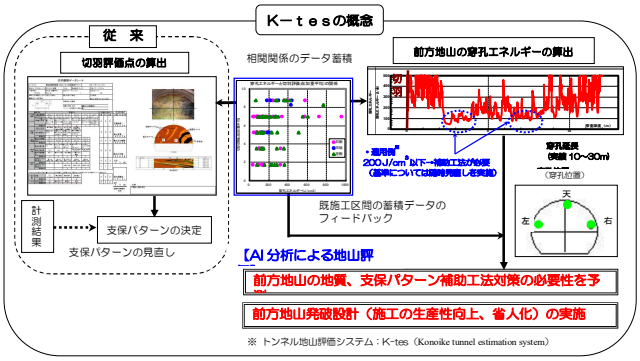
## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | |
| | 高さ | |
| | 長さ | |
| | 重量（空車時） | |
| 移動手段 | | |
| 積載の場合の対象車両 | | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | ・人件費：[発破設計]1 名（現場職員が対応） [穿孔]5 名→1 名（フルオート穿孔）<br>・機械経費：増　現状はコンピュータジャンボは積算に無いが、本システム導入ではコンピュータジャンボ導入は必須。<br>・材料費：本システムに関して特に材料（爆薬等）の制約はないため、従来と同等。 | |

システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | タブレット他 | |
| | 通信機能の方法 | |
| 入力データ | | ・穿孔データ<br>・切羽形状のスキャンデータ |
| 出力データ | | ・発破孔配置/シーケンス（フルオート穿孔順）/段数設定 |
| 表示画面例 | | 「穿孔データ等　取込画面」<br>  <br><br>「発破設計一覧表示（発破指示書）」<br>  <br> |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | A1-2 AI によるトンネル地山評価システム | | | |
| 技術概要 | 切羽前方探査時の機械データを用いて穿孔エネルギーに基づき AI 分析により支保パターンを予測する。事前に支保パターン毎に発破パターンを検討することで支保パターンに応じた発破が実施できる。<br>本システムでは、システム内に穿孔時のデータを蓄積することができ、予測値と実測値を統計的に処理することができる。<br>切羽前方地山の評価(支保パターン)を AI により実施することで事前に適切な発破パターンを検討できる。<br>予測値と実測値を比較することで発破パターンの修正・精度向上が図れる. | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 削孔位置マーキング | 作業内容等 | 発破計画 |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | ① 切羽前方地山の評価(支保パターン)を AI により実施する。<br>② ①の結果から適切な発破パターンを検討する。<br>③ システム内に穿孔時のデータを蓄積する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・削孔位置マーキングにおいて、従来技術より遠隔による作業が可能となる。 | | |
| | 生産性 | ・弊社保有技術のドリル NAVI との併用により、削孔位置は自動で決定されるため削孔位置マーキングの省人化が図れる。 | | |
| その他の効果 | ・経験の少ない若手技術者(切羽担当者)の施工管理の補助ツールとして使用することで生産性の向上が図れる。 | | | |
| 開発者 | 株式会社　鴻池組 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 山田　浩幸 | | |
| | Tel | 06-6245-6568 | | |
| | E-mail | yamada_hy@konoike.co.jp | | |

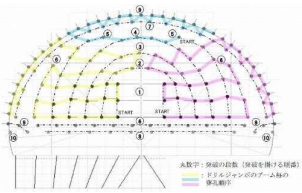
## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | |
| | 高さ | |
| | 長さ | |
| | 重量(空車時) | |
| 移動手段 | | |
| 積載の場合の対象車両 | | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅 4m(前方探査可能であれば適用可), 最小掘削高さ 4m(前方探査可能であれば適用可) | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 鏡面の安定確保は必要 | |
| 利用に必要な資格 | ずい道等の掘削等作業主任者(切羽作業時に必要) | |
| 概略費用 | ・人件費:切羽前方探査実施費用 135 千円／1 回<br>・機械経費:切羽前方探査装置:940 千円／月<br>・その他費用:システム使用料 200 千円／1 現場<br>・費用の算定根拠(施工実績による) | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | タブレット他 | |
| | 通信機能 | |
| 入力データ | | |
| 出力データ | | |
| 表示画面例 | | |

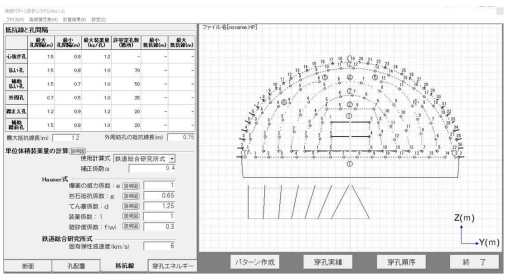
## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | A1-3 発破パターン自動適正化システム | | | |
| 技術概要 | 山岳トンネルにおいて発破を実現するためには地山状況に合った発破パターンが必要となる。本システムは全自動ドリルジャンボでの穿孔に伴い記録された穿孔エネルギーに基づき、地山状況に適した発破パターンを自動的に作成するものである。このシステムで作成した発破パターンを全自動ドリルジャンボに送って穿孔することにより、自動的に地山状況に合った発破を行うことが出来る。<br>・穿孔エネルギーの値から地山の硬軟を判断<br>・地山に応じた最適な発破パターンの自動作成<br>・発破パターンの最適化による効率化と省人化 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 削孔位置マーキング | 作業内容等 | 発破計画 |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | ① 穿孔エネルギーの値から地山の硬軟を判断する。<br>② 地山に応じた最適な発破パターンの自動作成する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・穿孔位置マーキングの作業が不要となる。 | | |
| | 生産性 | ・穿孔作業における作業員の人数の削減、および火薬量、ずり出し量の削減 | | |
| その他の効果 | ・地山状況に適した発破パターンを適用することで過装薬、弱装薬を防げる。 | | | |
| 開発者 | 佐藤工業株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 北川 真也 | | |
| | Tel | 080-7558-6875 | | |
| | E-mail | s.kitagawa@satokogyo.co.jp | | |

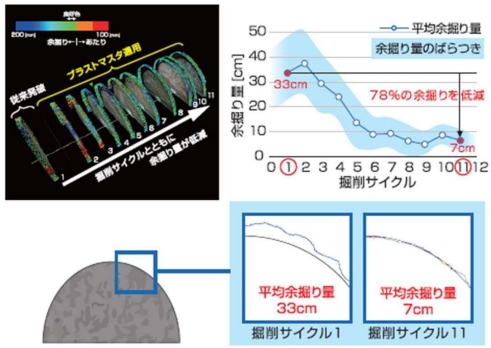
## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | |
| | 高さ | |
| | 長さ | |
| | 重量(空車時) | |
| 移動手段 | | |
| 積載の場合の対象車両 | | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅約 6m, 最大掘削幅約 16m, 最小掘削高さ約 7m, 最大掘削高さ約 10m（3 ブームのドリルジャンボで施工できる大きさ） | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 発破工法が適用可能な地山 | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | 穿孔作業において、人件費 33%減、機械経費約 2 倍<br>発破作業において、火薬費 5%減、ズリ処理費 5%減<br>吹付作業において、材料費 3%減<br>（上記は全て想定による） | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | タブレット他 | 事務所のパソコンと全自動ドリルジャンボの操縦席のパソコン |
| | 通信機能 | トンネル坑内の wi-fi を使い、データを送受信 |
| 入力データ | 全自動ドリルジャンボによる穿孔データ | |
| 出力データ | 事前の設定および与えた穿孔データに基づく発破パターン(図、孔毎のデータ) | |
| 表示画面例 |  | |

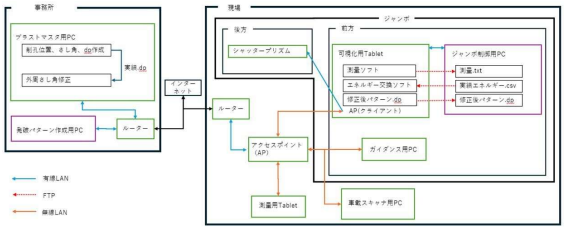
## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | A1-4 発破パターン設計・シーケンス設計を自動かつ同時に実現する余掘り低減技術「ブラストマスタⅡ」 | | | |
| 技術概要 | 本技術はコンピュータジャンボ(フルオート/セミオート)で測定された穿孔エネルギーを基に、地山の性状に合わせた発破パターンを自動で設計するとともに、シーケンス(穿孔順序)を自動で設計する。あわせて、3D スキャナで測定した余掘り量を基に、余掘りを低減できる最適な最外周孔差し角を自動算出する。これらの情報を統合しコンピュータジャンボに転送(自動)することで、熟練技能者の技量に頼ることなく、余掘りを低減することが可能となる。<br>発破パターンを自動設計することができること。<br>作成された発破パターンに対し, 最短時間で削孔できるシーケンス設計ができること。<br>最外周孔の差し角を個別制御することで余掘りを段階的, かつ確実に低減できること。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 削孔位置マーキング | 作業内容等 | 発破計画 |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | 穿孔エネルギーを基に地山の性状に合わせた最適な発破パターン・穿孔順序をを自動で設計する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・削孔位置マーキングの作業が不要となる。<br>・最外周孔の差し角を制御し余掘量を低減することで、トンネル空洞の安定性に寄与し、安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・発破パターンを自動作成することで、孔数の制御(延いては装薬量の制御)が可能となり生産性が向上する。<br>・シーケンスの自動設計を行うことで、ジャンボブーム操作を最短距離で行うことができる。結果として, 削孔作業時間の短縮に貢献できるため、生産性が向上する。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | 清水建設株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 福田　毅 | | |
| | Tel | 080-8055-0699 | | |
| | E-mail | tys.fukuda@shimz.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | コンピュータジャンボ適用範囲に準ずる。 |
| | 高さ | コンピュータジャンボ適用範囲に準ずる。 |
| | 長さ | コンピュータジャンボ適用範囲に準ずる。 |
| | 重量(空車時) | コンピュータジャンボ適用範囲に準ずる。 |
| 移動手段 | 自走型、機器(小型カメラ, タブレット)はコンピュータジャンボのキャビン内に実装。 | |
| 積載の場合の対象車両 | | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅約 10.5m, 最大掘削幅約 16m, 最小掘削高さ約 4m, 最大掘削高さ約 6m（コンピュータジャンボ適用範囲に準ずる） | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | ・通常ジャンボに対してフルオートコンピュータジャンボは、月額 360 万円増加(想定, リース可能な場合)。<br>・通常ジャンボに対してセミオートコンピュータジャンボは、月額 1,800 万円増加(想定, リース可能な場合)。<br>・コンピュータジャンボに実装するシステム一式の月額リース料は、月額 350 万円増加(想定)。<br>・従来シーケンス設計に 500 万円程度の人件費・システム費がかかっていたが、自動化することで費用削減(システムリース料に含む)。<br>・NEXCO 中 高取山トンネル西工事において、本技術の適用で余掘りを低減することで、施工費用(10m あたり)が 747,525 円削減した。 | |

システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材<br>・<br>機器構成 | タブレット他 | PC：ブラストマスタ用、発破パターン作成用、車載スキャナ用、ガイダンス用<br>Windows10/11<br>PC：ジャンボ制御用<br>Intel Atom Z530,1.6GHz<br>Tablet：測量用、可視化用<br>Windows10/11 Intel(R) Core(TM) i5-10310U CPU @ 1.70GHz 2.21 GHz |
| | 通信機能 |  <br>ルーター：ギガアクセス VPN ルーターRTX1210<br>アクセスポイント：屋外向けハイエンドモデル PCWL−0510 |
| 入力データ | | dp,csv,バイナリ |
| 出力データ | | dp,xlsx,png |
| 表示画面例 | | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | A2-1 ドリル NAVI | | | |
| 技術概要 | ジャンボのブームに位置検知用センサーを搭載し、3本のブーム全てに穿孔探査機能を搭載することで、切羽全断面の穿孔誘導と、日々の穿孔時における地山性状の把握が可能となる。これらにより、長孔発破などの穿孔を高精度で行い、余掘りを最小限に抑えることができる。<br>発破パターンから穿孔位置、角度を誘導し、正確に発破孔を穿孔できる。<br>オートリターン機能を用いて孔尻を同一面で揃えることで、発破の効率を上げることができる。<br>穿孔エネルギーを取得して、切羽面の地山性状を把握して、過装薬や不足を防止することができる。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 削孔位置マーキング | 作業内容等 | 削孔位置誘導 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | 発破パターンから穿孔位置、角度を誘導し、正確に発破孔を穿孔する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・穿孔誘導機能により、発破孔のマーキングを省略でき、切羽に立ち入る時間を減少できる。<br>・マーキング作業のために切羽に立ち入ることが必要なくなるため、肌落ち等に対する作業時の安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・削孔前鏡面確認及び削孔位置マーキングにおいて、作業人員が不要となる。<br>・余掘り、あたりを防止して、生産性を向上することができる。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | ㈱鴻池組 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 阪口　治 | | |
| | Tel | 06-6245-6568 | | |
| | E-mail | sakaguchi_om@konoike.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | |
| | 高さ | |
| | 長さ | |
| | 重量(空車時) | |
| 移動手段 | | |
| 積載の場合の対象車両 | | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅 4m程度, 最小掘削高さ 4m程度 | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 新たな資格はなし | |
| 概略費用 | ・ドリル NAVI を搭載したドリルジャンボと搭載していないドリルジャンボのレンタル料の差額。 | |

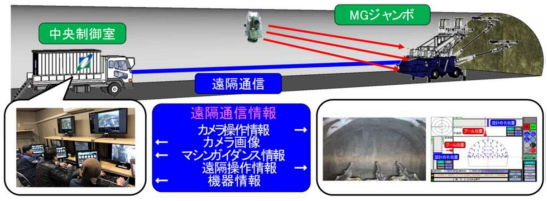
## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 削孔機 | |
| | 通信可能距離 | |
| | 通信遅延 | |
| | 安全機能 | |
| | ブーム数 | |
| 動力 | 削孔部 | |
| | 自走部 | |
| 入力データ | | |

## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | |
| 移動速度 | |
| 最小回転半径 | |
| 走行に関する制約 | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | | B1-1 ジャンボ遠隔化システム | | |
| 技術概要 | | トンネル坑内に設置した中央制御室と、切羽正面に配置したドリルジャンボを通信ケーブルで接続し、遠隔で穿孔作業を行う。ドリルジャンボの施工データは中央制御室に集約され、オペレータはドリルジャンボに設置したカメラ画像とドリルジャンボのマシンガイダンス情報に基づいてドリルジャンボを操作する。中央制御室は空調設備等を備えており、劣悪な坑内環境から解放された場所で作業を行うことができる。<br>施工データを中央制御室で一元管理し、それを見ながらドリルジャンボを遠隔で操作することで、穿孔作業の効率化を図ることができる。 | | |
| カテゴリ | | 支援対象とする主な発破作業 | 削孔 | 作業内容等 | 遠隔操作 |
| 外観図 | |  | | |
| 作業手順 | | 施工データを中央制御室で一元管理し、それを見ながらドリルジャンボを遠隔で操作する。 | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・通常よりも離れた位置での削孔作業が可能となり、安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・削孔位置マーキングの作業が不要となる。<br>・削孔において、従来技術より作業人員の削減が可能となる。 | | |
| その他の効果 | | ・装薬孔の穿孔位置や掘削出来形、地山情報といった、通常のドリルジャンボの操作席では把握できない情報を中央制御室内で確認しながら作業できる。このため、従来は熟練工の経験や勘に依存していた機械操作における判断材料を、経験の浅い坑夫でも視覚的に確認できるようになり、熟練工と同程度の作業時間で穿孔することができる。 | | |
| 開発者 | | 株式会社　安藤・間 | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 建設本部土木技術第三部トンネルグループ　日向　哲朗 | | |
| | Tel | | | |
| | E-mail | hyuga.tetsuro@ad-hzm.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 3,140mm　（基本性能欄は全てドリルジャンボの仕様を示しています） |
| | 高さ | 4,190mm |
| | 長さ | 16,420mm |
| | 重量（空車時） | 48.5t |
| 移動手段 | | 自走式 |
| 積載の場合の対象車両 | | 30t 低床トレーラー、15t 平トレーラー、8t 平トラック各 1 台ほか |
| 適用可能なトンネル規模 | | 最小掘削幅 4m, 最大掘削幅 16m, 最小掘削高さ 6.1m, 最大掘削高さ 10.4m |
| 適用可能な地質・地山条件 | | 発破掘削適用地山 |
| 利用に必要な資格 | | 従来の切羽作業員と同等 |
| 概略費用 | | 【人件費】標準施工と同等<br>【機械経費】<br>・ドリルジャンボの遠隔改造：40,000 千円、ほかマシンガイダンス機能付きドリルジャンボの損料<br>・中央制御室の構築：15,000 千円、ほか中央制御室の損料<br>【材料費】標準施工と同等<br>【その他】導入支援、操作指導：3,500 千円 |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 削孔機 | HD220　（ドリルジャンボの仕様） |
| | 通信可能距離 | 約 200m（有線、実証距離） |
| | 通信遅延 | 未計測だが 0(s)ではない |
| | 安全機能 | 人感センサー、緊急停止ボタンほか |
| | ブーム数 | 3　（ドリルジャンボの仕様） |
| 動力 | 削孔部 | 電気　（ドリルジャンボの仕様） |
| | 自走部 | エンジン　（ドリルジャンボの仕様） |
| 入力データ | | 穿孔位置データ |

## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | タイヤ式　（走行性能欄は全てドリルジャンボの仕様を示しています） |
| 移動速度 | ～8.5km/h |
| 最小回転半径 | 6, 270mm/11, 500mm（内/外） |
| 走行に関する制約 | — |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | B1-2 ドリルジャンボ遠隔操作システム「Tunnel RemOS-Jumbo」 | | | |
| 技術概要 | 本技術は、爆薬装薬のための削孔やロックボルト工等の多くの作業で用いられるドリルジャンボの遠隔操作システムである。切羽から離れた遠隔操作室にて地山性状のリアルタイム評価(リアルタイム 3D 地山評価システム)や切羽の高精細映像の取得(4K 高精細映像無線伝送システム)といった要素技術を活用しながらドリルジャンボの走行、ブームの操作や削孔、マンケージの操作等を無線遠隔操作する。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 削孔 | 作業内容等 | 遠隔操作 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | ドリルジャンボの走行、ブームの操作や削孔、マンケージの操作等を、切羽から離れた遠隔操作室から無線遠隔操作する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・ドリルジャンボを切羽から離れた場所で操縦することができるため、切羽への立入りが無くなり肌落ち災害を防ぐことができる。 | | |
| | 生産性 | ・3機あるブームを遠隔操作室から1名で操作することができる。(従来は、3機のブームを2～3名で操作。)<br>・予め、設定した削孔位置を自動で削孔することもできる。 | | |
| その他の効果 | ・削孔時の油圧や速度等のデータを基に削孔したその場で周辺地山の性状を定量的かつ自動的に 3 次元評価できるため、切羽の安定性をリアルタイムに把握することができる。 | | | |
| 開発者 | 西松建設株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 辻岡高志 | | |
| | Tel | 080-2720-0448 | | |
| | E-mail | takashi_tujioka@nishimatsu.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 2.25m |
| | 高さ | 2.7m |
| | 長さ | 5.3m |
| | 重量(空車時) | 1.8t |
| 移動手段 | 遠隔操作室を積載した 4t トラックにて移動 | |
| 積載の場合の対象車両 | 4t トラック | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 第三種陸上特殊無線技士:1名 | |
| 概略費用 | ・通信機器等の点検やメンテナンス作業に対する人件費(65,000 円/日×4 日/月=260,000 円/月)<br>・機械経費、材料費(40,000,000 円)<br>・その他費用(①リアルタイム 3D 地山評価システム:400,000 円/月、②4K 高精細映像無線伝送システム:200,000 円/月)<br>＊掘削形状モニタリングシステムは別 | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 削孔機 | ドリルジャンボ「J32RX-Hi ROBOROCK®」 |
| | 通信可能距離 | 切羽から 100m～260m(*現場での施工実績) |
| | 通信遅延 | 0.3s 以下 |
| | 安全機能 | ・遠隔操作室とドリルジャンボの通信が切れた際、又は、非常停止スイッチを使用した際にシステムは停止<br>・走行や削孔作業時にドリルジャンボの 4 隅に設置したセンサーが一定距離以内に人を検知した場合に停止 |
| | ブーム数 | 3 |
| 動力 | 削孔部 | 電力(440V) |
| | 自走部 | エンジン |
| 入力データ | トンネルの線形データ、標準断面図、基準点の座標データ、標準発破図 | |

## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | ホイール式 |
| 移動速度 | max 20km/h |
| 最小回転半径 | 内輪 R6270mm、外輪 R11900mm |
| 走行に関する制約 | 一般道の走行は不可 |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1a-1 爆薬の遠隔装填システム | | | |
| 技術概要 | 山岳トンネル工事の発破掘削方式における爆薬(紙巻の含水爆薬)の装填作業を、切羽から離れた場所から自動化された機械装填システムにて行う。<br>作業員が装薬作業を切羽に密着せずに行えるように、切羽より 1～2m 程度離れた位置から、親ダイを取り付けた装填用パイプを発破孔に挿入・装填し、手元のリモコンによる操作により、後方の装填装置から爆薬(増ダイ)と込め物をエアーで搬送して、爆薬を遠隔で機械装填する技術 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・紙巻爆薬 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | ・作業員が装薬作業を切羽に密着せずに行えるように、切羽より 1～2m 程度離れた位置から、親ダイを取り付けた装填用パイプを発破孔に挿入し、手元のリモコン操作により、後方の装填装置から爆薬(増ダイ)と込め物をエアーで搬送して、爆薬を遠隔で機械装填する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・切羽から離れて爆薬の装填作業が可能となったことによる安全性の向上 | | |
| | 生産性 | ・爆薬の機械装填により、従来の人力装填より装薬作業の効率が向上 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | 株式会社 熊谷組 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 杉本憲一 | | |
| | Tel | 080-5933-6617 | | |
| | E-mail | kesugimo@ku.kumagaigumi.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 2,200mm(本体のみ)／3,400mm(架装後走行時)／4,000mm(装薬時) |
| | 高さ | 2,800mm(本体のみ)／3,800mm(架装後走行時)／4,200mm(装薬時) |
| | 長さ | 4,800mm(本体のみ) |
| | 重量(空車時) | 5,000kg(本体のみ) |
| 移動手段 | 自走型 | |
| 積載の場合の対象車両 | クレーン付きトラック(8t車ベース) | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | 機械経費　月当り 250 万円(システム本体損料)<br>その他、架装台車およびコンプレッサが必要 | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | 手元操作盤(無線指令機)、増ダイ供給装置、込め物供給装置、制御盤、エンジンコンプレッサー等により構成される。<br>手元操作盤の操作により増ダイおよび込め物が自動で供給され、供給された増ダイおよび込め物は圧縮空気により装填ホース(L=30m)内を搬送され、装填パイプを経由して発破孔へ装填する。<br>増ダイおよび込め物の供給機構は4系統あり、4箇所同時に装薬作業が出来る。 |
| | 量の決定方法 | 手元操作盤により増ダイ(紙巻き形含水爆薬)の装填本数を設定する |
| 動力 | 装填機 | 本体電源 200V・50A、ディーゼルエンジン(コンプレッサー5m3/min クラス) |
| | 自走部 | ディーゼルエンジン |

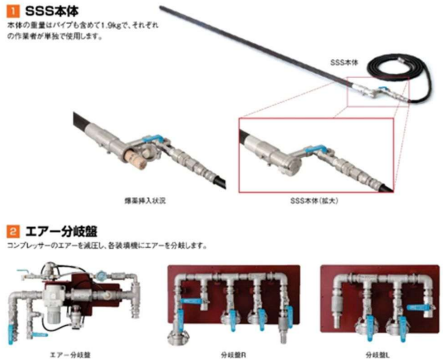
## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | 架装台車(クレーン付きトラック)による自走式 |
| 移動速度 | 坑内移動速度に準ずる |
| 最小回転半径 | 7m |
| 走行に関する制約 | 公道の自走は不可(ホースリールを取外すことにより公道の自走は可能) |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | 空気圧送による |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | 小断面から大断面(150m2)まで実績あり |
| | 装填可能最大長 | 2.7m(装填パイプ長) |
| | 雷管の適用径 | 制限なし |
| | 爆薬 | 含水爆薬Φ25mm×100g(紙巻包装品) |
| | 雷管 | 電気雷管、導火管付き雷管、電子雷管 |
| 作業1回あたりの最大装填数(雷管) | | 制限なし |
| 作業1回あたりの最大装薬量(爆薬) | | 制限なし |
| 装薬孔位置検知方法 | | なし |
| 雷管との通信位置(※無線雷管の場合) | | 制約なし |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1a-2 SSS 装填機を使用した遠隔装填システム | | | |
| 技術概要 | 切羽より 1～2m 程度離れての親ダイ、増しダイを遠隔で装薬が可能となる装填機。<br>親ダイと増ダイを切羽から 1～2m 程度離れて装薬。<br>落石から安全性を目的とした装填システム。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・紙巻爆薬 |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | ・親ダイと増ダイを切羽から 1～2m 程度離れて装薬。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・親ダイと増ダイを切羽から 1～2m 程度離れて装薬ができる。落石から安全性を目的とした装填システム。 | | |
| | 生産性 | ・結線において、従来技術と比べ、作業人員及び作業時間は同程度である。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | カヤク・ジャパン株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 佐々木　重幸 | | |
| | Tel | 03-5637-0902 | | |
| | E-mail | shigeyuki.sasaki@kayakujapan.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 70mm |
| | 高さ | 180mm |
| | 長さ | 3200mm(長さ 3m のパイプを装着時) |
| | 重量(空車時) | 1.9kg/台×4 |
| 移動手段 | トラックに載せて移動 | |
| 積載の場合の対象車両 | 軽トラック又は2tトラック(コンプレッサーの大きさによります) | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅 4m, 最大掘削幅 10m, 最小掘削高さ 5m, 最大掘削高さ 10m程度 | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 発破技士<br>火薬類取扱責任者 | |
| 概略費用 | 使用実績より<br>機械経費増加:装填機、コンプレッサー、軽トラックのリース代<br>材料費増加(保護材料):親ダイの雷管挿入部にクッション材が必要となるため | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | |
| | 量の決定方法 | |
| 動力 | 装填機 | 圧縮エアー |
| | 自走部 | |

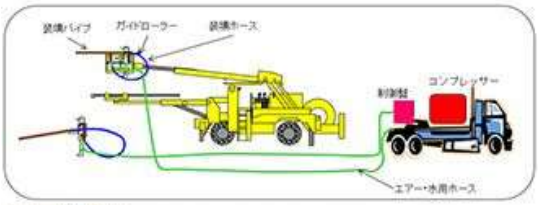
## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | |
| 移動速度 | |
| 最小回転半径 | |
| 走行に関する制約 | |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | バルブの手動操作で圧縮エアーによる圧送 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | |
| | 装填可能最大長 | |
| | 雷管の適用径 | |
| | 爆薬 | 含水爆薬（紙巻） |
| | 雷管 | 電気雷管、導火管付き雷管 |
| 作業1回あたりの最大装填数（雷管） | | |
| 作業1回あたりの最大装薬量（爆薬） | | |
| 装薬孔位置検知方法 | | |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1a-3 爆薬遠隔装填システム「セーフチャージャー®」 | | | |
| 技術概要 | 「セーフチャージャー®」は、爆薬の装填作業時の安全性確保を目的とし、従来から山岳トンネル工事の発破掘削に使用される紙包装品（カートリッジ）の含水爆薬を、切羽より 1～2m 程度離れた位置から遠隔装填することを可能としたシステム。<br>本システムは鹿島建設株式会社と日油株式会社が共同開発したもので、株式会社ジャペックスが実施。<br>※セーフチャージャーは鹿島建設株式会社および日油株式会社の登録商標です。<br>1. 安全性の向上<br>・装填パイプと装填ホースの組合せにより切羽から 1～2m 程度離れて遠隔装填作業が可能。<br>・装填ホース内に水を給水することで静電気の発生を防止し、電気雷管を用いた親ダイを使用可能。<br>・親ダイの電気雷管脚線の損傷を防ぐため保護キャップを使用。<br>2. 作業性・取扱い性の向上<br>・マンケージ装填と同様、踏前装填も1人で作業ができ、作業効率が高い。<br>・本システム一式で4箇所について4名で装填作業が可能。<br>・小型、軽量で爆薬供給などの大型装置が不要。<br>・装填操作が簡便で、装填作業者の作業負担を軽減。<br>・増ダイと込め物の同時装填が可能。<br>・専用スペーサーを使用することにより SB 工法が可能。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・紙巻爆薬 |
| 外観図 |  <br>システム概要図 | | | |
| 作業手順 | ・装填パイプと装填ホースの組合せにより切羽から 1～2m 程度離れて遠隔装填作業。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・装填パイプと装填ホースの組合せにより切羽から 1～2m 程度離れて遠隔装填作業が可能。 | | |
| | 生産性 | ・装薬において、従来技術と比べ、作業人員及び作業時間は同程度である。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | 株式会社ジャペックス | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 高橋康博 | | |
| | Tel | 03-3506-9061 | | |
| | E-mail | y-takahashi@highjex.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅(mm) | 0.80m(制御盤のみ) |
| | 高さ(mm) | 0.93m(同上) |
| | 長さ(mm) | 0.60m(同上) |
| | 重量(空車時) | 装填機本体 3.7kg(高さ 0.27m) |
| 移動手段 | 制御部等はトラック搭載の自走型、装てん機部は脱着式 | |
| 積載の場合の対象車両 | 2t ロングトラック(コンプレッサー、制御盤、水タンク、ホースリール等積載) | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 孔荒れ不可 | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | ・装填機一式リース費用　150,000 円/月<br>・装填機一式搬入出費用　実費<br>・装填機操作指導料　200,000～250,000 円/回(1～2 日間)<br>・消耗品費　装填パイプ(45,000 円/本)、装填ホース(15,000 円/m)、保護キャップ(50 円/個)<br>・施工会社　手配:装填機台車(2t ロングトラック)及びコンプレッサー | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | 装填機本体(レバーグリップスイッチ付き)、制御盤、水タンク、装填ホース、装填パイプ、ホース付きホースリール、ガイドローラー、コンプレッサー |
| | 量の決定方法 | 土木工事積算基準(目安) |
| 動力 | 装填機 | 空圧(コンプレッサー) |
| | 自走部 | エンジン(トラック) |

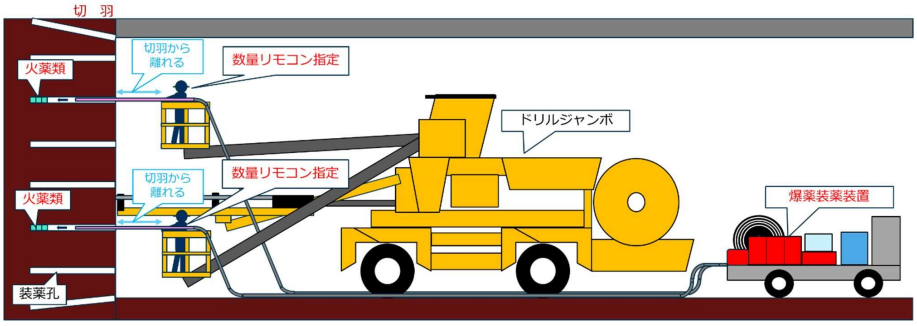
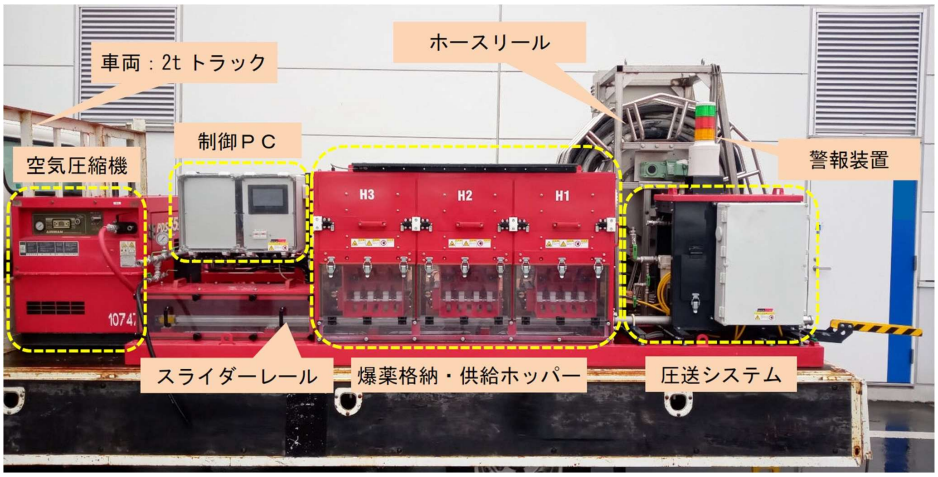
走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | タイヤ式(装填機台車トラック) |
| 移動速度 | トンネル工事現場の規定速度 |
| 最小回転半径 | 5.8m(2tロングトラック) |
| 走行に関する制約 | なし |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | ・親ダイ:装填パイプ先端に取り付け、エアブローして装薬孔の孔尻に装填する。<br>・増ダイ、粘土製込物φ30mm:装填機の投入口から投入して、一旦、装填ホース内に所定本数を貯留させる。<br>装填スイッチを押して、 ミストエアにより装薬孔へ増ダイと込物を同時に装填する。 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | 制約なし ※スムースブラスティング工法(最外周孔)を適用する場合、スペーサー(φ25mm×L200mm)遠隔装填可能 |
| | 装填可能最大長 | 1 発破掘進長 |
| | 雷管の適用径 | 制約なし(市販雷管) |
| | 爆薬 | 含水爆薬ハイジェックス快力(φ30mm×150g×L195mm) ※親ダイ(電気雷管使用時は保護キャップ付き) |
| | 雷管 | 耐静電気雷管(脚線長 4.5m)、導火管付き雷管 HiNEL(チューブ長 6.0m)、電子雷管 eDevⅡ(脚線長 6.0m) |
| 作業1回あたりの最大装填数(雷管) | | 制約なし |
| 作業1回あたりの最大装薬量(爆薬) | | 制約なし |
| 装薬孔位置検知方法 | | 装薬作業者の目視 |
| 雷管との通信位置(※無線雷管の場合) | | — |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1a-4 爆薬装填装置「T-クイックショット」 | | | |
| 技術概要 | 紙巻含水爆薬を圧縮空気にて装填する装置。<br>・装填パイプの先端に親ダイを装着し、機械から供給された増しダイとともに切羽から離れて装填する。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装填・紙巻爆薬 |
| 外観図 |  <br>  | | | |
| 作業手順 | 爆薬を格納した装填装置から、ホース・パイプを通じて圧縮空気により爆薬を装薬孔に装填する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・切羽より 1m 以上離れた位置から装填でき、安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・爆薬を高速装填することにより、装薬作業時間を短縮することが可能となり、生産性が向上する。 | | |
| その他の効果 | ・密装填により発破効率が向上する。 | | | |
| 開発者 | 大成建設株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 宮本　真吾 | | |
| | Tel | 080-2110-6700 | | |
| | E-mail | mymsng00@pub.taisei.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 約 580mm/台　※ホースリール除く |
| | 高さ | 約 950mm　※ホースリール:約 1,650mm |
| | 長さ | 約 3, 550mm/台 |
| | 重量(空車時) | 本体:約 700kg/台 |
| 移動手段 | 2t トラック荷台に積載 | |
| 積載の場合の対象車両 | 2t トラック | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 従来と同等 | |
| 概略費用 | | |

システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | 増ダイホッパー3 基で構成。<br>パイプ先端に挿入した親ダイを他の増ダイと合わせて圧縮空気、潤滑水とともに圧送する。<br>操作は爆薬数量指定および圧送動作をリモコンにて行う。 |
| | 量の決定方法 | 装薬作業者のリモコン操作 |
| 動力 | 装填機 | 200V（別途 20HP 級空気圧縮機＋ドリルジャンボより昇圧水供給） |
| | 自走部 | トラック（ディーゼルエンジン） |

走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | トラックの荷台に搭載 |
| 移動速度 | トラックによる |
| 最小回転半径 | トラックによる |
| 走行に関する制約 | 特になし |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | ・装填パイプの先端に親ダイを装着し、機械から供給された増しダイとともに切羽から離れて装填する。 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | ～100m$^2$ 程度の道路トンネル断面までを想定 |
| | 装填可能最大長 | 装填パイプの長さによる |
| | 雷管の適用径 | |
| | 爆薬 | 紙巻含水爆薬 |
| | 雷管 | 電気雷管、電子雷管、非電気式雷管に対応 |
| 作業1回あたりの最大装填数（雷管） | | １本 |
| 作業1回あたりの最大装薬量（爆薬） | | 親１本＋増3本/増のみ3本 |
| 装薬孔位置検知方法 | | 装薬作業者の目視 |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1b-1 ランデックス装填機を使用した遠隔装填システム | | | |
| 技術概要 | 切羽より 1～2m 程度離れての遠隔操作により、周囲の状況を確認しながら装薬が可能。<br>導火管付き雷管を使用することにより、切羽の密着時間の短縮。<br>密装填により爆薬の威力を高める。孔数の削減による切羽の密着時間の短縮。<br>主に増ダイを遠隔で装薬。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・粒状爆薬 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | ・主に増ダイを遠隔で装薬する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・切羽から 1～2m 程度離れて装薬でき、結線が容易な導火管付き雷管を使用することで切羽の密着時間の短縮。 | | |
| | 生産性 | ・装薬及び結線において、従来技術より作業時間の削減が可能となる。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | カヤク・ジャパン株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 佐々木　重幸 | | |
| | Tel | 03-5637-0902 | | |
| | E-mail | shigeyuki.sasaki@kayakujapan.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 1500mm(縦) |
| | 高さ | 2000mm |
| | 長さ | 2500mm(横) |
| | 重量(空車時) | 約 1250kg |
| 移動手段 | | |
| 積載の場合の対象車両 | 4t 車以上 | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅 4m, 最小掘削高さ 5m, 最大掘削高さ 10m 程度 | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 湧き水が多い場合は適用不可 | |
| 利用に必要な資格 | 発破技士<br>火薬類取扱責任者 | |
| 概略費用 | 使用実績より<br>機械経費増加：装填機、コンプレッサー、4t トラックのリース台<br>材料費増加(爆薬代、雷管代)：爆薬の使用量 2～4 割増加、電気雷管から導火管付き雷管への雷管の変更 | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | |
| | 量の決定方法 | |
| 動力 | 装填機 | 圧縮エアー、24V バッテリー |
| | 自走部 | |

## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | |
| 移動速度 | |
| 最小回転半径 | |
| 走行に関する制約 | |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | リモコン操作で圧縮エアーによる圧送 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | |
| | 装填可能最大長 | |
| | 雷管の適用径 | |
| | 爆薬 | ランデックス、ANFO |
| | 雷管 | 導火管付き雷管 |
| 作業1回あたりの最大装填数（雷管） | | |
| 作業1回あたりの最大装薬量（爆薬） | | |
| 装薬孔位置検知方法 | | |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1b-2 ANFO 装填機を使用した遠隔装填システム | | | |
| 技術概要 | 切羽より 1～2m 程度離れての遠隔操作により、周囲の状況を確認しながら装薬が可能。<br>導火管付き雷管を使用することにより、切羽の密着時間の短縮。<br>密装填により爆薬の威力を高め、孔数が削減による切羽の密着時間の短縮。<br>主に増ダイを遠隔で装薬。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・粒状爆薬 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | ・主に増ダイを遠隔で装薬する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・切羽から 1～2m 程度離れて装薬でき、結線が容易な導火管付き雷管を使用することで切羽の密着時間の短縮。 | | |
| | 生産性 | ・装薬及び結線において、従来技術より作業時間の削減が可能となる。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | カヤク・ジャパン株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 佐々木　重幸 | | |
| | Tel | 03-5637-0902 | | |
| | E-mail | shigeyuki.sasaki@kayakujapan.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 1100mm(縦) |
| | 高さ | 1840mm |
| | 長さ | 2325mm(横) |
| | 重量(空車時) | 約 500kg |
| 移動手段 | | |
| 積載の場合の対象車両 | 2t 車以上 | |
| 適用可能なトンネル規模 | 最小掘削幅 4m, 最小掘削高さ 5m, 最大掘削高さ 10m 程度 | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 水孔は適用不可 | |
| 利用に必要な資格 | 発破技士<br>火薬類取扱責任者 | |
| 概略費用 | 使用実績より<br>機械経費増加：装填機、コンプレッサー、4t トラックのリース台<br>材料費増加(火薬代、雷管代)：爆薬の使用量 2～4 割増加、電気雷管から導火管付き雷管への雷管の変更ため | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | |
| | 量の決定方法 | |
| 動力 | 装填機 | 圧縮エアー、12V バッテリー |
| | 自走部 | |

## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | |
| 移動速度 | |
| 最小回転半径 | |
| 走行に関する制約 | |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | リモコン操作で圧縮エアーによる圧送 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | |
| | 装填可能最大長 | |
| | 雷管の適用径 | |
| | 爆薬 | ANFO |
| | 雷管 | 導火管付き雷管 |
| 作業1回あたりの最大装填数（雷管） | | |
| 作業1回あたりの最大装薬量（爆薬） | | |
| 装薬孔位置検知方法 | | |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1b-3 ANFO 装填機を使用した遠隔装填システム | | | |
| 技術概要 | 「ANFO装填機」は、硝酸アンモニウム爆薬（ANFO爆薬）を、山岳トンネル工事の発破掘削の切羽より 1～2m 程度離れた位置から遠隔装填することを可能としたシステム。<br>1. 安全性の向上<br>・装填ホースを使用して切羽から 1～2m 程度離れて遠隔装填作業が可能。<br>・導火管付き雷管を併用することで、静電気や漏洩電流に対して安全に作業が可能。<br>2. 作業性・取扱い性の向上<br>・タンクには最大 400kg のANFOが収容可能なので効率的な作業が可能。<br>・無線リモコンを用いて装填作業ができるので、作業時間の短縮が可能。<br>・タイマーで設定した薬量が装填できるので、岩種に応じた発破が可能。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・粒状爆薬 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | ・装填ホースを使用して切羽から 1～2m 程度離れて遠隔装填する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・装填ホースを使用して切羽から 1～2m 程度離れて遠隔装填することによる安全性の向上。 | | |
| | 生産性 | ・装薬において、従来技術より作業人員の削減が可能となる。 | | |
| その他の効果 | － | | | |
| 開発者 | 株式会社ジャペックス | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 高橋康博 | | |
| | Tel | 03-3506-9061 | | |
| | E-mail | y-takahashi@highjex.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 1.10m |
| | 高さ | 1.95m |
| | 長さ | 2.00m |
| | 重量（空車時） | 450kg（本体重さ） |
| 移動手段 | トラック搭載の自走型 | |
| 積載の場合の対象車両 | 2tトラック | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 湧水の多い鏡面での使用不可 | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | ・装填機一式リース費用　200,000 円/月（1～24 ヵ月）<br>・装填機一式搬入出費用　実費<br>・装填機操作指導料　200,000～250,000 円/回（1～2 日間）<br>・消耗品費　装填ホース 30m 品（3,300 円/m）、装填ホース 50m 品（3,200 円/m）、<br>装填パイプ 0.66m（23,000 円/本）<br>・施工手配：装填機台車（2t ロングトラック）及びコンプレッサーを使用 | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | 500L タンク（ANFO400kg）、第二圧力容器認定品　タンク内圧 0.3MPa、本体 SUS304 架台 SS400、<br>2 系統、装填ホース（鋼線入りビニルホース） |
| | 量の決定方法 | 発破計画による |
| 動力 | 装填機 | 空圧（コンプレッサー）　エアー 空気量；5.0$m^3$/min 、吐出圧力；0.7MPa 以上<br>電気　DC12V or 24V |
| | 自走部 | エンジン（トラック） |

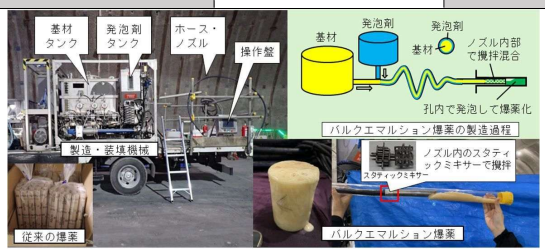
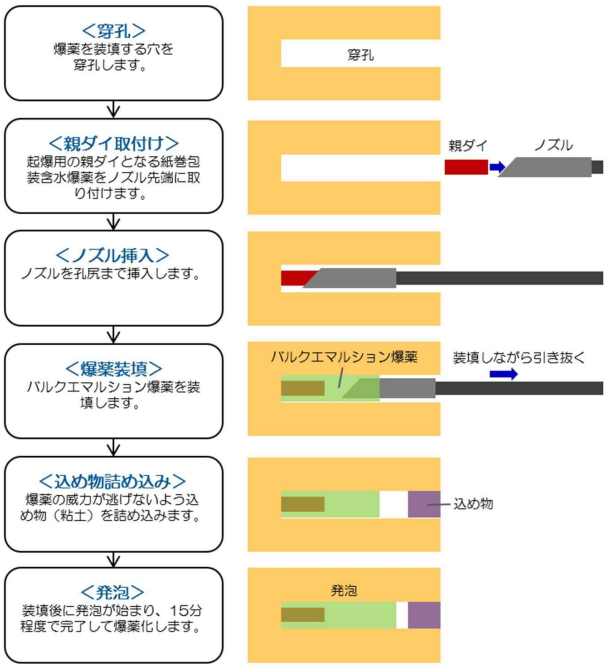
## 走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | タイヤ式（装填機台車トラック） |
| 移動速度 | トンネル工事現場の規定速度 |
| 最小回転半径 | 5.8m（2tトラック） |
| 走行に関する制約 | なし |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | エアーブローによる ANFO 爆薬の装薬、密装填可能 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | 制約なし（湧水孔での装薬不可） |
| | 装填可能最大長 | 制約なし |
| | 雷管の適用径 | 制約なし |
| | 爆薬 | ANFO-NS（トンネル用 ANFO）使用 |
| | 雷管 | 導火管付き雷管 HiNEL（チューブ長 6.0m）、電子雷管 eDevⅡ（脚線長 6.0m）、市販の耐静電気雷管は使用不可 |
| 作業1回あたりの最大装填数（雷管） | | 制約なし |
| 作業1回あたりの最大装薬量（爆薬） | | 制約なし |
| 装薬孔位置検知方法 | | 装薬作業者の目視 |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | ― |

基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号･名称 | C1c-1 バルクエマルション爆薬装填 | | | |
| 技術概要 | バルクエマルション爆薬は移動式の製造･装填機械にて、非爆薬の基材と発泡剤を現場で混合して製造できるマヨネーズ状の爆薬である。当該爆薬はホースと長いノズルを用いて切羽から従来よりも離れた位置で、爆薬量を 10g 単位で調整して密に短時間で装填できる。ノズル内で混合するまでは非爆薬であり、誤爆の危険性がなく、自動化機械での取り扱いに向いている。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬･バルクエマルション |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 |  | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ･ホースと長いノズルを使用することにより、切羽から離れた場所から安全に装填することが可能になる。 | | |
| | 生産性 | ･爆薬の装填時間を短縮できる。 | | |
| その他の効果 | ･ノズル内部で撹拌混合するまでは非爆薬であり、誤爆の危険性がない。 | | | |
| 開発者 | 戸田建設(株)、イーピーシージャパン(株)、(株)サンライズ | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 巽　義知 | | |
| | Tel | 080-2883-1926 | | |
| | E-mail | yoshitomo.tatsumi@toda.co.jp | | |

基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | |
| | 高さ | |
| | 長さ | |
| | 重量(空車時) | |
| 移動手段 | | 積載型 |
| 積載の場合の対象車両 | | トラック |
| 適用可能なトンネル規模 | | ・最小掘削幅 3m<br>・最小掘削高さ 3m |
| 適用可能な地質・地山条件 | | ・滴水程度以下の湧水下での施工可 |
| 利用に必要な資格 | | ・火薬類製造保安責任者<br>・甲種または乙種1類危険物取扱者 |
| 概略費用 | | ・製造装填機械+200 万円/月、材料費＋2800 円/kg |

システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | ホース 4 本での同時装薬作業が可能 |
| | 装塡信号の送信方法 | |
| | 量の決定方法 | |
| 動力 | 装填機 | |
| | 自走部 | |

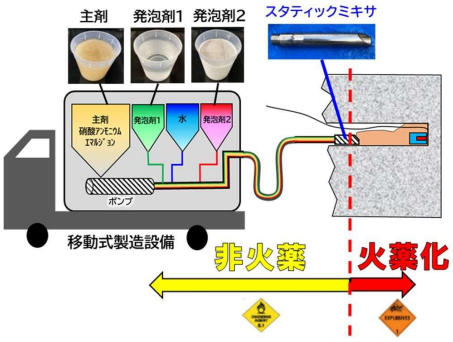
走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | |
| 移動速度 | |
| 最小回転半径 | |
| 走行に関する制約 | |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | ホースとノズルを用い PC ポンプで移送 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | |
| | 装填可能最大長 | |
| | 雷管の適用径 | |
| | 爆薬 | バルクエマルション |
| | 雷管 | 6 号雷管(＋含水爆薬) |
| 作業1回あたりの最大装填数(雷管) | | |
| 作業1回あたりの最大装薬量(爆薬) | | |
| 装薬孔位置検知方法 | | |
| 雷管との通信位置(※無線雷管の場合) | | |

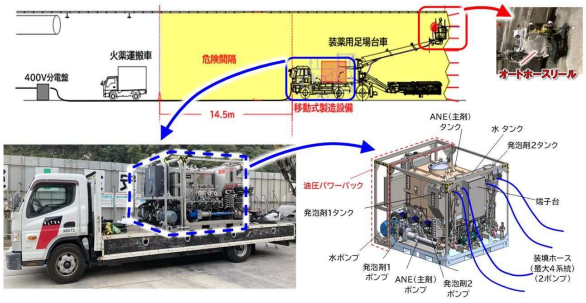
基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C1c-2 バルクエマルション爆薬装填 | | | |
| 技術概要 | バルクエマルションは従来の爆薬とは異なり、装填機および装填ホース内では”危険物”であり、ホース先端のミキサを通して混ざることにより装薬孔内で初めて爆薬化する爆薬である。<br>・装填機およびホース内では複数の”危険物”の状態で、ホース先端で混合されることで初めて爆薬化することで将来の遠隔/自動装填機の導入に関し、安全性を向上する。（※概略図を別紙に記載）<br>・マヨネーズ状のため装薬の際、孔に満管　または　孔面積の〇%（ストリングローディング）といった薬量調整が可能。それにより外周孔などでデカップリングによる起砕効果の調整を可能とする。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする<br>主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑内遠隔装薬・バルクエマルション |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | ・装填機およびホース内では複数の”危険物”の状態で、ホース先端で混合されることで初めて爆薬化する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・ホースと先端パイプによる孔装填（専用リールを使うことでホース押出/引抜は機械コントロール）となることで、通常の人による装薬作業よりも作業員が切羽から離れた位置での装薬作業が可能となり、安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・装薬において、従来技術より作業人員の削減が可能となる。 | | |
| その他の効果 | ・装填機、装填ホース・パイプ内は、非火薬状態であり、孔内で初めて火薬化することから、誤爆の可能性が従来作業に比べ低減し、安全性が向上する。<br>・マヨネーズ状のため装薬の際、孔に満管　または　孔面積の〇%（ストリングローディング）といった薬量調整が可能。それにより外周孔などでデカップリングによる起砕効果の調整を可能とする。 | | | |
| 開発者 | 鹿島建設株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 岩野　圭太 | | |
| | Tel | 090-2747-6194 | | |
| | E-mail | iwanokeita@kajima.com | | |

基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 一例として　2280 ㎜ |
| | 高さ | 一例として　1740 ㎜ |
| | 長さ | 一例として　2610 ㎜ |
| | 重量（空車時） | 一例として　2.8 t |
| 移動手段 | 搭載車両に搭載し移動。 | |
| 積載の場合の対象車両 | 4t平トラック／10t平トラック等 | |
| 適用可能なトンネル規模 | 特に制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | ・通常の装薬ができる地質ならば特に条件は問わない。<br>・水孔でも装填可能 | |
| 利用に必要な資格 | バルクエマルション爆薬は製造の有資格者が必要（現場当たり正/代理の２名） | |
| 概略費用 | ・人件費：現状と同等<br>・機械経費：増　現状は装填機が積算に無く、新たに導入となるため。但し、使用実績が少なく、普及時に経費がどの程度になるかは未定。<br>・材料費：増　爆薬：現状はバルクエマルション普及していないため高価（普及すれば廉価になる可能性）<br>雷管：現状のもの（導火管付雷管）をそのまま適用するため同等<br>（尚、親ダイは小計の高爆速爆薬（ブースタ：国内非生産品）の使用を推奨）<br>※費用の算定根拠は、全て”想定”による | |

システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材<br>・<br>機器構成 | 装填機 | ■バルクエマルション製造･装填装置　および　その搭載用車両　一式で　移動式製造設備　を構成。<br>ホース 4 本での同時装薬作業が可能<br>  <br> |
| | 量の決定方法 | 孔装薬量は装填機によりポンプ調整により管理。<br>表示はg単位で設定可能だが、実質は 100g 単位での装薬管理は可能(10g単位の管理精度は保証できないレベル) |
| 動力 | 装填機 | 油圧パワーパックを使うことにより外部電源より油圧にて動力を得る |
| | 自走部 | 車両(4t平トラック、10t平トラック)によるが、ディーゼル車であることが法例示基準に示されている。 |

走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | タイヤ式（装薬装置を搭載する台車による） |
| 移動速度 | 装薬装置を搭載する台車(4t平トラック、10tトラック等) |
| 最小回転半径 | 装薬装置を搭載する台車による |
| 走行に関する制約 | 装薬装置を搭載する台車による |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | ■ホース先端ノズル内の静的ミキサにより複数材料が十分に混合されることで孔内にて爆薬化する方式。<br>■装填量管理は、装填機本体付属のタッチパネルで行う。装填操作は、タッチパネルの他、装薬者が保持するリモコン装置にて操作可能。<br>■孔装填はホース･ノズルを人力で孔内に装填する方式のほか、オートホースリールによりホース･ノズルを機械制御により挿入／装填／引抜管理することも可能。 |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | 特に制約なし |
| | 装填可能最大長 | 特に制約なし |
| | 雷管の適用径 | 特に制約なし |
| | 爆薬 | バルクエマルション |
| | 雷管 | ホースによる装填のため、静電気の影響のない導火管付雷管を推奨。 |
| 作業1回あたりの最大装填数(雷管) | | 特に制約なし |
| 作業1回あたりの最大装薬量(爆薬) | | 特に制約なし |
| 装薬孔位置検知方法 | | 現状は、作業員が手でホースを孔に合わせるため、現状、特段の検知方法は無い |
| 雷管との通信位置(※無線雷管の場合) | | — |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | C2-1 力触覚技術を応用した自動火薬装填システム | | | |
| 技術概要 | 本技術は、リアルハプティク技術により接触情報が双方向に伝わる装填ロボットを重機等に搭載し、切羽から離れた場所からリモコンロボットを操作し火薬の装填を行うものである。その遠隔操作時のデータを活用することで装填作業の自動化ができる。また、カメラによる孔検知とロボットの自動誘導による装填作業の自律化もできる。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 装薬 | 作業内容等 | 坑外遠隔装薬 |
| 外観図 | | | | |
| 作業手順 | | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・切羽に立入らず火薬の装填する遠隔化機能により安全性を向上できる。 | | |
| | 生産性 | ・記録した作業の再現による自動化機能により生産性を向上できる。<br>・カメラ等による孔検知技術との連動により、自律化機能により生産性を向上できる。 | | |
| その他の効果 | ・孔荒れ時も力触覚機能により、過度な負荷をかけずに、親ダイを孔尻まで装填できるため、暴発を防ぐことができる。<br>・過度な負荷がかかった時の安全装置により、装薬の安全性を確保できる。<br>・火薬装填の力加減を常に伝送する力触覚機能により安全性を向上できる。 | | | |
| 開発者 | ・大林組<br>・慶應義塾 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 渡辺　淳 | | |
| | Tel | 03-5769-1319 | | |
| | E-mail | watanabe.atsushi@obayashi.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | |
| | 高さ | |
| | 長さ | |
| | 重量（空車時） | |
| 移動手段 | トラック（オペレータ室（リモコン）） | |
| 積載の場合の対象車両 | ドリルジャンボ他チャージング台車（小断面の場合、レール専用台車等に搭載） | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 発破孔の孔荒れが激しい場合は不適 | |
| 利用に必要な資格 | 制約なし | |
| 概略費用 | ●本技術を用いた人件費、機械経費、材料費は未定である。 | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | 紙巻含水爆薬の場合、力触覚を利用した装填ロボットによる装填、もしくはエアーで圧送する装填機と装填ロボットの連携<br>粒状爆薬の場合、各爆薬によるエアーで圧送する装填機との連携 |
| | 通信可能距離 | 最大 320m の離隔で実施済み |
| | 通信遅延 | 専用の有線通信ケーブルによって各システムを接続しているため通信遅延はなし |
| | 安全機能 | 過剰な力が作用した際に安全装置が作動 |
| | ブーム数 | 1 ブーム |
| 動力 | 操作側 | 装填ロボット操作は電動 |
| | 動作側 | 装填ロボット操作は電動 |

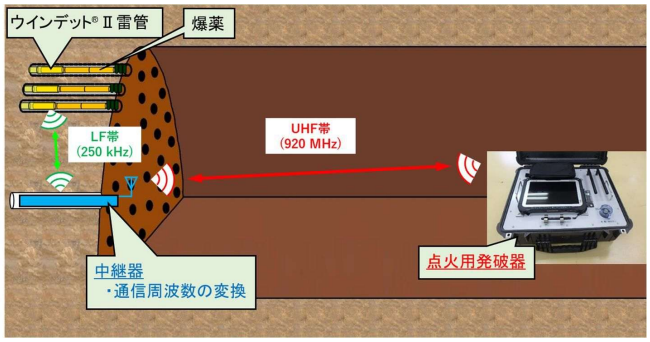
走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | 搭載車両による |
| 移動速度 | 搭載車両による |
| 最小回転半径 | 搭載車両による |
| 走行に関する制約 | 搭載車両による |

装薬性能

| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | |
| | 装填可能最大長 | |
| | 雷管の適用径 | |
| | 爆薬 | 爆薬の仕様は問わない。 |
| | 雷管 | 雷管の仕様は問わない。 |
| 作業1回あたりの最大装填数 | | |
| 作業1回あたりの最大装薬量 | | |
| 装薬孔位置検知方法 | | カメラにより孔を検知する。 |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | |

## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | | D1-1 無線電子雷管「ウインデット®Ⅱシステム」 | | |
| 技術概要 | | 起爆に必要なエネルギーの供給と点火指令を無線方式で行うことで、結線作業が不要になり、切羽に接近した作業を排除できる。同時に、装薬作業における雷管脚線の取扱いが不要になり、脚線の損傷による不発を防止する。<br>※「ウインデット」は日油株式会社の登録商標 | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 結線 | 作業内容等 | 脚線無線化 |
| 外観図 | |  | | |
| 作業手順 | | ・無線化した電子雷管により、切羽での結線作業を排除する。 | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・無線通信によって従来の有線式雷管の配線を無くし、落石の危険のある切羽周囲での結線作業を不要にすることで、発破作業の安全性を向上させる。 | | |
| | 生産性 | ・従来技術で必要となる結線作業を不要化することで、同作業に要する時間を省略することができると共に、爆薬装填機の完全機械化が可能となるため、省人化(自動化)が促進される。 | | |
| その他の効果 | | － | | |
| 開発者 | | 日油株式会社 | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 田中　健司 | | |
| | Tel | 03-5795-3852 | | |
| | E-mail | kenji_tanaka@nof.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 390mm(充電ユニット)、 530mm(発破器) |
| | 高さ | 250mm(充電ユニット)、 440mm(発破器) |
| | 長さ | 110mm(充電ユニット)、 210mm(発破器) |
| | 重量(空車時) | 3.9kg(充電ユニット)、 7.6kg(発破器) |
| 移動手段 | | ドリルジャンボ、爆薬装填機などに搭載(充電ユニット)、 ハンドキャリー(発破器) |
| 積載の場合の対象車両 | | ドリルジャンボ、爆薬装填機を搭載したトラック等 |
| 適用可能なトンネル規模 | | トンネル断面積:76m$^2$、 削孔長:2m(確認済み)。今後、さらに大断面での適用性を検討。 |
| 適用可能な地質・地山条件 | | 制約なし |
| 利用に必要な資格 | | 制約なし |
| 概略費用 | | 増加する費用:無線電子雷管(有線式電子雷管の数倍を見込む)と中継器のコスト、アクセサリ(無線発破器、充電ユニット)のレンタルコスト |

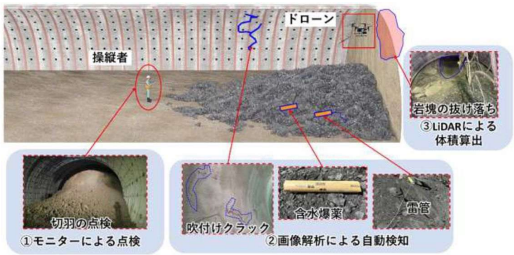
## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 充電方法 | 装填機等に搭載した専用充電装置によるワイヤレス充電 |
| | 周波数 | ウインデット®Ⅱ雷管～中継器:250kHz、中継器～発破器:920MHz |
| | 通信方向 | 双方向通信 |
| システム原理 | | ワイヤレス充電、および点火秒時設定、導通試験、点火指令等の点火シーケンスの無線通信化により、従来の有線式雷管の配線を無くし、切羽周囲での結線作業を不要とする。<br>無線通信の周波数に UHF 帯と LF 帯を使用することで、岩盤内に装填された無線電子雷管と双方向の無線通信を実施する。<br>雷管毎に点火秒時を 1～10,000ms の範囲で1ms 単位で任意に設定でき、発破を最適化する。 |

## 雷管性能

| | |
|---|---|
| 雷管径 | 32mm |
| 雷管長 | 207mm(雷管のみ)、346mm(雷管に爆薬を取り付けた親ダイ状態) |
| 通信可能距離 | 8m(岩盤内通信距離) |
| 通信可能時間 | 3 時間 |
| 作業 1 回あたりの同時使用本数 | 254 本 |
| 適用爆薬 | 含水爆薬ハイジェックス 25mm×100g(親ダイ用) |

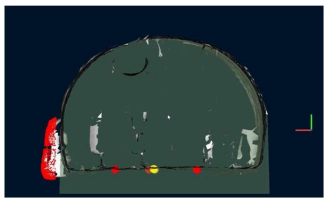
## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | | E1-1 発破後無人安全点検システム | | |
| 技術概要 | | 本技術は、ドローンに高精細カメラ 2 台と LiDAR、AI を搭載している。高精細カメラにより、発破後の切羽の状況や残留火薬・吹付けコンクリートに生じるクラックの有無をリアルタイムに判定し、LiDAR により切羽近傍の点群データを測定し掘削面の抜け落ちを判定する。<br>これらにより、発破後に人が切羽に立入ることなく、掘削面や不発残留火薬の点検・確認を実施できる。<br>発破後の掘削面や不発残留火薬、抜け落ち量等の点検・確認ができる。<br>点検・確認作業を機械化できる。<br>高精度に吹付け面のクラックや抜け落ち量を算出できる。 | | |
| カテゴリ | | 支援対象とする主な発破作業 | 発破終了確認 | 作業内容等 | 画像・スキャン |
| 外観図 | |  | | |
| 作業手順 | | ・発破後の掘削面や不発残留火薬, 抜け落ち量等の点検・確認ができる。<br>・点検・確認作業を機械化できる。<br>・高精度に吹付け面のクラックや抜け落ち量を算出できる。 | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・切羽に人が立ち入ることなく、発破後の点検・確認作業が行えるため、安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・点検・確認作業を従来の人から機械化することで、省人化につながり、生産性が向上する。 | | |
| その他の効果 | | － | | |
| 開発者 | | 清水建設株式会社 | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 福田　毅 | | |
| | Tel | 080-8055-0699 | | |
| | E-mail | tys.fukuda@shimz.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 670mm |
| | 高さ | 430mm |
| | 長さ | 810mm |
| | 重量(空車時) | 9.2kg |
| 移動手段 | | 非自走型 |
| 積載の場合の対象車両 | | 普通自動車 |
| 適用可能なトンネル規模 | | 制約なし |
| 適用可能な地質・地山条件 | | 制約なし |
| 利用に必要な資格 | | 制約なし |
| 概略費用 | | ・機械経費(ドローン, 高精細カメラ, LiDAR)：月額 54,000 円(リース)<br>・システム利用費：月額 30,000 円 |

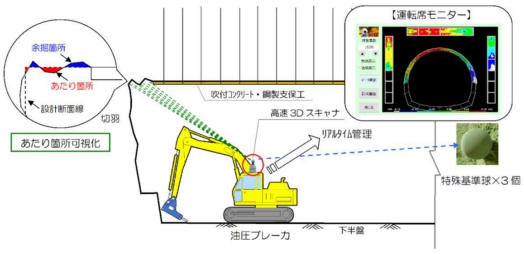
## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 搭載センサ | Lidar、カメラ |
| | 通信機能 | ローカル wifi、Bluetooth |
| 入力データ | | 飛行指示 |
| 出力データ | | ヒートマップ、検知画像、点群データ |
| 表示画面例 | |  抜け落ち体積の算出<br> クラック検知の様子<br> 火薬の脚線検知の様子 |

走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | 空中(ドローン) |
| 移動速度 | 23m/s |
| 最小回転半径 | ― |
| 走行に関する制約 | 目視内での飛行とする、切羽等の接触に注意する。(障害物センサ付属) |

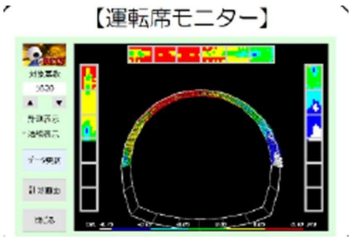
## 基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | E1-2 切羽掘削形状モニタリングシステム | | | |
| 技術概要 | 発破完了後の切羽において掘削作業を行う重機に搭載した高速 3D スキャナで切羽の掘削形状を計測し、余掘り、アタリを重機キャビン内のモニタにヒートマップ表示させることで、切羽に作業員が立入ることなく掘削の過不足(余掘り、あたり)の把握が可能である。また、本システムで取得した余掘り、あたり量を基に削孔位置、孔数、装薬量等の見直しを常時行うことで発破パターンに応じた削孔作業が可能となる。 | | | |
| カテゴリ | 支援対象とする主な発破作業 | 発破終了確認 | 作業内容等 | 画像・スキャン |
| 外観図 |  | | | |
| 作業手順 | ・スキャナ計測(±30～50mm 精度)であたり必要箇所を定量可視化する。 | | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・従来、発破完了後の切羽掘削の過不足(余掘り、あたり)の確認は作業員が切羽直下に立入り目視にて行い、レーザーポインター等で重機オペレータに指示を出していたため、切羽の肌落ち、崩落による被災、重機との接触等の労働災害が発生しやすい作業であった。しかし、本技術により重機の運転席モニターで掘削の過不足が可視化されるため、切羽直下に立入って目視確認する必要が無くなるため、安全性が向上する。 | | |
| | 生産性 | ・余掘り・あたり確認において、作業人員が不要となる。 | | |
| その他の効果 | ・油圧ショベルのキャビン上に搭載した高速 3D スキャナで切羽掘削形状を 3 次元データで取得し、設計断面と比較することであたり箇所を定量的に可視化することができるため、発破パターンの見直しが可能となり、削孔位置、孔数、装薬量など常時修正することで発破作業の生産性が向上する。 | | | |
| 開発者 | 西松建設株式会社 | | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | 山本　悟 | | |
| | Tel | 090-7083-3646 | | |
| | E-mail | satoru_yamamoto@nishimatsu.co.jp | | |

## 基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 800mm |
| | 高さ | 500mm |
| | 長さ | 800mm |
| | 重量(空車時) | 25kg(架台および高速 3D スキャナ) |
| 移動手段 | 重機への積載 | |
| 積載の場合の対象車両 | ブレーカ等の重機 | |
| 適用可能なトンネル規模 | 制約なし | |
| 適用可能な地質・地山条件 | 制約なし | |
| 利用に必要な資格 | 車両系建設機械:1 人(油圧ブレーカや切削機に搭載して動作させるため) | |
| 概略費用 | ・設置撤去費(人件費):200 万円<br>・システムレンタル(機械経費):60 万/月(24 ヵ月) | |

## システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 搭載センサ | 高速 3D スキャナ |
| | 通信機能の方法 | Wi-Fi |
| 入力データ | 3D スキャンデータ、トンネル断面データ、トンネル線形データ | |
| 出力データ | 余掘・あたり箇所のヒートマップ | |
| 表示画面例 |  | |

走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | 搭載重機による |
| 移動速度 | 搭載重機による |
| 最小回転半径 | 搭載重機による |
| 走行に関する制約 | 搭載重機による |

基本項目

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 技術番号・名称 | | F1-1 自動装薬機 Avatel | | |
| 技術概要 | | 世界初の完全機械化された装薬専用機。<br>手作業での装薬作業が不要になり、トンネル切羽から 5m 以上離れた安全なキャビン操作室から、1 人のオペレーター操作者が装薬作業の全工程を実行できる。<br>コンピュータジャンボの削孔座標と互換性があり、装薬ブームをナビゲートして、精確な装薬が可能になる。<br>無線雷管＋バルクエマルション爆薬に対応しており、結線作業が不要。 | | |
| カテゴリ | | 支援対象とする主な発破作業 | 装薬・結線 | 作業内容等 | 統合型遠隔操作 |
| 外観図 | | | | | |
| 作業手順 | | ① 発破計画を操作コンソール LOADPlus にダウンロード<br>② 坑内の保管庫から、無線雷管 WebGen を自動装薬機 Avatel のマガジンにセット<br>③ 自動装薬機 Avatel を切羽まで走行<br>④ テスト用の無線雷管 WebGen を孔奥まで挿入して、テスト信号の送受信を確認<br>⑤ ブーム搭載のメタルブラシ、排水ポンプで踏前孔の周辺を清掃<br>⑥ ズームカメラで孔口を視認しながら、ブームを装薬孔までナビゲート<br>⑦ エマルジョン注入ホースを孔奥まで挿入して、異物の有無を確認 → エアフラッシング<br>⑧ マガジン内で無線雷管 WebGen とブースターPentex を接続して、ブーム先端のエンコーダまで発進<br>⑨ ブーム位置（孔位置）を認識して、エンコーダが無線雷管 WebGen に起爆設定（段数、遅延時間）を登録 | | |
| 期待される効果 | 安全性 | ・トンネル切羽から 5m 以上離れた安全なキャビン内から遠隔操作する事で、トンネル切羽での作業者の危険作業を防ぎ、安全性を向上させる。<br>・無線雷管＋バルクエマルション爆薬に対応しており、結線作業が不要。 | | |
| | 生産性 | ・雷管の接続・圧送、装薬孔の清掃・装填を自動制御して、同一品質の装薬を繰り返し再現します。<br>・コンピュータジャンボの削孔座標との互換性により、自動装薬機 Avatel のブーム操作のナビゲーションにかかる負担・時間を短縮できる。<br>・装薬作業にはオペレーター1 人しか必要とせず、作業員・作業時間を削減します。 | | |
| その他の効果 | | ・孔フラッシング、バルクエマルション爆薬の注入はオート自動で実行される為、操作者の負担を軽減できる（操作ミスも軽減）。<br>・Avatel 搭載の装置で接続・エンコードされた無線雷管 WebGen が、数百メートル離れた場所からの遠隔起爆を可能にします。<br>・バルク硝酸アンモニウム乳剤（ANE）は、装填量（爆薬エネルギー）を孔毎に制御できる「ストリング装填」が可能である。 | | |
| 開発者 | | Orica Ltd. | | |
| 連絡先等 | 担当窓口 | Ben Taylor / Andrew Hsu | | |
| | Tel | | | |
| | E-mail | ben.taylor@orica.com / andrew.hsu@orica.com | | |

基本性能

| | | |
|---|---|---|
| 寸法・重量 | 幅 | 2,300mm |
| | 高さ | 3,173mm |
| | 長さ | 14,014mm |
| | 重量（空車時） | 28,400kg（前輪荷重 18,300kg、後輪荷重 10,100kg） |
| 移動手段 | | 自走型 |
| 積載の場合の対象車両 | | －（対象外） |
| 適用可能なトンネル規模 | | 幅 10,200mm×高 7,289mm（円弧を含めない正方エリアの場合、幅 6,500mm×高 6,500mm） |
| 適用可能な地質・地山条件 | | |
| 利用に必要な資格 | | 火薬類製造保安責任者、火薬類製造営業許可 |
| 概略費用 | | ・機械経費 約 350－400 百万円/台（自動装薬機 Avatel）<br>・材料費 約 3.0－3.5 万円/孔（無線雷管 WebGen）<br>・装薬作業者 4 名→1 名（12 百万円/人年×4 名→1 名） |

システム概要

| | | |
|---|---|---|
| 使用機材・機器構成 | 装填機 | 車体前方ブーム（2 本）<br>セミオート制御（ブーム移動はレバーによるマニュアル操作）<br>（孔フラッシング、無線雷管「WebGen」の設置、バルクエマルション爆薬の注入はオート自動）<br>無線雷管「WebGen」に段数・遅延時間を登録するエンコーダ<br>踏前孔を清掃できるメタルブラシ、給水ポンプ |
| | 車体 | 車体キャリア<br>雷管「i-kon」＋送受信機「DRX」と、ブースター「Pentex」を別々に搭載するマガジン<br>無線雷管「WebGen」の接続装置（雷管「i-kon」＋ブースター「Pentex」＋送受信機「DRX」）<br>ブーム搭載の起爆設定エンコーダまでの射出装置<br>バルクエマルション主剤（硝酸アンモニウム）を保管するサイロ |
| | その他システム | その他<br>コンピュータジャンボの削孔座標を参照する発破計画ソフト「SHOTPlus」<br>走行、ブーム動作の操作コンソール「RCS」<br>装薬の操作コンソール「LOADPlus」 |
| | ブーム数 | 2 |
| 動力 | 装填機 | 電気／ディーゼル |
| | 自走部 | ディーゼル |

走行性能

| | |
|---|---|
| 走行方式 | タイヤ方式 |
| 移動速度 | 時速 15km |
| 最小回転半径 | 内 R4,420mm／外 R8,380mm（アーティキュレート 41°） |
| 走行に関する制約 | 電源ケーブル 200m |

装薬性能

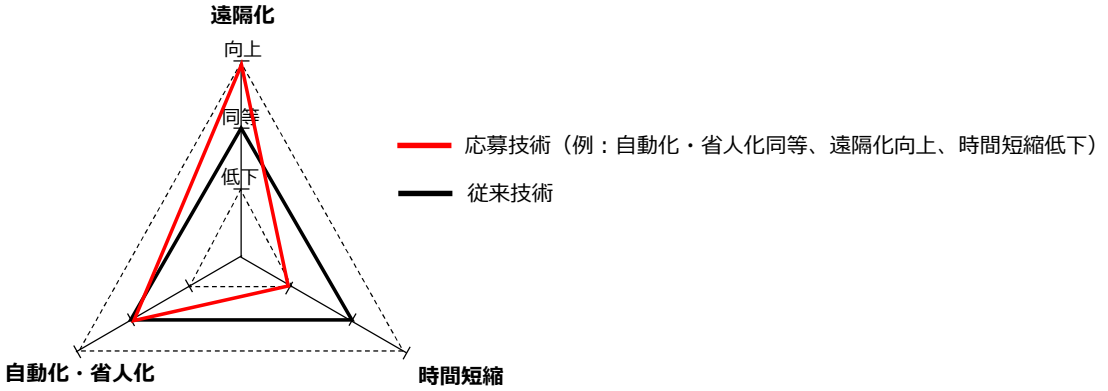
| | | |
|---|---|---|
| 装薬方法 | | |
| 適用範囲 | 装薬可能範囲 | 自動装薬機 Avatel ブームリーチ：幅 10.2m×高 7.3m（65m2 相当） |
| | 装填可能最大長 | 6.0m |
| | 雷管の適用径 | 34mm |
| | 爆薬 | バルクエマルション |
| | 雷管 | WebGen200 |
| 作業1回あたりの最大装填数（雷管） | | 90 本（マガジンを再装填すれば追加可能） |
| 作業1回あたりの最大装薬量（爆薬） | | 975kg |
| 装薬孔位置検知方法 | | コンピュータジャンボの削孔座標との互換性 |
| 雷管との通信位置（※無線雷管の場合） | | ブーム先端（エンコーダ） |

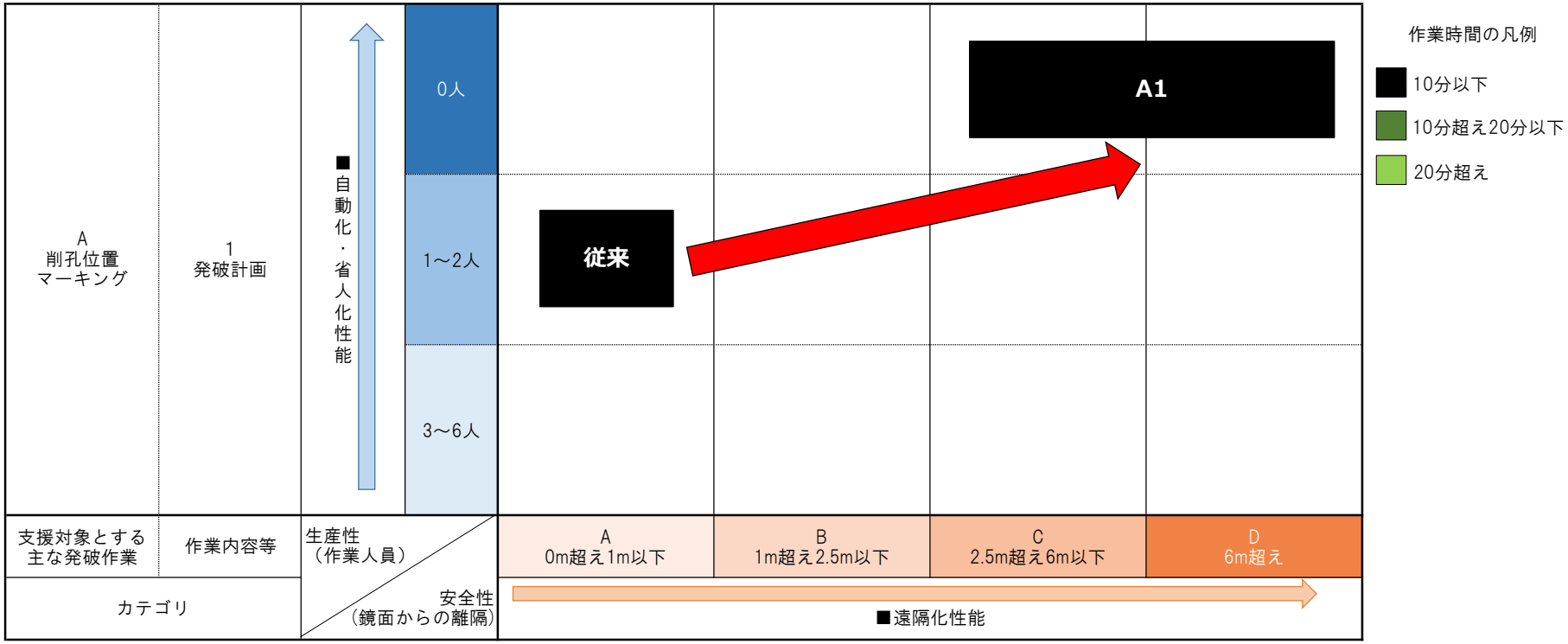
雷管性能

| | |
|---|---|
| 雷管径 | 34mm |
| 雷管長 | 331mm |
| 通信可能距離 | 1,000m |
| 通信可能時間 | 60 日（エンコーダでの起爆設定後、60 日間は起爆指令を受付可能） |
| 作業1回あたりの同時使用本数 | 90 本（マガジンを再装填すれば追加可能） |
| 適用爆薬 | バルクエマルション |

# 性　能　確　認　結　果

- 技術のカテゴリの性能を作業項目ごとに「自動化・省人化（作業人員）」、「遠隔化（切羽鏡面からの離隔距離）」、「時間短縮（作業時間）」の観点から整理したもの。
- 各技術の性能（作業人員、切羽鏡面からの離隔距離、作業時間）は、各技術の応募者からの申請結果に基づく（個別の性能検証は実施しておらず、確認結果を保証するものではない）。
- 性能確認結果を技術のカテゴリごとに整理することで、各技術の現況の把握が可能となる。
- 発破作業の各項目の従来手法による性能は、施工会社へのアンケート調査に基づき設定した。
- 各技術の性能を確認した際のトンネル条件は以下の通り。
  - ✓ 断面規模：二車線道路トンネル程度（掘削断面積：80m$^2$程度）
  - ✓ 地山等級：ＣＩ程度
  - ✓ 岩石グループ：塊状の硬質岩（一軸圧縮強度：80N/mm$^2$以上）
  - ✓ 掘削工法：全断面掘削工法
- レーダーチャートは、各作業項目の従来手法の性能を黒線で示し、それに対して各技術を利用した場合に期待される性能を赤線で示している。



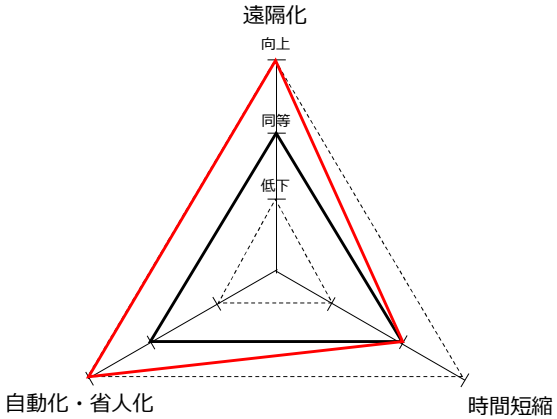


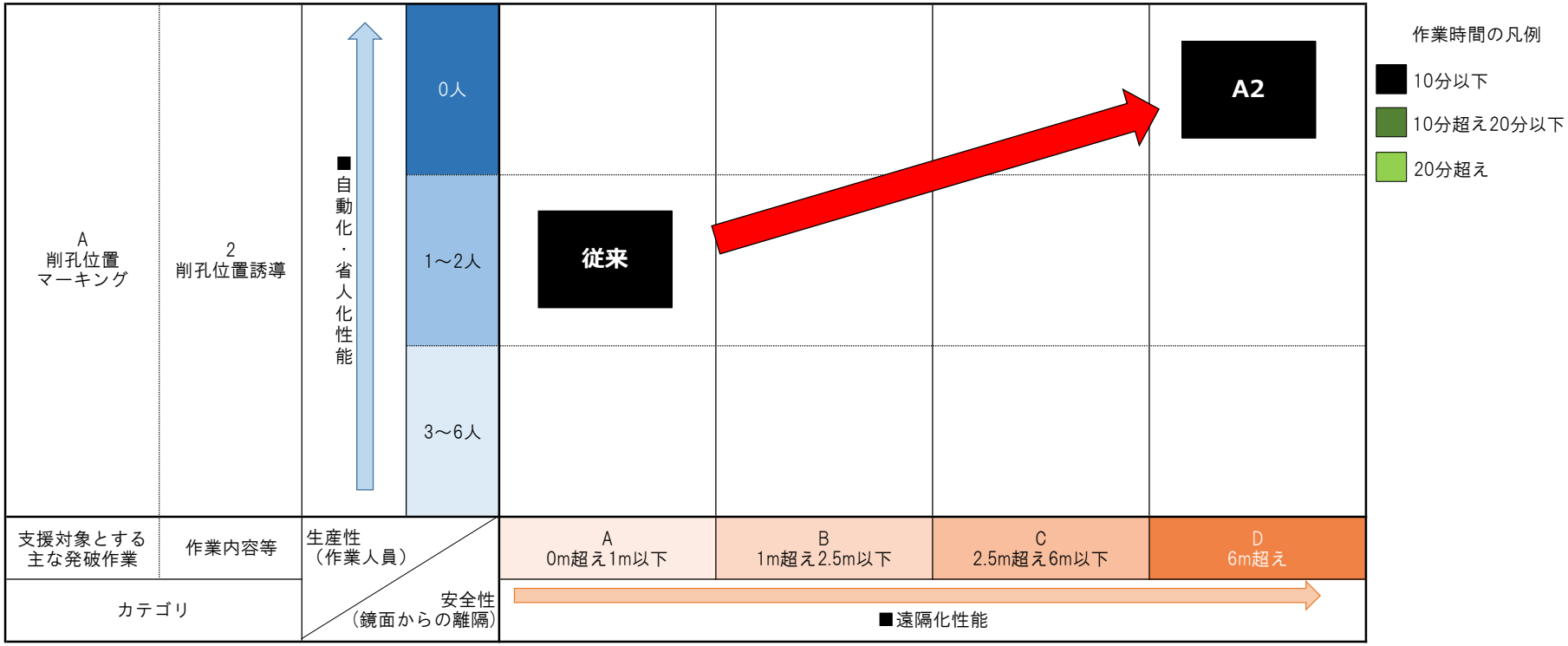

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| A1-1 | 鹿島建設 | 最適発破設計システム |
| A1-2 | 鴻池組 | AIによるトンネル地山評価システム |
| A1-3 | 佐藤工業 | 発破パターン自動適正化システム |
| A1-4 | 清水建設 | 発破パターン設計・シーケンス設計を自動かつ同時に実現する余掘り低減技術「ブラストマスタⅡ」 |

※表中の「A1」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



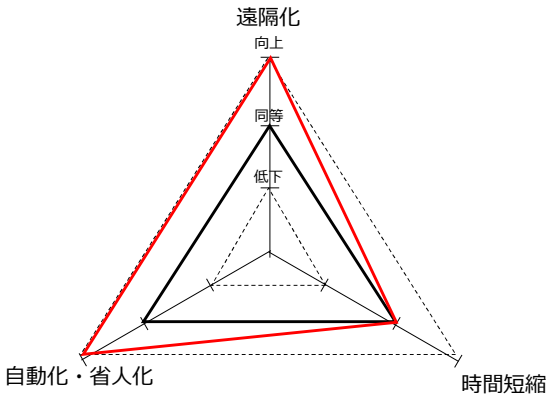


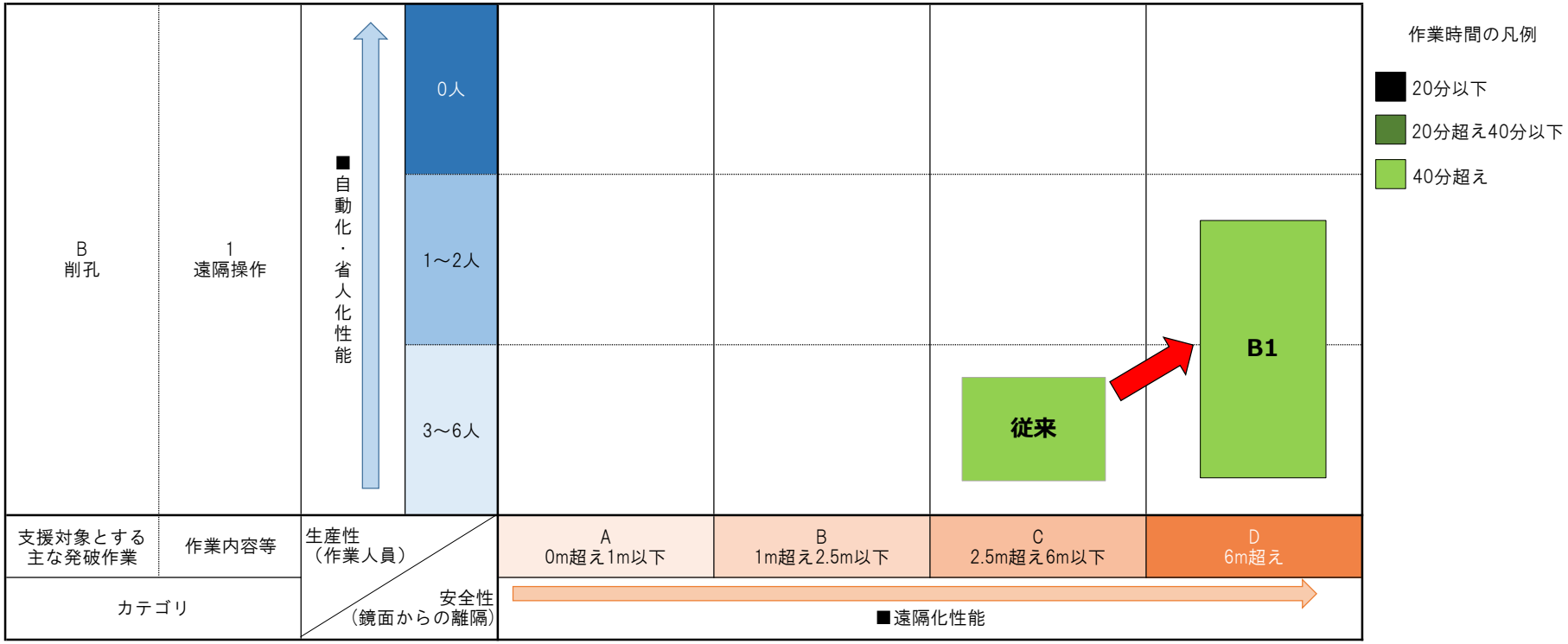

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| A2-1 | 鴻池組 | ドリルNAVI |

※表中の「A2」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



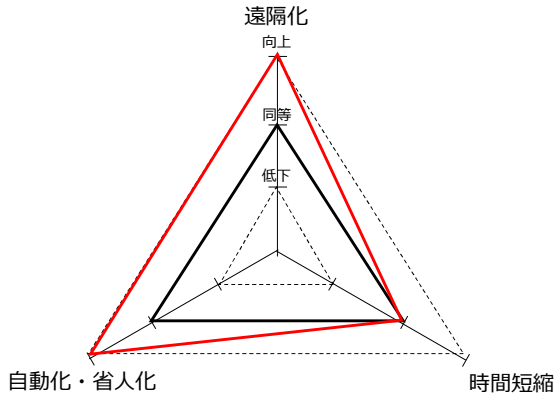


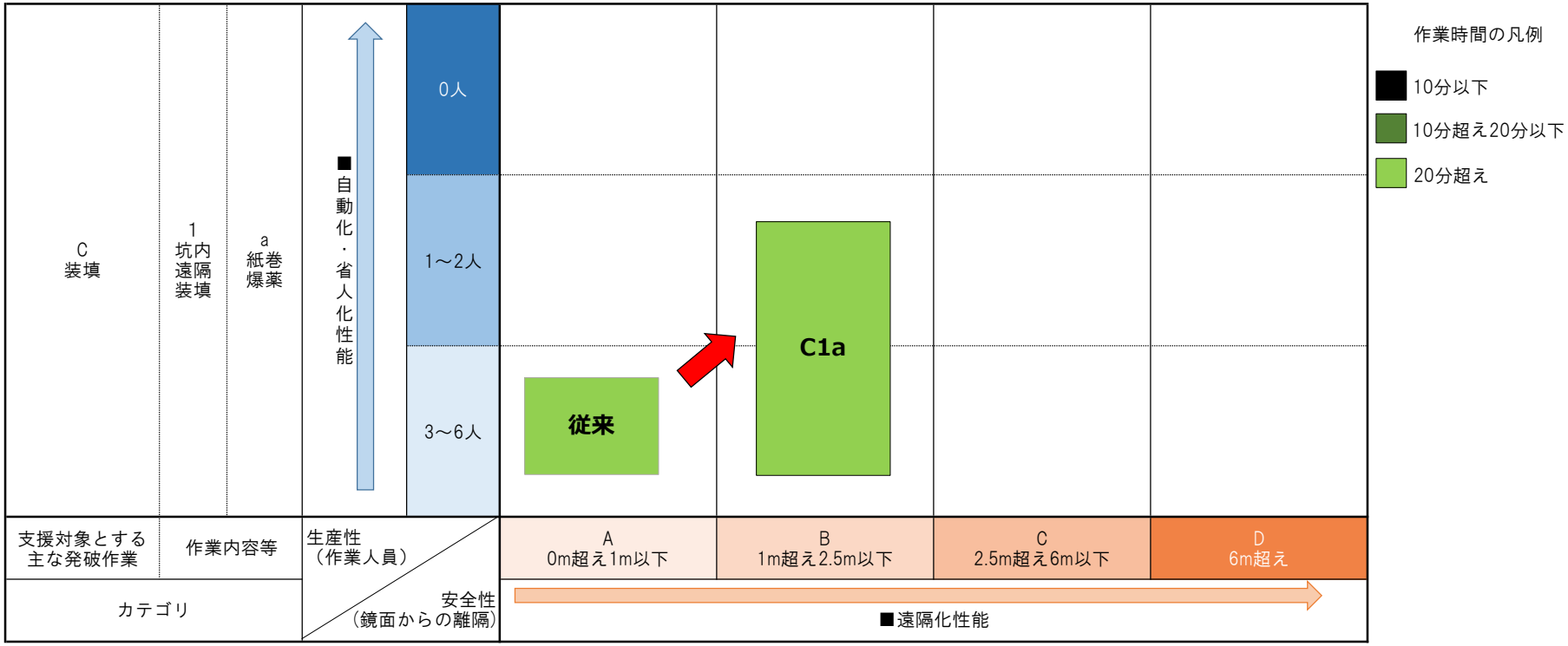

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| B1-1 | 安藤・間 | ジャンボ遠隔化システム |
| B1-2 | 西松建設 | ドリルジャンボ遠隔操作システム「Tunnel RemOS-Jumbo」 |

※表中の「B1」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



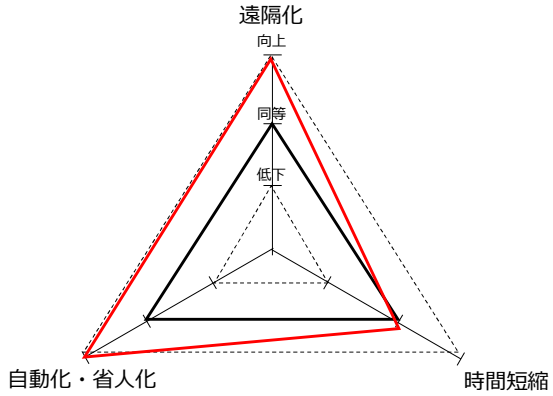


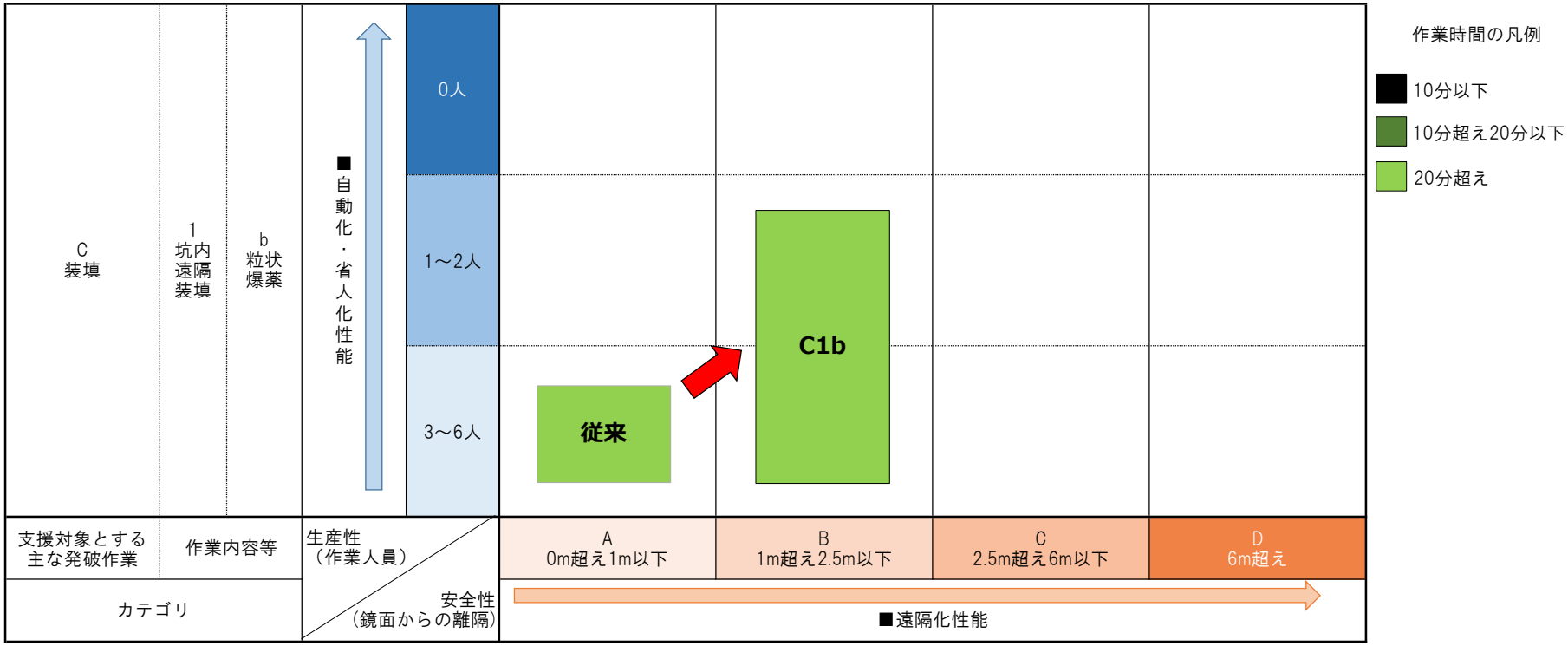

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| C1a-1 | 熊谷組 | 爆薬の遠隔装填システム |
| C1a-2 | カヤク・ジャパン | SSS装填機を使用した遠隔装填システム |
| C1a-3 | ジャペックス | 爆薬遠隔装填システム「セーフチャージャー®」 |
| C1a-4 | 大成建設 | 爆薬装填装置「T-クイックショット」 |

※表中の「C1a」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



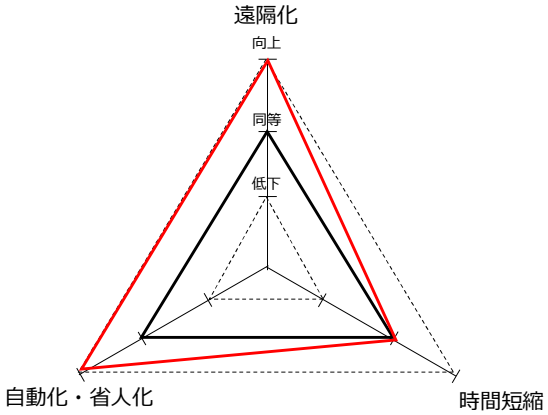


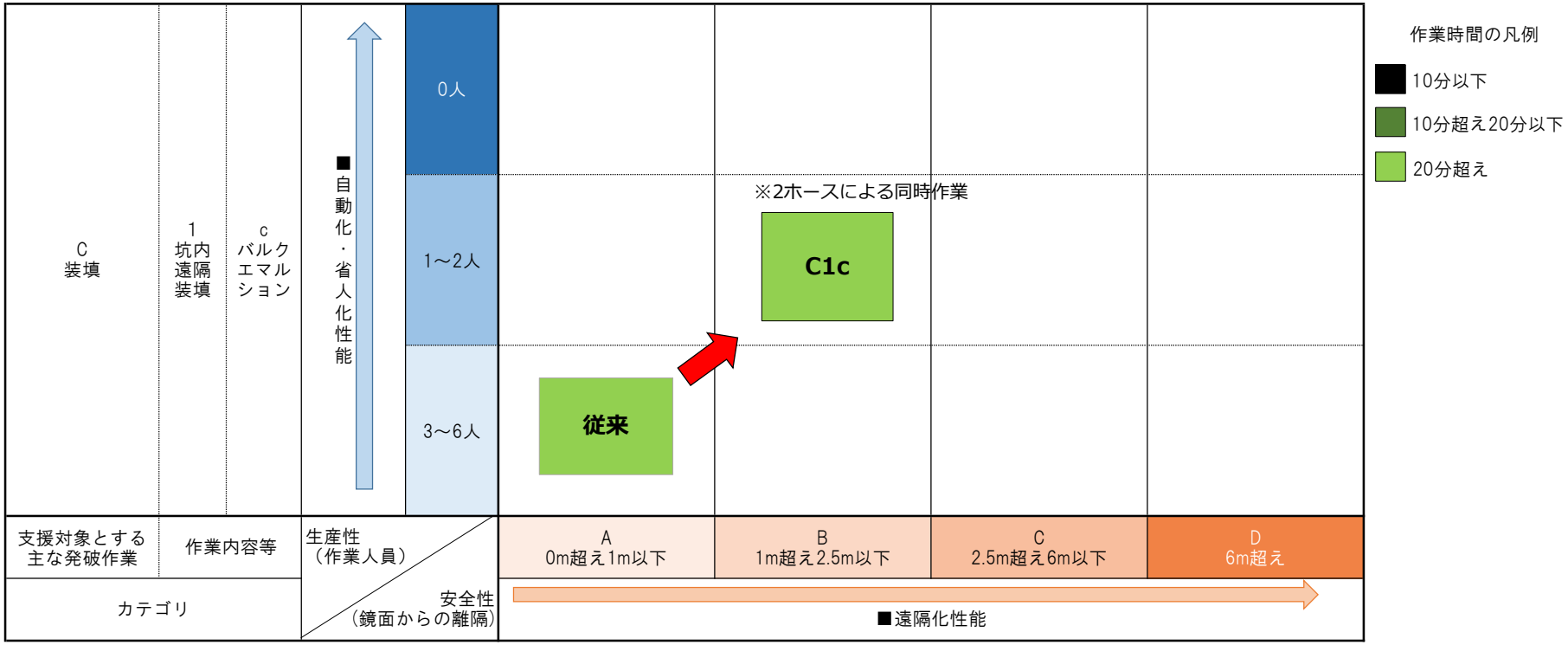

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| C1b-1 | カヤク・ジャパン | ランデックス装填機を使用した遠隔装填システム |
| C1b-2 | カヤク・ジャパン | ANFO装填機を使用した遠隔装填システム |
| C1b-3 | ジャベックス | 爆薬遠隔装填システム「ＡＮＦＯ装填機」 |

※表中の「C1b」は各開発者から申請された性能の範囲であり、最頻の性能を大きな枠で示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



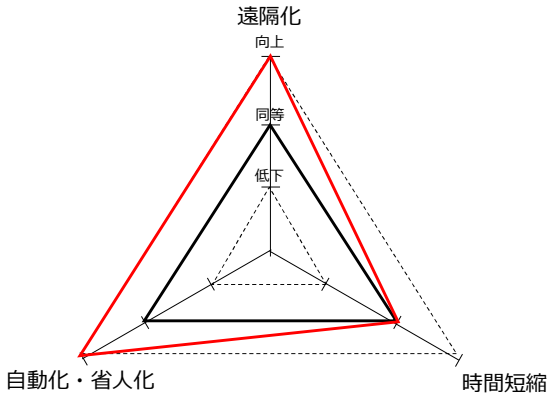


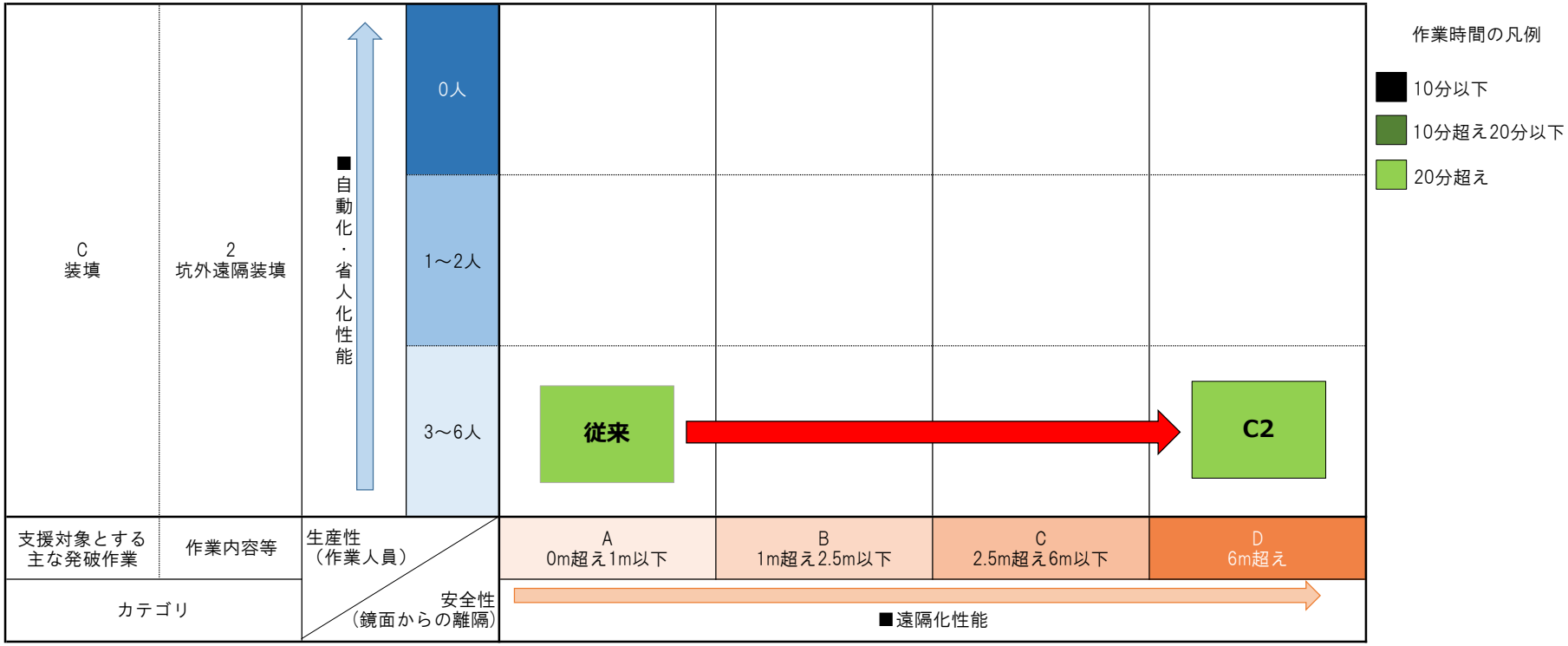

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| C1c-1 | 戸田建設 | バルクエマルション爆薬 |
| C1c-2 | 鹿島建設 | バルクエマルション爆薬装填 |

※表中の「C1c」は各開発者から申請された性能の範囲である。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



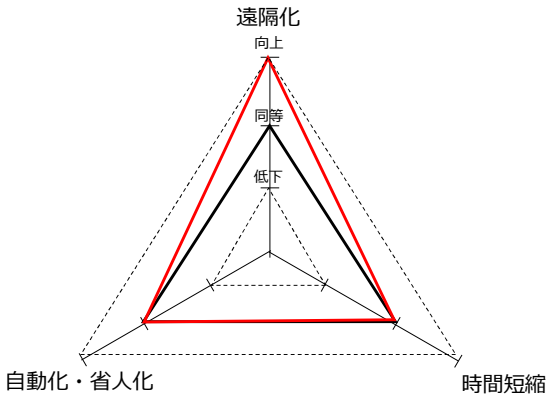


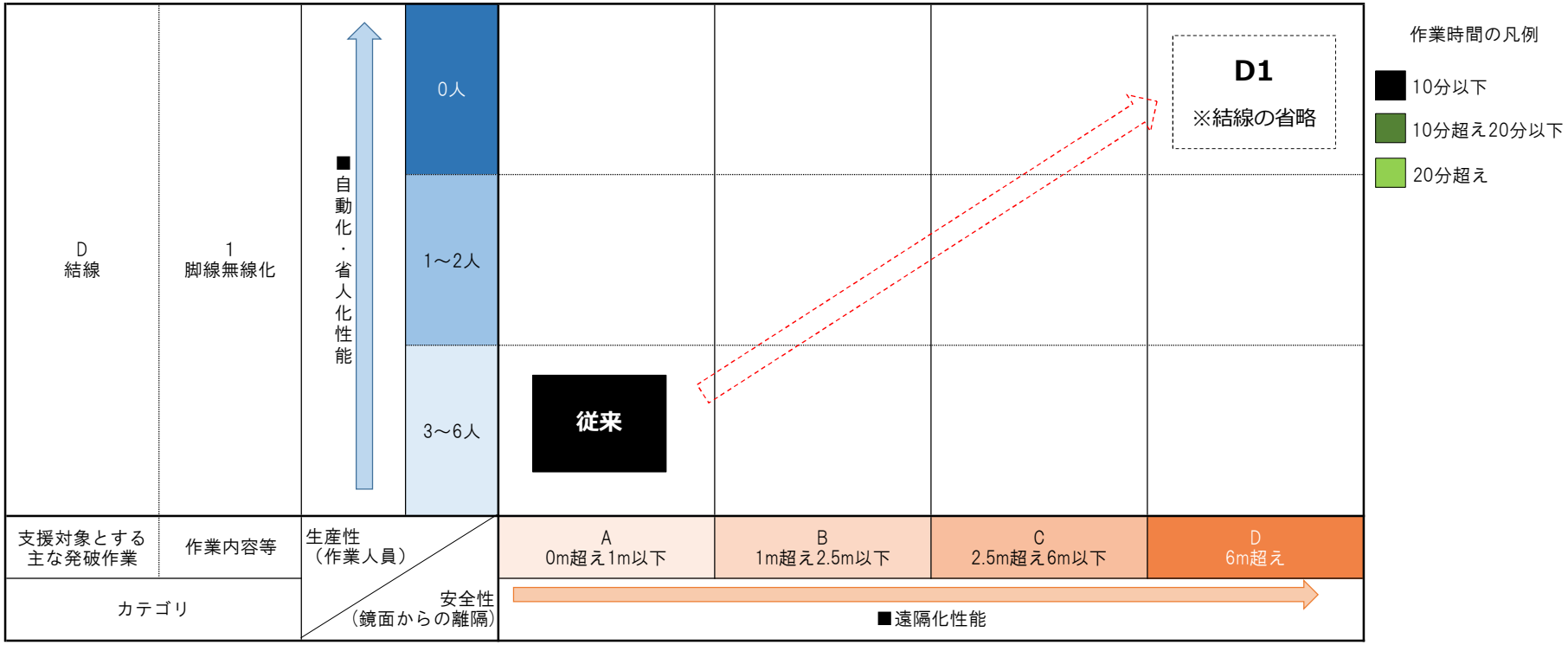

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| C2-1 | 大林組・慶應義塾 | 力触覚技術を応用した自動火薬装填システム |

※表中の「C2」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



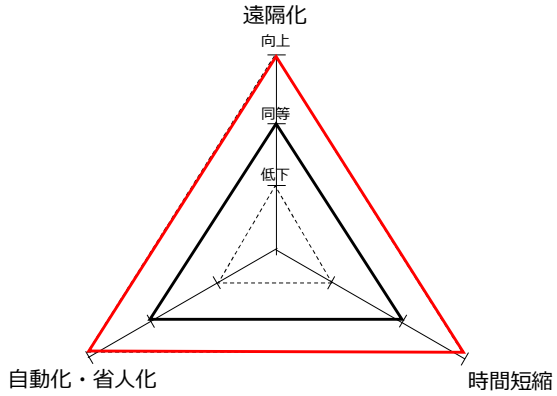


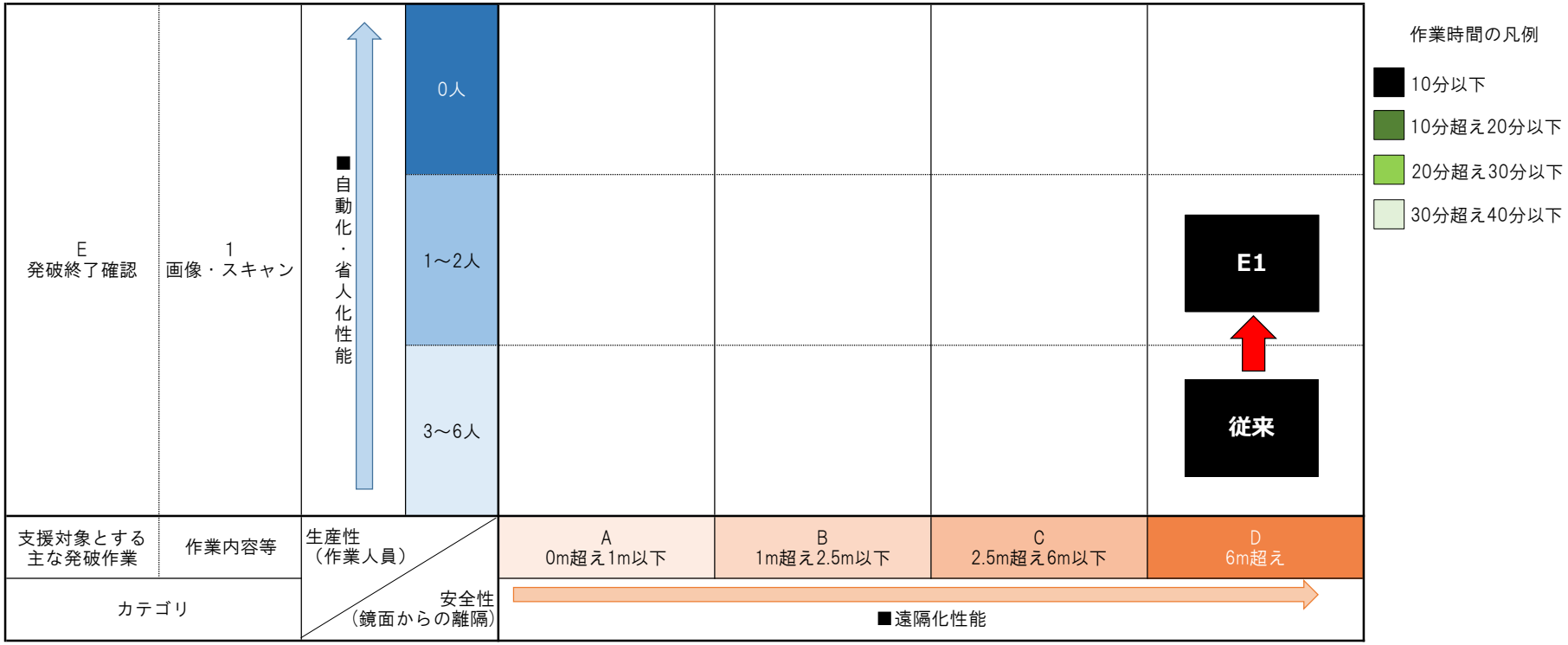

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| D1-1 | 日油 | 無線電子雷管「ウインデット®Ⅱシステム」 |

※表中の「D1」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



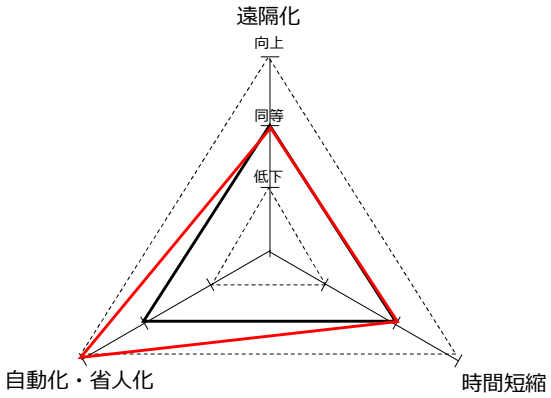


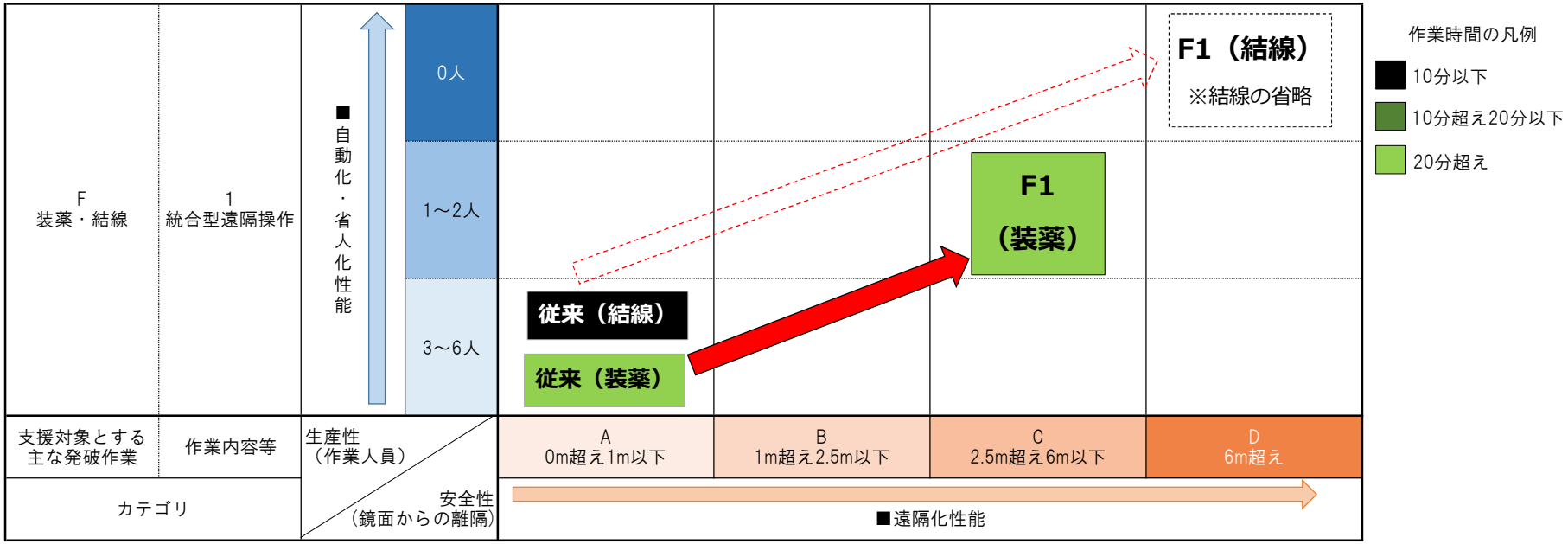

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| E1-1 | 清水建設 | 発破後無人安全点検システム |
| E1-2 | 西松建設 | 切羽掘削形状モニタリングシステム |

※表中の「E1」は各開発者から申請された性能の範囲である。

※表中の「従来」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



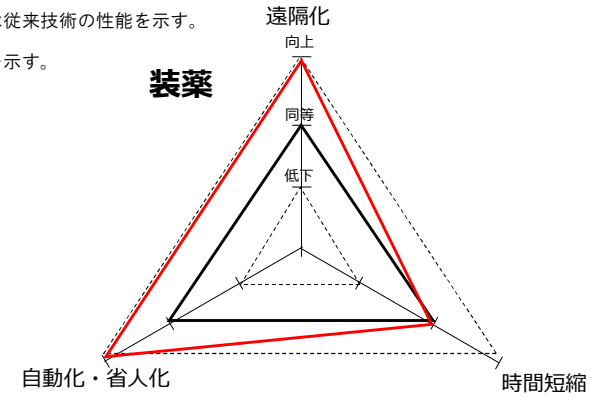


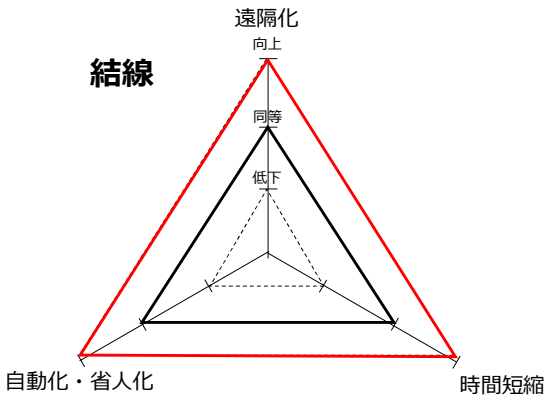

| 技術番号 | 開発者 | 技術名 |
|---|---|---|
| F1-1 | Orica | Orica and Epiroc Avatel™ |

※表中の「F1（装薬）」「F1（結線）」は各開発者から申請された性能の範囲を示す。

※表中の「従来（装薬）」「従来（結線）」は従来技術の性能を示す。

※レーダーチャートは応募技術の最頻の性能を示す。



# 第４章　更なる導入促進に向けた取組み

## ４．１　法令・基準類への対応

国土交通省等における道路トンネル工事においては、道路構造物の主に品質確保の観点からは、道路トンネル技術基準および関係基準類の順守あるいは留意が求められ、工事中の安全の観点からは、労働安全衛生法の関係法令および関係基準類の順守等が求められる。また、トンネルの発破掘削において火薬を使用する場合は、火薬取締法の関係法令および関係基準類の順守等が求められる。

自動化や遠隔化等の新たな技術の活用においては、これらの法令や関係基準類の改定や充実により、省人化や安全確保、効率化等の効果の更なる向上が図られる可能性がある。そこで、今回、技術の応募者からの提案や委員会における有識者からの助言、現場実態等を踏まえ、それらの更なる改善が図られる可能性がある法令や基準類についてとりまとめた。

技術の利用や活用促進にあたって、順守や配慮が必要になると考えられる法令・基準類を表-4.1に整理している。また、技術を実用化する上で各開発者が順守や配慮が必要になると想定される法令・基準類を表-4.2に整理している。

表-4.1　技術の利活用に関連する法令・基準類

| 法令・基準類 | 所管等 | 概　要 | 求められる対応等 |
|---|---|---|---|
| 火薬類取締法 | 経済産業省 | 火薬類の取り扱いに関する法律 | ・対応が必要な条文抽出・確認 |
| 消防法 | 総務省消防庁 | 危険物の取り扱い等に関する法律 | ・危険物（爆薬中間体等）の輸送・貯蔵に関する条文の抽出・確認 |
| 切羽における肌落ち災害防止対策ガイドライン | 厚生労働省 | 労働安全衛生関係法令と相まって、肌落ち防止対策を適切に実施することを目的としたもの。事業者が講ずることが望ましい事項として「切羽への立ち入りを原則として禁止」が明示されている。 | ・遠隔化技術の例示 |
| 道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 | 日本道路協会 | 道路法に定める道路を山岳トンネル工法（NATM）で建設するときに適用する基準を開設するもの。基準そのものは強制力が高い。 | ・各技術の例示 |
| 土木工事安全施工技術指針 | 国土交通省 | 土木工事における施工の安全を確保するため、一般的な技術上の留意事項や施工上必要な措置等を示したもの（「土木工事共通仕様書（案）」の中の安全に関する項目を特化したイメージ）。安全を確保するうえで順守すべき法律や工事を進めるうえで守るべき事項が記載されている。 | ・遠隔化技術の利用の例示 |
| 道路トンネル安全施工技術指針 | 日本道路協会 | 土木工事安全施工技術指針を補完するとともに、トンネル技術者の技術上の知識・判断基準の一助を目的としたもの。 | ・遠隔化技術の利用の例示 |

表-4.2　技術を実用化する上で各開発者が今後確認等を要すると想定する法令・基準類と内容、ならびに国内での対応事例

| 火薬類取締法 | | |
|---|---|---|
| 条項 | 確認を要すると想定する内容（開発者意見） | 国内での対応事例 |
| 第7条　許可の基準<br>第9条　製造施設及び製造方法<br>第15条　完成検査 | 火薬の移動式製造設備に該当する技術について<br>・適合する構造・設備の認可が必要 | （バルクエマルション）<br>・トンネル坑内での装薬機の使用について認可を得た |
| 第30条　保安責任者及び副保安責任者 | 火薬の移動式製造設備に該当する技術について<br>・「火薬類製造保安責任者」の有資格者にしか自動装薬機Avatelの操作コンソール「LoadPlus」を操作できない | （バルクエマルション）<br>・装薬時に「火薬類製造保安責任者」の有資格者2名を切羽に配置することで製造の許可を得た |
| **火薬類取締法施行規則** | | |
| 条項 | 確認を要すると想定する内容（開発者意見） | 国内での対応事例 |
| 第51条1項<br>火薬類を収納する容器は、木その他電気不良導体で作った丈夫な構造のものとし、内面には鉄類を表さないこと。 | 「内面に鉄類を表さないこと」の改正が望まれる | なし |

法令・基準類への対応により実用化した直近の事例として「バルクエマルション爆薬」があげられる。バルクエマルションは、

- 輸送時は爆薬ではなく危険物である（国内で主に流通しているANFO爆薬や含水爆薬は爆薬の状態で輸送される）。
- 装薬の段階でANE（爆薬中間体）と発泡剤を混合することで爆薬化される。
- 装薬時に爆薬化されることが爆薬の製造行為に相当するため、装薬には爆薬製造の有資格者が常駐する必要がある。

という特徴を有している（図-4.1参照）。このため近年まで日本国内のトンネルでは実用事例がなかったが、2024年にバルクエマルションによるトンネル発破事例が公表された（本中間とりまとめの技術No.C1c-1およびNo.C1c-2）。当該技術の実用化には有資格者の確保だけではなく、様々な手続きを要しており、今後、他の技術を導入する際の参考となるようにバルクエマルションの実用までの手続き上の課題等を以下にとりまとめる。

- 海外では主流の技術であっても、国内の現行法下で安全かつ有用であることを示す必要がある。
- 既往の実績では、現場での実用までに数年にわたる手続きが必要である。これは、同様の前例がないことに起因すると考えられる。バルクエマルションの普及のためには、手続きの簡素化が求められる。
- 国内では現場でのバルクエマルションの利用には、製造責任者の資格保有者の立会を必須とすることが求められているが、当該資格の取得は難易度が高く容易に取得すること

ができない。今後、バルクエマルションの普及を促進するためには、トンネル施工への適用に限定した資格制度の変更などが考えられる。

■ 国内では、バルクエマルションの装薬時に爆薬製造の資格者2名の立会が求められているが、昼夜施工を行う現場では常時2名の有資格者を現場へ配備することは困難である。バルクエマルションの普及には、立会者に関する規制の緩和が求められる。

また、バルクエマルションの普及のためには、上記の手続き上の課題以外に以下についての対整理・確認・対応が考えられる。

- 危険物の輸送・・・危険物の大容量輸送に関連する消防法への対応が必要である。
- 危険物の保管・・・現場内にANE等を保管するための保管庫の仕様の検討が必要である。
- 現場での製造となるため、品質・性能保証は材料を供給する側なのか、製造する側なのかの整理・・・海外ならびに国内の先行事例では、現場での製造に関わる全員がメーカによる講習を受講したうえで、メーカが品質・性能保証をしている。
- 移動式製造設備に対する整理・・・トンネルにおけるバルクエマルション爆薬の製造は一時的かつ限定的な活動であるため、通常の製造で求められる資格等の緩和措置が求められる。
- 安全基準のガイドライン化・・・現場製造に特化した安全基準やガイドラインを策定することで、関係者が遵守すべき項目が明確化され、業界の共通ルールとして円滑な運用に寄与できる。

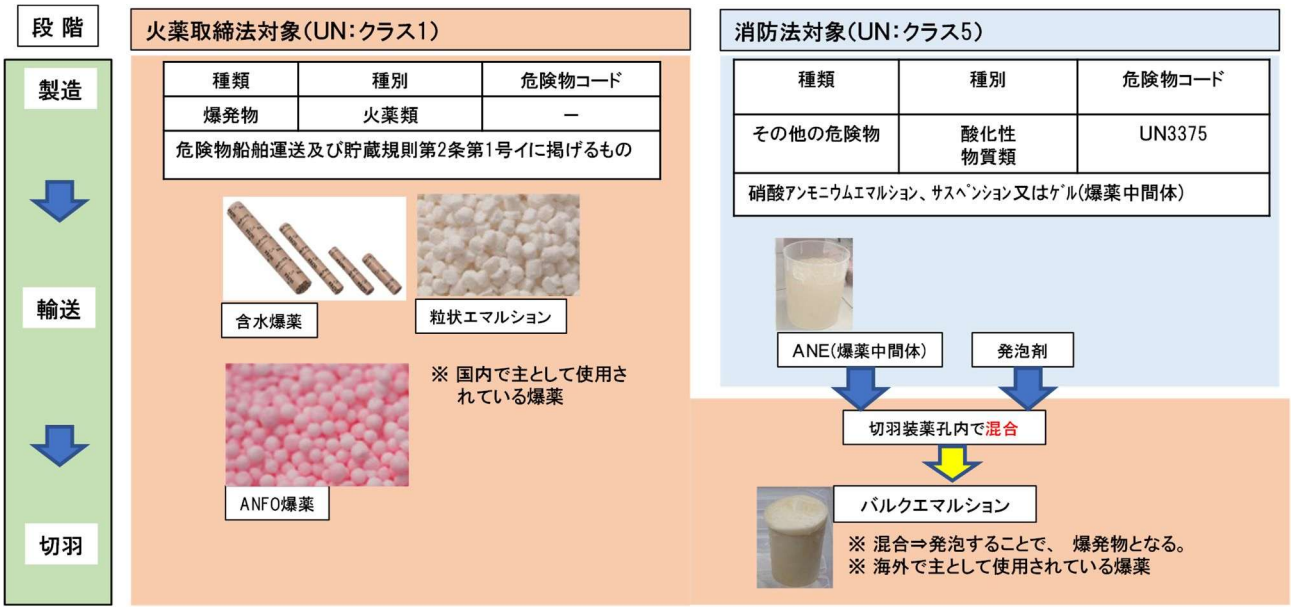



図-4.1　バルクエマルションの概要

## ４．２　今後の展望

本中間とりまとめでは、トンネル発破作業における自動化・遠隔化技術を対象に技術情報の収集とりまとめを行い、性能確認結果や技術カタログ等をとりまとめた。

今後、中間とりまとめを踏まえ、実用化された技術については、実工事現場での試行を通じ、その効果や課題の検証を行い、本格導入や普及に向けた取組みが求められる。また、開発中の技術については、本中間とりまとめを参考に、より効果的で効率的な技術開発を推進し、適宜、現場での試行を通じてその実用性の検証を通じた改善が求められ、更にはこれらの技術情報を含めた本中間とりまとめの充実が必要である。

また、今後は、ずり出し、吹付けコンクリート、ロックボルトなどの発破掘削以外の作業も対象とし、トンネル施工全体を対象として、より大きな省人化や安全性の向上の効果が図られる自動化・遠隔化技術の導入促進が求められる。