

プロジェクト研究全体の概要

山岳及びシールドトンネル建設工事中の労働災害防止に関する研究

Study on the prevention of labour accidents in conventional and TBM tunnel construction.

吉川直孝*1, 大塚輝人*2, 清水尚憲*3, 堀智仁*1, 山際謙太*3, 平岡伸隆*1, 板垣晴彦*2, 中村憲司*4, 濱島京子*3, 大幢勝利*5, 伊藤和也*6, 北條理恵子*3

建設安全研究グループ*1 化学安全研究グループ*2 機械システム安全研究グループ*3
環境計測研究グループ*4 研究推進・国際センター*5 東京都市大学*6

■KIKKAWA Naotaka, OTSUKA Teruto, SHIMIZU Shoken, HORI Tomohito, YAMAGIWA Kenta, HIRAOKA Nobutaka, ITAKAGI Haruhiko, NAKAMURA Kenji, HAMAJIMA Kyoko, OHDO Katsutoshi, ITOH Kazuya, and HOJO Rieko

本研究は、トンネル建設工事中に社会的なインパクトの大きい重大災害が発生したことを受け、また災害事例分析結果から多発する災害や障害を防ぐため、落盤・崩壊災害、爆発災害・粉じん障害、接触災害に焦点を当て、それらの災害を防止するため、厚生労働省及び国内外の業界団体に技術的な情報を提供することを目的とした。研究の成果としては、厚生労働省から4つのガイドラインおよび通達の発出に貢献し、また、土木学会、日本トンネル技術協会、International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会）等に情報提供し、書籍の発行やガイドラインの作成等にも貢献した。

1 研究の背景と目的

平成24年から27年にかけてトンネル落盤災害、シールドトンネル崩壊水没災害、トンネル爆発災害等、トンネル建設工事中に社会的なインパクトの大きい重大災害が頻発した。

落盤・崩壊災害の防止では、施工中の切羽付近の安定性の確保、支保工部材の耐力等を考慮する必要がある。また、爆発災害等の防止では、トンネル坑内の可燃性ガス及び粉じん対策として、坑内の換気が義務づけられ、作業条件の改善も進められているが、最適な換気方式が明示されていないため、施工条件に応じた最適な換気方式を提案することが望まれる。

一方、近年のトンネル建設工事中の労働災害を調査分析¹⁾すると、図1に示すように、2008～2012年の過去5年を見ると、約70人程度の死傷者が毎年発生していることがわかる。また、最も死傷者数の多い工法は山岳工

*1 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ
*2 労働安全衛生総合研究所 化学安全研究グループ
*3 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ
*4 労働安全衛生総合研究所 環境計測研究グループ
*5 労働安全衛生総合研究所 研究推進・国際センター
*6 東京都市大学 工学部 都市工学科
連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6
労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 吉川直孝
E-mail: kikkawa@s.jniosh.johas.go.jp

法であり、次いでシールド工法である。これは建設工事事件数が多いことにも起因している。次に、2008～2012年の過去5年において、山岳工法を用いたトンネル建設工事における事故の型の分類を図2に示す。同図から、「飛来・落下」災害が最も多く、起因物が「環境等」に分類される死傷者が22人とあり、これは切羽からの肌

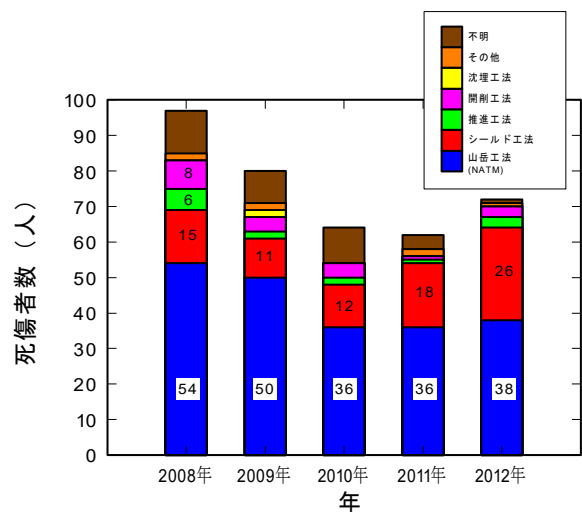


図1 トンネル建設工事における死傷者数の推移 (色分けは工法別)

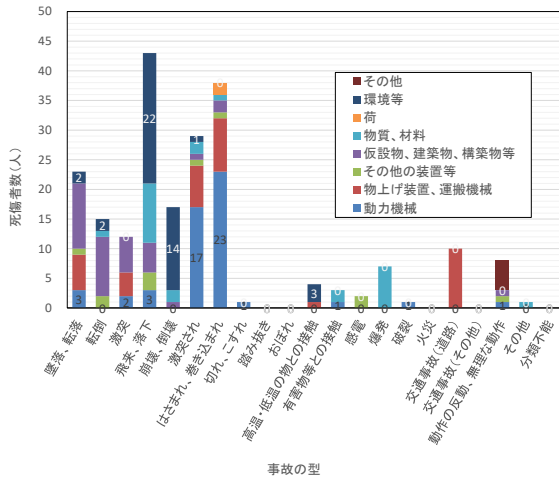


図2 山岳工法を用いたトンネル建設工事における死傷者数の事故の型による分類 (2008～2012年の計214人の内訳)

落ちによる災害を多く含む。次いで、「はさまれ・巻き込まれ」、「激突され」災害となっており、坑内が限られたスペースであることもあり、トンネル用建設機械と作業員との接触災害が多い現状にあり、同機械類と作業員の位置を常にモニタリングする技術も必要と思われる。

本研究を開始した時点における第12次労働災害防止計画では、製造業について「はさまれ・巻き込まれ」災害を低減させるように求めている。既存の安全管理システムにおいては、ほとんどが作業員の注意力に依存している。現実的には、トンネル建設現場の多くは、作業員にとって高温多湿のストレスフルな作業環境である上に、騒音や粉じん等の物理的な悪条件も重なり、人の注意力のみに依る状況では十分な安全が担保できない。

したがって、トンネル建設工事においては、重篤度の高い災害として、落盤、崩壊、爆発災害が挙げられ、また重篤度も高く頻発する災害として建設機械との接触災害がある。さらには、健康障害として粉じん障害等もある。これらの災害を低減させるため、厚生労働省や国内外の業界団体に技術的な情報を提供することを本研究の目的とした。

2 研究の方法

このような重大災害、多発災害等を防止するため、本研究では以下の3つのテーマを重点的に調査研究した。

- ・サブテーマ1『落盤・崩壊災害の防止に関する研究』
- ・サブテーマ2『可燃性ガス及び粉じん対策に関する研究』
- ・サブテーマ3『トンネル用建設機械等による災害の防止に関する研究』

サブテーマ1『落盤・崩壊災害の防止に関する研究』では、トンネル切羽に対しての鏡吹付けを検討し、適切な

吹付け厚さを提案する。また、岩盤の大きさに基づいた適用限界も示す。サブテーマ1に関連した実験では、切羽の一部分を模擬した基盤岩石の中央に円盤状の肌落ち岩石を設置し、それら岩石の上に吹付けコンクリートを打設する²⁾。打設後、肌落ち岩石を載荷ジャッキにより上昇させ、吹付けコンクリートを押し抜き、その早期材齢の強度と変形を計測する。変形の計測に当たっては、3次元レーザスキャナを用い、3次元的な変形を把握する。どの程度の分解能を有していれば、肌落ちの予兆を捉えられるか明らかにする³⁾とともに、吹付けコンクリートの適用限界も示す⁴⁾。

サブテーマ2『可燃性ガス及び粉じん対策に関する研究』では、模擬実験及び数値計算を基に、粉じんの封じ込めによる粉じん濃度の低減を試みる。特に粉じん対策としては、作業者のばく露リスク低減の観点から切羽付近の粉じん濃度も併せて計測する。

サブテーマ3『トンネル用建設機械等による災害の防止に関する研究』では、建設機械等と作業員の位置を把握できるモニタリングシステムを構築することを目的とする。具体的には、機械安全領域で開発中の「支援的保護システム (Safeguarding Supportive System: SSS)」を、現在のトンネル建設現場の実情に合わせ、新たなリスク低減戦略として構築する。製造現場における機械安全では、International Organization for Standardization (ISO) 12100:2010 / Japanese Industrial Standards (JIS) B 9700:2013 であるところの「機械類の安全性—設計のための一般原則」の安全規格に基づき安全確保のためのリスク低減方策が図られている⁵⁾。その原則は、本質安全設計、安全防護及び付加保護方策、使用上の情報提供の3ステップメソッドである。このような体系化したリスク低減方策により機械安全は管理されている。SSSは、製造者が3ステップメソッドで低減した後の残留リスクを対象とし、適切なICT機器を組み合わせ、人の注意力のみに依存することなく、ヒューマンエラーの発生確率を下げることにより確実性の高いリスク低減効果を得ることを可能とする。サブテーマ3では、SSSによる安全管理システムをトンネル建設現場に導入し、同システム導入後の作業効率についても考察する。

3 研究成果の概要

1) 落盤・崩壊災害の防止に関する研究

トンネル建設工事において、トンネルの最先端の掘削面である切羽面に対して、切羽面から岩石が落下（以下「肌落ち」という。）しないよう、吹付けコンクリートを打設する場合がある。切羽面は、硬い岩盤であれば、通常、爆薬等により掘削するが、掘削後、地山の緩みを最小限にするため、すぐにコンクリートを切羽面及び側面に吹き付けることが多い。このような吹付け作業の後、約10数分後には支保工を建て込むため作業員が切羽に立ち入る場合もある。しかしながら、そのような若材齢

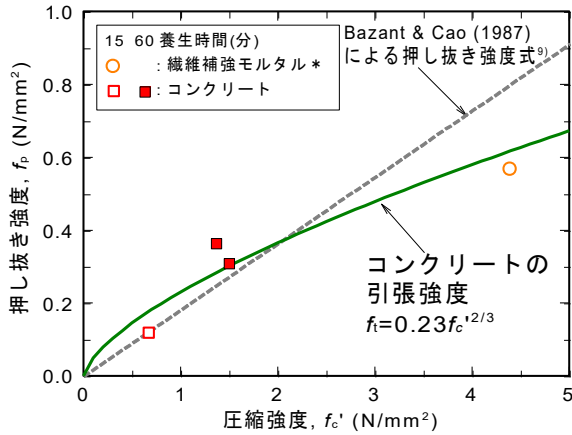


図3 押し抜き強度と圧縮強度の関係^{4),7)}を修正 (繊維補強モルタルについてはプルアウト試験からの換算圧縮強度を圧縮強度とした。)

の吹付けコンクリートが、どの程度の岩石の重量まで保持できるのかわかりにされていないのが現状である。

そのため、本研究では、肌落ちを想定し、コンクリートおよび繊維補強吹付けモルタルに対して岩石による押し抜き実験を実施した。また、コンクリートおよび繊維補強吹付けモルタルの押し抜き破壊機構を明らかにするため、個別要素法を用いたシミュレーションを実施した。さらに、押し抜き破壊機構から、吹付けコンクリートの押し抜き強度推定式を提案した。以下に得られた知見を要約する。

押し抜き荷初期には、吹付けコンクリート内に、載荷岩石の直径と同等の直径を有する半球状の周面に引張応力が発生していることから、押し抜き強度は、押し抜き抵抗力を半球状の周面積で除すことにより算出できる。このように算出された押し抜き強度と圧縮強度の関係は、コンクリート標準示方書⁶⁾で示される一般的なコンクリートの引張強度と圧縮強度の関係式とよく一致した(図3参照)。そのため、押し抜き強度と圧縮強度も同関係式が成り立つと仮定し、以下の式を適用した。

$$f_p = \frac{F_p}{\pi D t} = 0.23 f_c^{2/3} \quad (t \leq \frac{D}{2}) \quad (1)$$

ここで、 f_p : 吹付け材料が有する押し抜き強度 (N/mm²), F_p : 吹付け材料の押し抜き抵抗力 (N), D : 押し抜き岩石の直径 (mm), t : 吹付け厚さ (mm), f_c : 圧縮強度 (N/mm²) である。

式(1)及び図3に示すような吹付けコンクリートの押し抜き強度以上の岩石重量の肌落ちが想定される場合には、積極的に鏡ボルト、先受け工等の補助工法を採用する必要がある。加えて、切羽前方探査、切羽の変状モニタリング、切羽監視責任者による監視等を多重防衛的に実施することが望まれる。

詳細については、本報に続く労働安全衛生総合研究所特別研究報告 (No. SRR50-2-1) を参照のこと。

2) 可燃性ガス及び粉じん対策に関する研究

可燃性ガスの場合、希釈して排出することが唯一の選

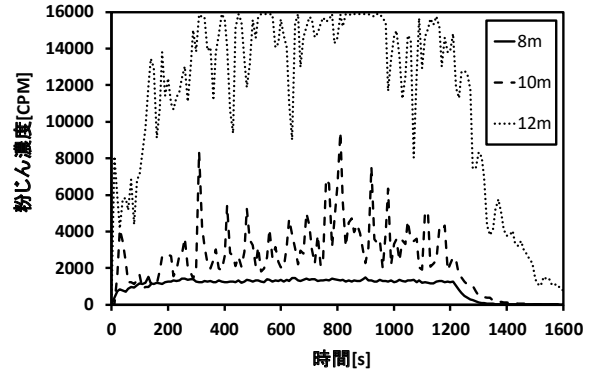


図4 模擬トンネルにおける切羽付近の粉じん濃度への換気風管位置の影響 (風管は中央高さ1.8m位置とし、噴出位置の切羽からの距離を8,10,12mと変更した)

択肢であるが、粉じんの場合は集じん機によって低減することが一般的である⁷⁾。集じんを効率化するには、粉じんを発生源近くで封じ込めて高濃度の場所を作り、そこから集じんすることが望ましい。可燃性ガスの先行研究⁸⁾において、トンネル高さの5倍超からの換気が、切羽での圧力上昇により届かなくなる現象が確認されており、希釈排出の目的では、この現象が問題となっていた。一方、粉じんの場合では、この現象によって切羽付近に粉じんを封じ込める可能性が示唆される。本研究では、標準粉じん(ISO12103-1)を用い、K値測定、沈降拡散評価を行った後、高さ2m、長さ27mの模擬トンネルを用いて、風速の測定と定速分散できる装置により粉じんを分散しての換気実験を行った。その結果の一例を図4に示した。粉じんの噴出量と、換気のための送気風量を一定に保ったまま、送気風管位置を8,10,12m位置に変更したこの結果は、先行研究⁸⁾を再現するとともに、風管位置を切羽から遠ざけることによって粉じんが切羽付近に滞留する時間が長くなったこと、すなわち封じ込めが可能であることを示している。

また、微小粒子状物質による大気汚染の簡易計測を目的とした装置のトンネル掘削工事への適用性について、標準的な相対粉じん濃度計 LD-5R との比較を行い、簡易な相対濃度計として使用できる可能性を示すことができた。

3) トンネル用建設機械等による災害の防止に関する研究

サブテーマ3では、トンネル建設現場で重機等の機械類と作業員とが、機械が稼働したままで作業をする場面を想定し、その状況下でのリスク低減方策の検討を行った。SSSの一部として、ICT機器等による重機等の機械類と作業員の位置情報の把握を目指し、3つの実験条件において、様々な位置情報システムの構築を試みた。さらに、システム導入後の作業の変化についても考察した。

実験1では、高温多湿環境下で行われるトンネル工事

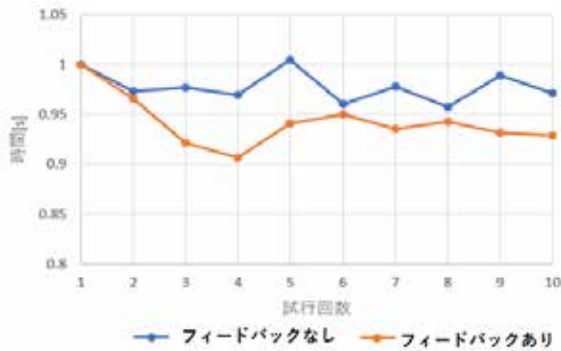


図5 フィードバックあり又はなしの各群における実験協力者5名の総時間の平均の推移

現場でSSSが使用されることを想定し、同様の高温多湿環境下の作業現場を使い、実証実験を行なった。本実験で用いたSSSの位置情報把握のためのセンサシステムは、測位精度が高く、かつ高速の距離測定が実現可能な7.25～10.25GHzの帯域を使用するインパルス方式の超広帯域無線(Ultra Wide Band, UWB)を使用した。結果、作業者がいつどのように移動したのか、動線軌跡が正確に計測できることを確認した。一人の作業者のみならず、複数による同時作業も測位可能であることが確認された。建屋、自動洗浄装置、搬送用ロボット等の電波反射が大きいとされる金属物の多い電波環境であったが、作業者の測位は比較的良好であったといえる。また、システムの精度は、作業場の電波伝搬環境に依存することが明らかとなった。実験前にUWB固定局と移動局のプレ測位試験を行う、固定器数を増加する等の対策で改善することが明らかとなった。測位演算結果と実際の位置の差異については、アルゴリズムの調整を行うことで大幅に改善でき、さらに、作業者の実際の位置と計器により計測された作業者の位置の誤差についても原因の特定が可能となった。しかしながら、作業者の動線軌跡が壁を突き破って外に飛び出す、通信経路の遮蔽が起こり反射波を受信して搬送用ロボットのエリアに動線データの軌跡が飛び出す等の問題も明らかとなった。その対策として、作業者の測距データから動線軌跡データを測位マップに描く際に座標上に禁止エリアを指定する機能を追加するなどのソフトウェアの改善が必要であることがわかった。他にも、反射しやすい鉄骨支柱に電波吸収体を取り付けること、重要な測定箇所には固定局を多く取り付けること等の対策を行えば、測位の精度を上げることが見込まれる。

実験2では、ビーコンセンサを用いたSSSの構築を目的とした。ビーコンセンサは、作業者のバイタルデータのリアルタイムな検出の可能性を考慮し選択した。これにより、万が一作業者の健康状態に変化が生じた場合であっても、迅速な救出が可能となる。あるいは、熱中症や脱水症状、その他の身体的異常の早期発見・早期対処が可能となる。また、作業者が作業する位置(安全領域)を逸脱するような危険側故障の発生を防止することができる。結果として、ビーコンセンサによる作業者の位置

計測の精度については、安全を担保するシステムとしては十分な精度が出なかった。一方、先行実験においてUWBを使用した位置計測システムでは、作業者の位置計測において十分な精度で実験協力者の移動軌跡を記録することができた。しかしながら、UWBは導入コストが高く、タグが大きいというデメリットがある。SSSでは、作業者の位置情報の他に体温や脈拍などのバイタルサインをセンシングし、作業者の熱中症や体調不良を検知することを将来的には想定している。そのため、UWBに比べて導入コストが安く、タグが小さいビーコンセンサの方がSSSの必要要件を満たしているといえる。今後は、固定器の数を増やす等の対策を行い、精度を上げる必要があると思われる。

別途実施した作業効率を検証するための行動分析学介入実験においては、作業に報酬が伴う場合(フィードバック群)は実験数が進むごとに作業時間が短縮すること(図5参照)、作業効率も向上することが明らかとなった。この結果は、作業に関して即時に何らかのフィードバックを与えると、注意力が向上し、安全性も高まるだけでなく、作業がより効率的に行える可能性が示唆されたものである。

実験3では、SSSの構成要素として隙間のない計測が可能となるTime of flight (TOF)方式を用いた3Dレーザーレーダーを使用し、従来困難とされていた対象物の形と大きさの識別の精度を検討した。TOF方式とは、距離測定の方法であり、光源から出た光が対象物で反射し、センサに届くまでの光の飛行時間、すなわち遅れ時間と光の速度($3 \times 10^8 \text{m/s}$)から、被写体までの距離の測定が可能となる。結果として、以下の課題が明らかとなった。「リアルタイム位置把握」の必要性が示唆され、位置把握性能の課題として、「重機の分裂現象」と「作業者と重機のロスト現象」の解決が必要である。リスクポイントの確認課題としては、「重機の車種特定」と「重機動作中心の算出方法」の検討がさらに必要と思われる。本実験では、主に現場で作業する動体としてショベルカーを選択したが、今後はより多くの重機を対象に検討を重ねていく必要がある。

3つの実験結果から、人と機械が同時に存在し、隔離及び停止の安全原則の適用が基本的に困難なトンネル、建設現場、農業用地等の作業現場に対しては、最終的にはリアルタイム性が求められる。本実験で使用した位置確認システムでは、人による判断には、録画を使用した視認での解析は可能であったが、今後は災害の未然防止の観点からは、現場の状況把握を自動で行うアルゴリズム開発が必要である。

4 行政貢献と研究成果の普及

1) 法令やガイドライン等の制定に協力

本研究により得られた技術的な情報等が、以下の厚生労働省のガイドライン、通達、ガイドラインの改正等に反映された。

①平成28年12月26日付け基発1226第1号「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」

- ②平成 29 年 3 月 21 日付け基発 0321 第 4 号「シールドトンネル工事に係る安全対策ガイドライン」
- ③平成 29 年 9 月 26 日付け基安発 0926 第 1 号「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の運用上の留意事項について」
- ④平成 30 年 1 月 28 日付け基発 0118 第 1 号「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の改正」

また、特に、①のガイドラインについては、本研究の第 1 著者と当時の厚生労働省の担当者との共著で、同ガイドラインの解説を専門誌に発表した¹⁰⁾。

2) 国内の業界団体等への貢献

本研究の著者らは、公益社団法人土木学会、一般社団法人日本トンネル技術協会の委員会に参画し、本研究で得られた技術的な情報を下記の書籍に盛り込み、学協会の書籍の発行に貢献した^{11), 12), 13), 14)}。

- ①公益社団法人土木学会 (2016) 2016 年制定 トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説、第 12 章、pp.210-223。
- ②一般社団法人日本トンネル技術協会 (2019) 山岳トンネル工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説〔解説改訂版〕、303p。
- ③一般社団法人日本トンネル技術協会 (2019) シールド工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説〔解説改訂版〕、260p。
- ④公益社団法人土木学会トンネル工学委員会技術小委員会 山岳トンネルのリスク低減に関する検討部会 編 (2019) トンネル・ライブラリー第 32 号 実務者のための山岳トンネルのリスク低減対策、公益社団法人土木学会、pp.71-82。

3) 国外の業界団体等への貢献

本研究の著者らは、トンネルの分野では国際的に最も権威ある International Tunnelling and Underground Space Association (以下「ITA」という。)の WG5(Health and Safety in Works)に 2015 年から毎年参加している。WG5(Health and Safety in Works)は、ITA の中に設けられている計 15 ある作業部会のうち 1 つであり、労働安全衛生に関する作業部会である。各作業部会には、各国のトンネル技術協会から 1 名の国の代表委員を出席させることが可能であり、第 1 著者も一般社団法人日本トンネル技術協会から推薦を受けて労働安全衛生に関する作業部会に参画している。同部会では、トンネル建設工事中の労働安全衛生に関する諸外国の課題を取り上げ、それらの 1 つの解決策として、ITA ガイドライン^{15), 16), 17)}を発出することを主な目的としている。ITA ガイドラインは、諸外国に対して強制力を持ったものではないが、発展途上国等では、同ガイドラインを参考に、国のガイドラインに導入されることもあり、非常に重要な位置を占める。

著者らも同部会に貢献し、例えば、以下の ITA ガイド

ラインの作成等に係わっている。

①Underground Asset Health and Safety Management Planning Guide

これは発注者向けの労働安全衛生マネジメントに関するガイドラインであり、現在、作業部会内で審議中であるが、ニュージーランドの代表委員によって作成された初稿原稿を著者らが修正し、その策定に協力している。

参 考 文 献

- 1) Kikkawa, N., Itoh, K., Hori, T., Toyosawa, Y. and Orense, R. P.: Analysis of labour accidents in tunnel construction and introduction of prevention measures, *Industrial Health* 2015, Vol. 53, pp. 517-521, 2015.
- 2) Kikkawa, N., Hiraoka, N., Itoh, K. and Orense, R. P.: Study on strength and deformation characteristics of early age shotcrete in tunnel face, *World Tunnel Congress 2019, Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art - Peila, Naples, Italy*, pp. 4882-4891, 2019.
- 3) 吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也 (2019) 若材齢ベースコンクリートの押し抜き実験とその個別要素シミュレーション, *土木学会論文集 F1(トンネル工学)*, Vol.75, No.1, pp.56-74, 2019.
- 4) Kikkawa, N., Ito, S., Hori, A., Sakai, K. and Hiraoka, N.: Punching fracture mechanism and its strength formulation of early-age shotcrete, *Tunnelling and Underground Space Technology* (submitted)
- 5) ISO12100:2010: 機械類の安全性-設計のための一般原則-リスクアセスメント及びリスク低減, 2010.
- 6) 土木学会コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改訂小委員会, 委員長 魚本健人: 2007 制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕, 社団法人土木学会, 丸善(株), pp. 34-35, 2007.
- 7) 西村章: 進化するトンネル換気技術、日本建設機械化協会、建設の施工企画 (727), pp.47-53, 2010.
- 8) 佐藤吉信, 桑川壮一, 杉本旭, 深谷潔: トンネル建設工事における通風換気システムの改善に関する研究, *産業安全研究所特別研究 SRR80-1*, pp.7-43, 1980.
- 9) Bažant, Z. P. and Cao, Z.: Size effect in punching shear failure of slabs, *ACI Structural Journal*, pp. 44-53, Jan.-Feb. 1987.
- 10) 吉川直孝, 中野響 (2017) 「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」の解説. *トンネルと地下*, Vol.48, No.4, pp. 49-56.
- 11) 公益社団法人土木学会 (2016) 2016 年制定 トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説、第 12 章、pp.210-223。
- 12) 一般社団法人日本トンネル技術協会 (2019) 山岳トンネル工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説〔解説改訂版〕、303p。
- 13) 一般社団法人日本トンネル技術協会 (2019) シールド工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説

〔解説改訂版〕, 260p.

- 14) 公益社団法人土木学会トンネル工学委員会技術小委員会
山岳トンネルのリスク低減に関する検討部会 部会長 芥川真一 編 (2019) トンネル・ライブラリー第 32 号 実務者のための山岳トンネルのリスク低減対策, 公益社団法人土木学会, pp.71-82.
- 15) ITA Working Group No.5 Health & Safety in Works in association with the British Tunnelling Society Compressed Air Working Group (2018) Guidelines for good working practice in high pressure compressed air Version 2018, 51p.
- 16) ITA Working Group No.5 Health & Safety in Works (2018) Guidelines For The Provision of Refuge Chambers In Tunnels Under Construction, 15p.
- 17) ITA Working Group No.5 Health & Safety in Works in association with the British Tunnelling Society Compressed Air Working Group (2019) Guide to ITA/BTS CAWG Report 10 for Clients and others not familiar with high pressure compressed air work, 11p.

研究業績リスト

課題名：山岳及びシールドトンネル建設工事中の労働災害防止に関する研究

平成 28 年度 (2016 年)		
1	原著論文	吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也, 三田地利之 (2016) セグメント模型の載荷実験とその個別要素法解析, トンネル工学報告集, II-9, 9p., CD-ROM, 2016.
2	総説他	JTA 国際委員会 ITA 統括ワーキング, 吉川直孝 他(2016) 第 42 回 ITA 総会および世界トンネル会議(米国)報告, トンネルと地下, Vol. 47, No. 9, 一般社団法人日本トンネル技術協会, pp. 695-706.
3	国内学術集会	佐藤芙美, 伊藤和也, 末政直晃, 吉川直孝, 平岡伸隆(2016) 固結粒状材料における 2 次元個別要素法のパラメータ決定方法の検討. 第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会, CD-ROM.
4	国内学術集会	佐藤芙美, 伊藤和也, 吉川直孝, 平岡伸隆(2016) トンネル発破掘削による地盤の応力状態に関する検討. 安全工学シンポジウム 2016 講演予稿集, pp. 476-477.
5	国内学術集会	佐藤芙美, 伊藤和也, 吉川直孝, 平岡伸隆(2016) 固結粒状材料を用いた発破に伴う応力の実験的検討. 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, 6-055, CD-ROM.
6	国内学術集会	佐藤芙美, 伊藤和也, 吉川直孝(2016) 2 次元 DEM による固結粒状材料を用いた発破実験に伴う応力の検討. 第 51 回地盤工学研究発表会概要集, 254, CD-ROM.
7	国内規格等の発行協力	平成 28 年 12 月 26 日付け基発 1226 第 1 号「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」
8	国内規格等の発行協力	平成 29 年 3 月 21 日付け基発 0321 第 4 号「シールドトンネル工事に係る安全対策ガイドライン」
9	著書・単行本	公益社団法人土木学会 (2016) 2016 年制定 トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説／〔山岳工法編〕・同解説, 第 12 章, pp.210-223.
10	国内学術集会	大塚輝人 (2016) トンネル工事における通風換気システムのシミュレーション, 第 49 回安全工学研究発表会
11	研究所出版物	清水尚憲, 濱島京子, 梅崎重夫, 吉川直孝, 「建設機械と人間の接触等を防止するための保護装置に関する研究」 p37-44, 労働安全衛生総合研究所特別研究報告 JNOSH-SRR-NO,46(2016)
12	特別講演, パネルディスカッション等	清水尚憲, 「安全第一」から学ぶこと, 産業リスクフォーラム 2016 特別講演
13	特別講演, パネルディスカッション等	清水尚憲, 「ウオータージェット施工作业における安全対策について」, WJ 施工管理協会安全シンポジウム 2016 特別講演
14	国内学術集会	清水尚憲, 「蒲生俊文 [安全第一協会理事] から学ぶ」安全工学シンポジウム 2016, P160-161
15	国内学術集会	中田邦臣, 清水尚憲, 「内田嘉吉「安全第一」から学ぶ」～「安全工学」の体系化の試行～安全工学シンポジウム 2016, P166-167
16	国内学術集会	清水尚憲, 濱島京子, 梅崎重夫, 「建設機械を対象とした支援的保護システムによるリスク低減戦略の提案」, 安全工学シンポジウム 2016, P296-297
17	国内学術集会	濱島京子, 齋藤剛, 清水尚憲, 「独立防護階層の概念を応用した建設用機械の安全防護」安全工学シンポジウム 2016, P298-299
18	国内学術集会	梅崎重夫, 清水尚憲, 濱島京子 「機能安全技術の有効性と適用限界に関する基礎的考察」, 電子情報通信学会安全性研究会, 2016
19	国内学術集会	清水尚憲, 濱島京子, 梅崎重夫, 「建設機械を対象とした支援的保護システムによるリスク低減方策」, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2016
20	国内学術集会	清水尚憲, 濱島京子, 梅崎重夫, 「建設機械を対象とした支援的保護システムの適用について」, 電子情報通信学会研究会, 2016
21	国内学術集会	濱島京子, 清水尚憲, 齋藤剛, 「支援的保護システムという考え方」, 電子情報通信学会研究会, 2016
22	国内学術集会	濱島京子, ICT を活用した安全管理システムのアウトライン, 次世代型安全管理システム (危険箇所周知システム) 研究会, 建築研究開発コンソーシアム
平成 29 年度 (2017 年)		

1	原著論文	吉川直孝, 中野響 (2017) 「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」の解説. トンネルと地下, Vol.48, No.4, pp. 49-56.
2	原著論文	吉川直孝, 今井鋭, 平岡伸隆, 伊藤和也 (2017) セグメント模型の単体曲げ試験とその個別要素法解析, トンネル工学報告集, II-7, 7p., CD-ROM.
3	原著論文	佐藤芙美, 伊藤和也, 吉川直孝, 平岡伸隆 (2017) 若材齢コンクリートの弾性波速度および一軸圧縮強度の測定方法, トンネル工学報告集, I-28, 5p., CD-ROM.
4	原著論文	佐藤芙美, 吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也 (2017) トンネル発破掘削に伴う周辺地山の応力状態が肌落ちの発生要因に与える影響, 土木学会論文集 F6, Vol.71, No.2, 8p.
5	研究所出版物	吉川直孝, 堀智仁, 平岡伸隆, 山際謙太, 伊藤和也 (2017) 落盤・崩壊災害の防止に関する研究, 労働安全衛生総合研究所「年報」.
6	総説他	JTA 国際委員会 ITA 統括ワーキング, 吉川直孝 他(2017) 第 43 回 ITA 総会および世界トンネル会議(ノルウェー)報告, トンネルと地下, Vol. 48, No. 10, 一般社団法人日本トンネル技術協会, p. 813, pp. 818-819.
7	総説他	吉川直孝, 堀智仁, 平岡伸隆, 山際謙太, 伊藤和也 (2017) 落盤・崩壊災害の防止に関する研究～吹付けコンクリートの押し抜き試験装置の試作～, 平成 29 年版建設業安全衛生年鑑, 建設業労働災害防止協会, p.43
8	特別講演, パネルディスカッション等	吉川直孝 (2018 年 3 月 18 日) 一般社団法人 OSV 研究会, OSV Seminar in Tokyo 「数秒以内で実施する防災への挑戦」 (建設工事業におけるハザードとリスクの話)
9	国際学術集会	Naotaka Kikkawa, Nobutaka Hiraoka, Kazuya Itoh and Rolando P. Orense, (2017) “Damages to segmental ring under various pressures and their discrete element simulations”, Asia Pacific Symposium on Safety 1017 (APSS2017), SD1-04, pp.1-8.
10	国際学術集会	Naotaka Kikkawa, Nobutaka Hiraoka and Kazuya Itoh, (2017) “Study on stability of segmental ring under various pressures and their discrete element simulations”, The Ninth Japan-China Workshop on Tunnelling Safety & Risk, pp.53-71.
11	国際学術集会	Fumi Sato, Naotaka Kikkawa, Nobutaka Hiraoka, Kazuya Itoh and Naoaki Suemasa, (2017) “Study on mechanism of rock fall at tunnel cutting face after blasting”, The Ninth International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-9), T-1, pp.1-6.
12	国内学術集会	佐藤芙美, 吉川直孝, 平岡伸隆, 今井鋭, 伊藤和也 (2017) 若年齢の吹付けコンクリートの押し抜きせん断試験装置の試作, 第 52 回地盤工学研究発表会, 0696, M-06, pp. 1389-1390.
13	国内学術集会	高德亮太, 上村健太郎, 伊藤和也, 末政直晃, 吉川直孝, 平岡伸隆, Barrios Gonzalo, Nawawi Chouw, Thomas Larkin, Rolando Orense (2017), 隣接構造物における液状化挙動に関する研究, 第 52 回地盤工学研究発表会, 0803, E-08, pp. 1603-1604.
14	国内学術集会	今井鋭, 吉川直孝, 平岡伸隆, 佐藤芙美, 伊藤和也 (2017) 模型セグメントに対する載荷・除荷装置の試作, 第 52 回地盤工学研究発表会, 0706, H-05, pp. 1409-1410.
15	国内学術集会	今井鋭, 吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也 (2017) 施工時荷重に起因したセグメント挙動の検討, 第 44 回土木学会関東支部技術研究発表会
16	国内規格等の発行協力	平成 30 年 1 月 28 日付け基発 0118 第 1 号「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の改正」
17	国内規格等の発行協力	平成 29 年 9 月 26 日付け基安発 0926 第 1 号「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の運用上の留意事項について」
18	その他 (表彰)	吉川直孝: 独立行政法人 労働者健康安全機構 理事長表彰, 2017 年 9 月.
19	その他 (優秀講演論文賞)	Dr. Naotaka Kikkawa, Dr. Nobutaka Hiraoka, Dr. Kazuya Itoh, Dr. Rolando, P Orense : APSS2017 Best paper presented (優秀講演論文賞), Damages to segmental ring under various pressures and their discrete element simulations. 2017.12.
20	国際学術集会	Teruhito Otsuka, Kenji Nakamura, Haruhiko Itagaki (2017) Evaluation of Dispersibility of Standard Dust, Asia Pacific Symposium on Safety 2017.
21	国内学術集会	北條理恵子, 清水尚憲 (2017) 「作業現場における安全行動への行動分析学の寄与」. 日本ヒューマンファクター研究河嶋研究会 抄録集なし.
22	国内学術集会	梅崎重夫, 清水尚憲, 濱島京子 (2017) 食品加工機械を対象とした簡易リスクアセスメント手法の検

		討～IMTOC 表現による統計的手法を用いた後ろ向き推論の提案～. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.179, pp. 5-8.
23	特許の出願取得	清水尚憲、北條理恵子、濱島京子「安全管理支援システム」
24	国内規格等の発行協力	清水尚憲, JIS T8101-1 個人用保護設備 安全靴・作業靴の耐滑試験方法,2017
25	国内規格等の発行協力	清水尚憲, JIS T8101-2 個人用保護設備 安全靴,2017
26	国内規格等の発行協力	清水尚憲, JIS T8101-3 個人用保護設備 作業靴,20017
27	国内規格等の発行協力	清水尚憲, JSAA プロテクティブスニーカー規格,2017
平成 30 年度 (2018 年)		
1	原著論文	Naotaka Kikkawa, Nobutaka Hiraoka, Kazuya Itoh and Rolando Orense (2018) Unstable behavior of segmental ring under various pressures and its discrete element simulation, <i>Industrial Health</i> 2018, Vol. 56, pp. 475-484, 2018.
2	研究所出版物	吉川直孝, 堀智仁, 平岡伸隆, 山際謙太, 伊藤和也 (2018) 落盤・崩壊災害の防止に関する研究, 労働安全衛生総合研究所「年報」.
3	総説他	JTA 国際委員会 ITA 統括ワーキング, 吉川直孝 他(2018) 第 44 回 ITA 総会および世界トンネル会議(ドバイ)報告, トンネルと地下, Vol. 49, No. 9, 一般社団法人日本トンネル技術協会, p. 57.
4	総説他	吉川直孝, 堀智仁, 平岡伸隆, 山際謙太, 伊藤和也 (2018) 落盤・崩壊災害の防止に関する研究～花崗岩上に打設したコンクリートの押し抜き実験～, 平成 30 年版建設業安全衛生年鑑, 建設業労働災害防止協会, p.55.
5	特別講演, パネルディスカッション等	吉川直孝 (2018 年 9 月 26 日) 一般社団法人日本トンネル技術協会, ITA 統括 WG 報告会 (WG5 (Health & Safety in Works))
6	特別講演, パネルディスカッション等	吉川直孝 (2019 年 2 月 22 日) 一般社団法人日本トンネル技術協会, セーフティ・アセスメント解説改訂説明会 (災害事例に見る日本の建設業における安全衛生の課題と今後について)
7	特別講演, パネルディスカッション等	吉川直孝 (2019 年 3 月 5 日) 公益社団法人地盤工学会, Recent Developments of Discrete Particle Simulation for Geotechnical Engineering (Application of discrete element method to reveal the mechanism of a labour accident occurrence in tunnel construction)
8	特別講演, パネルディスカッション等	吉川直孝 (2019 年 3 月 8 日) 一般社団法人 OSV 研究会, OSV Seminar in Tokyo 「Part 1 トンネル切羽周辺の安全監視」 (若材齢ベースコンクリートの押し抜き実験とそのシミュレーション)
9	特別講演, パネルディスカッション等	吉川直孝 (2018 年 6 月 22 日) NPO 法人臨床トンネル工学研究所, 肌落ち防止ガイドライン公布後の実情勉強会 (工事由来のリスクに対する考え方)
10	国内学術集会	吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也, 佐藤芙美 (2018) 若材齢コンクリートの押し抜き機構とその個別要素シミュレーション, 第 53 回地盤工学研究発表会, 0872, M-06, pp.1741-1742.
11	国内学術集会	吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也 (2018) 若材齢コンクリートの押し抜き実験, 土木学会第 73 回年次学術講演会, III-547, pp.1093-1094.
12	原著論文	酒井健二, 酒井喜久雄, 片谷篤史, 大塚輝人, 進士正人 (2018) 坑内湧水を用いたトンネル用冷風発生装置、トンネル工学報告集., 12p., CD-ROM、2018
13	原著論文	酒井健二, 岸田展明, 中村憲司, 大塚輝人, 進士正人 (2018) トンネル工事における通風換気システム評価のための中規模実験、トンネル工学報告集., 6p., CD-ROM、2018
14	国内学術集会	中村憲司, 大塚輝人: 光散乱方式による吸入性粉じんの相対濃度測定に対する分粒装置の効果の基礎的検討, 第 91 回日本産業衛生学会, 産業衛生学雑誌, 第 60 巻, 臨時増刊号, P498, 2018.
15	国内学術集会	大塚輝人, 中村憲司, 板垣晴彦, 片谷篤史, 岸田展明, 進士正人 (2018) トンネル工事にお

		ける通風換気システム評価, 第51 回安全工学研究発表会
16	国内学術集会	酒井健二, 片谷篤史, 大塚輝人, 進士正人 (2018) 坑内湧水を用いたトンネル用冷風発生装置, 第51回安全工学研究発表会
17	特別講演, パネルディスカッション等	清水尚憲, 「ウオータージェット施工作業におけるリスクアセスメントについて」, WJ施工管理協会安全シンポジウム2018特別講演
18	国際学術集会	Rieko Hojo, Shigeo Umezaki, Kyoko Hamajima, Masao Tsuchiya, Shoken Shimizu(2018) Risk reduction effect of the supportive protection system (SPS) at Tunnel- Part 2: Validity Evaluation of the SPS. Prodeeding of World Tunnel Congress 2018, pp. 790-1-6.
19	国際学術集会	Shoken Shimizu, Shigeo Umezaki, Kyoko Hamajima, Masao Tsuchiya, Rieko Hojo(2018) Risk reduction effect of the supportive protection system (SPS) at Tunnel- Part 1: Examination of reliability of the SPS. Prodeeding of World Tunnel Congress 2018, pp. 778-1-8.
20	国際学術集会	R Hojo, K Hamajima, M Tsuchiya, S Umezaki, S Shimizu(2018) EFFECTIVENESS OF THE SAFEGUARDING SUPPORTIVE SYSTEM (SSS) AS A RESIDUAL RISK REDUCTION MEASURE IN TUNNEL ENVIRONMENT- QUANTITIVE EVALUATION OF VALIDITY OF THE SSS AND BEHAVIOR OF TUNNEL WORKERS. Proceeding of 9thTonnel safty and ventilation symposium, pp. OS1-1-6.
21	国際学術集会	S Shimizu, S Umezaki, K Hamajima, M Tsuchiya, R Hojo(2018) NEWLY ESTABLISHED RESIDUAL RISK REDUCTION MEASURE OF THE SAFEGUARDING SUPPORTIVE SYSTEM (SSS) FOR TUNNEL CONSTRUCTION SITE- EXAMINATION OF RELIABILIBTY AND CONVENIENCE OF THE SSS. Proceeding of 9thTonnel safty and ventilation symposium, pp.PS3-1-8.
22	国内学術集会	小島英郷, 清水尚憲, 林稔, 「次世代山岳トンネル施工管理システムの構築」, その1, 平成30年度建設施工と建設機械シンポジウム
23	国内学術集会	小島英郷, 清水尚憲, 林稔, 「次世代山岳トンネル施工管理システムの構築」, その2, 平成30年度建設施工と建設機械シンポジウム
24	国内学術集会	北條理恵子 (2018) ,作業現場における支援的保護システムの有効性検証に関する行動分析学的介入の試み. 日本行動分析学会第36回年次大会, プログラム, p. 17.
25	国内学術集会	北條理恵子(2018),日本行動分析学会第36回年次大会, シンポジウム主催「産業現場における安全管理への行動分析学の適用」
令和元年度 (2019年)		
1	原著論文	吉川直孝, 平岡伸隆, 伊藤和也 (2019) 若材齢ベースコンクリートの押し抜き実験とその個別要素シミュレーション, 土木学会論文集 F1(トンネル工学), Vol.75, No.1, pp.56-74, 2019.
2	著書・単行本	一般社団法人日本トンネル技術協会 (2019) 山岳トンネル工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説【解説改訂版】, 303p.
3	著書・単行本	一般社団法人日本トンネル技術協会 (2019) シールド工事に係るセーフティ・アセスメントに関する指針・同解説【解説改訂版】, 260p.
4	著書・単行本	公益社団法人土木学会トンネル工学委員会技術小委員会 山岳トンネルのリスク低減に関する検討部会 編 (2019) トンネル・ライブラリー第 32 号 実務者のための山岳トンネルのリスク低減対策, 公益社団法人土木学会, pp.71-82.
5	総説他	吉川直孝, 堀智仁, 平岡伸隆, 山際謙太, 伊藤和也 (2019) 落盤・崩壊災害の防止に関する研究, 労働安全衛生総合研究所「年報」.
6	総説他	JTA 国際委員会 ITA 統括ワーキング, 吉川直孝 他(2019) 第 45 回 ITA 総会および世界トンネル会議(ナポリ報告, トンネルと地下, Vol. 50, No. 10, 一般社団法人日本トンネル技術協会, p. 59, pp.66-67.
7	国際学術集会	Naotaka Kikkawa, Nobutka Hiraoka, Kazuya Itoh and Rolando P. Orense, (2019) “Study on strength and deformation characteristics of early age shotcrete in tunnel cutting face”, Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds), World Tunnel Congress 2019

		(WTC2019), Naples, Italy, pp. 4882-4891.
8	国内学術集会	堀智仁, 吉川直孝, 平岡伸隆 (2019) 軟岩模擬試料の作製と弾性波速度計測, 安全工学シンポジウム 2019, pp. 244-245 .
9	国内学術集会	吉川直孝, 伊藤慎也, 酒井喜久雄, 平岡伸隆 (2019) 特殊繊維を混合したモルタル吹付けコンクリートと一般的な吹付けコンクリートの押し抜き強度変形の比較, 土木学会第 74 回年次学術講演会, V-126, CD-ROM.
10	国内学術集会	吉川直孝, 伊藤慎也, 酒井喜久雄, 平岡伸隆 (2019) 特殊繊維を混合した吹付けコンクリートの押し抜き強度変形特性に関する実験的検討, 第 54 回地盤工学研究発表会, 0706, M-06, pp.1441-1442.
11	特許の出願取得	伊藤慎也, 保利彰宏, 岩崎昌浩, 三島俊一, 酒井喜久雄, 吉川直孝, 平岡伸隆 (2019) 切羽面吹付用モルタル材料, 切羽面監視システム, 及びトンネル掘削方法, 特願 2019-113651, 整理番号: PU004427, 提出日令和元年 6 月 19 日.
12	原著論文	掛谷幸士朗, 林久資, 大塚輝人, 中村憲司, 進士正人 (2019) 簡易粉じん測定器のトンネル建設現場への適用に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 75, No. 2 (特集号), pp. I_12-I_19.
13	原著論文	清水尚憲, 米竹淳一郎, 菖蒲鷹彦, 今井諒, 山本信一, 三原泰司, 小島英郷, 梅崎重夫, 濱島京子, 北條理恵子 (2019) トンネル施工現場を対象とした支援的保護システムの ⁽¹⁾ に関する一考察, 土木学会論文集F6 (安全問題), Vol. 75, No. 2, pp. I_99-I_107.
14	国際学術集会	Rieko Hojo, Kyoko Hamajima, Shigeo Umezaki, Mizuho Nakamura and Shoken Shimizu (2019) Detection of dangerous points and behavioral modification from environmental change by behavior analysis procedure under the safeguarding supportive system (SSS) at a tunnel construction site. 6th European Conference on standardization, testing and certification in the field of occupational safety and health (EuroSHnet 2019), p. 4.
15	国際学術集会	Shoken Shimizu and Rieko Hojo (2019) Location estimation and classification of limit of positional identification of tunnel workers at a tunnel construction site using the Safeguarding Supportive System (SSS). The 3rd International Conference on Telecommunications and Communication Engineering, Conference Abstracts, p. 19. ⁽²⁾ ⁽³⁾
16	国際学術集会	Shoken Shimizu, Kyoko Hamajima, Shigeo Umezaki, Koichi Ono, Rieko Hojo (2019) Experimental trial of three-dimensional location detection of workers using the Safeguarding Supportive System (SSS) at a tunnel construction site. In #13 Symposium of Recent Developments in Behavioral Safety (10th International conference of Association for Behavior Analysis International), Program p. 23.
17	国際学術集会	Rieko Hojo, Kyoko Hamajima, Shigeo Umezaki, Koichi Ono, Shoken Shimizu (2019) Detection of dangerous points and behavioral modification from environmental change by behavior analysis procedure under the safeguarding supportive system (SSS) at a tunnel construction site. In #13 Symposium of Recent Developments in Behavioral Safety (10th International conference of Association for Behavior Analysis International), Program p. 23.
18	国際学術集会	Rieko HOJO, Kyoko Hamajima, Shigeo Umezaki, Koichi Ono, Shoken Shimizu (2019) Detection of Dangerous Points and Behavioral Modification from Environmental Change by Behavior Analysis Procedure Under the Safeguarding Supportive System at a Tunnel Construction Site. (10th International conference of Association for Behavior Analysis International), Program p. 37.
19	国内学術集会	松井克海, 北條理恵子, 清水尚憲, 濱島京子, 梅崎重夫, 大塚 裕, 福田隆文, 高橋 聖 (2019) モバイルロボットが走行する仮想作業環境における支援的保護システムの有効性検証. 安全工学シンポジウム2019, プログラム, p.6.
20	国内学術集会	北條理恵子, 松井克海, 濱島京子, 梅崎重夫, 中村瑞穂, 高橋 聖, 清水尚憲 (2019) モバイルロボットが走行する産業現場における行動分析学の活用. 安全工学シンポジウム 2019, プログラム, p.6.
21	国内学術集会	清水尚憲, 米竹淳一郎, 菖蒲鷹彦, 今井誠, 山本信一, 三原泰司, 小島英郷, 梅崎重夫, 濱島京子, 北條理恵子 (2019) トンネル施工現場における支援的保護システムの活用 - リスクポイント検出法に関する一考察. 電子通信情報学会安全性研究会

22	国内学術集会	松井克海, 北條理恵子, 清水尚憲, 濱島京子, 梅崎重夫, 高橋聖 (2019) トンネル作業環境における支援的保護システムの有効性検証. 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会.
23	国外規格等の発行協力	清水尚憲ISO/TR22053 発行予定、ISO11161改正作業終了予定
24	国内規格等の発行協力	清水尚憲,レーザー施工研究会,レーザー施工安全標準2019 (発行予定)