

産学官連携による先端的技術研究の成果を公表します

～大学等研究機関とのマッチング～

大学等研究機関とのマッチングにおける、令和7年度研究成果の概要を公表します。

関東地方整備局では、大学等の研究機関が有する先端技術（シーズ）を対象に、実践的な環境下で連携して技術研究開発を促進し、早期の社会実装・実用化を促すことにより、現場ニーズ（現場で解決したい課題）の解決を目指す取組を、令和2年度から実施しています。

この度、過年度に採択された6件の研究について、「令和7年度 研究成果の概要」を、関東地方整備局のホームページにて公表しました。

なお、各研究の概要および令和7年度の主な研究成果は、別紙に記載しております。

建設現場等での生産性向上と維持管理の高度化への貢献を目指し、今後もこの取組を推進してまいります。

<発表記者クラブ> 竹芝記者クラブ 埼玉県政記者クラブ 神奈川建設記者会

<問い合わせ先>

関東地方整備局 企画部

電話：048-601-3151（代表） メールアドレス：ktr-netis@mlit.go.jp

建設情報・施工高度化技術調整官 金澤（かなざわ）（内線：3132）

施工企画課 建設専門官 柿沼（かきぬま）（内線：3456）

■ 令和8年度も研究を継続（6件）

研究期間	テーマNo.	研究開発テーマ	研究代表者	研究概要
令和6年度 ～ 令和8年度 (3年間)	①	広域国営公園の植生・施設管理業務支援を目的とした計測・判定プロセスの自動化	茨城大学 <small>くわはら ゆうじ</small> 教授 桑原 祐史	国営公園における維持管理業務では、広域的レクリエーション需要への対応を目的とした維持管理業務の高度化が求められている。現場では、公園内をセンサ・カメラ等により、状態・変状の有無を効率的に観測・点検すること、巡視の効率化、園内巡回の自動化する技術ニーズが挙げられている。そこで、広域を対象とする巡視・定期点検業務の支援手段としてUAV(Unmanned Aerial Vehicle)および四つ足歩行ロボットといった2種類のプラットフォームを応用し、画像処理および生成AIを活用したシステムを開発し、業務の自動化と緻密化に取り組むことを目的とした。
	②	不要な植物のみを検出・識別して除去可能な選択的除草ロボットシステム開発の技術研究	東京電機大学 <small>なかむら あきお</small> 教授 中村 明生	不要植物を検出・識別し、そのみを除去する、選択的除草ロボットの開発 マッチング先である国営公園のニーズに基づき、花修景畑除草、芝生除草を応用先とする。当初想定していた道路の植樹帯に限らず、公的施設、堤防・高速道路周辺、にも適用範囲を拡張しうる。 ●深層学習を利用した画像認識技術で、不要な植物を検出・識別 ●個別かつ適切な除去を可能とする除草用マニピュレータ、およびエンドエフェクタを開発し、試作ロボットシステムを構築
	③	高炉スラグおよびサイディング切削粉を活用したジオポリマー系固化材による山間部砂防技術の開発	芝浦工業大学 <small>いなづみ しんや</small> 教授 稲積 真哉	本研究は、高炉スラグおよびサイディング切削粉を活用したジオポリマー系固化材による山間部砂防技術の開発を目的とする。気候変動による土砂災害増加とセメントの環境負荷低減を背景に、BFSと廃ガラスを主原料としたガラス再生AAMsを開発した。固化材単体の配合最適化ではNa ₂ O量を変数とし、一軸圧縮試験・TG・FTIR・XRD分析を実施。最適配合（Na ₂ O = 6.49 g）でセメント同等の強度を発現した。砂質土条件下でも基準強度を上回り、現地土砂塊状化の適用性を確認。これにより、CO ₂ 排出削減と資源循環を実現する持続可能な砂防技術の基盤を構築した。
令和7年度 ～ 令和9年度 (3年間)	④	電気化学的手法による酸性河川水の中和処理コストの低減化に関する研究	前橋工科大学 <small>たなか つねお</small> 教授 田中 恒夫	酸性河川水の中和処理において、石灰投入法の代替として電気化学的手法を提案し、その実用可能性について検討するとともに、中和処理の際に発生する水素の発電への利用可能性についても検討する。電解水素エネルギーを電源として有効利用することにより、低消費電力で中和処理が可能となる。電気化学的手法を適用して、石灰使用量を極力低減できる、二酸化炭素排出抑制型の持続可能な中和処理技術の確立を目指す。
	⑤	水陸両用ドローンとISVカメラを組み合わせた地下トンネルの無人点検診断システムの技術研究開発	早稲田大学 <small>さとう やすひこ</small> 教授 佐藤 靖彦	対象とする外郭放水路は、過酷な環境に置かれており、人による目視点検は極めて困難である。そこで本研究では、トンネルを無人で点検・診断するシステムとして、ドローンの自動走行に連動してISVカメラにより撮影・変状を抽出し、その変状から損傷機構の推定と対策の要否判断を行う一連のシステムを開発する。
	⑥	地下トンネル変形・変状計測システムの開発	東京大学大学院 <small>ちよん ばんじよ</small> 特任教授 全 邦釘	首都圏外郭放水路の維持管理高度化および災害時の迅速な安全確認を目指し、UAV、歩行型LiDAR、光切断法を用いた現地実証を行った。非GNSS・暗所環境下における3次元点群の構築、広域データの高速取得、および断面の定量的変状評価を検証した。結果、平時の予防保全と有事の無人点検双方におけるマルチモーダル計測の有効性を実証し、インフラDXの実現に資する成果を得た。

■ 「令和7年度 研究成果の概要」の公表ページ

<https://www.ktr.mlit.go.jp/gijyutu/gijyutu00000108.html>

■ 研究概要

研究開発テーマ	広域国営公園の植生・施設管理業務支援を目的とした計測・判定プロセスの自動化
研究代表者	茨城大学 教授 桑原 祐史
研究概要	国営公園における維持管理業務では、広域的レクリエーション需要への対応を目的とした維持管理業務の高度化が求められている。現場では、公園内をセンサ・カメラ等により、状態・変状の有無を効率的に観測・点検すること、巡視の効率化、園内巡回の自動化する技術ニーズが挙げられている。そこで、広域を対象とする巡視・定期点検業務の支援手段としてUAV(Unmanned Aerial Vehicle)および四つ足歩行ロボットといった2種類のプラットフォームを応用し、画像処理および生成AIを活用したシステムを開発し、業務の自動化と緻密化に取り組むことを目的とした
研究期間内の達成目標	広域を対象とする巡視・定期点検業務の支援手段としてUAVによる低空監視、衛星による上空監視により取得された画像処理および生成AIを活用したシステムを開発し、業務の自動化と緻密化に取り組むことを目的とした。研究の当初目的に対して、R7年度は無人地上計測手段である四つ足歩行ロボットを導入し、維持管理業務への応用可能性を検証する事と、小型UAVによる点検者自身を対象とした画像と音声記録の検討を目的に加えた。

■ 研究項目及びスケジュール

研究項目	令和6年度	令和7年度	令和8年度
1. システム検討の要件定義	←→		
2. 多段階・多方向な計測技術の検討			
1) 合成開口レーダデータによる被覆分析	←→		
2) UAVによる空撮方法の検討	←→		
3) 地上移動躯体による撮影方法の検討		←→	
2. 多段階・多方向な計測技術の検討			
1) 視覚言語モデルの調査と評価/導入	←→		
2) 撮影条件毎の画像を用いた評価/分析	←→		

■ 令和7年度の主な研究成果

- R7年度に対象とした国営アルプスあづみの公園の業務を学び、システム開発要件を整理した。
- Chat GPT 4oによるゴミの抽出精度を検証し、ごみ色により抽出精度に違いがあることが分かった。
- 天空開口率が50%程度あればUAV搭載の簡易な熱赤外カメラより哺乳類が発見できることが分かった。
- 小型UAVを巡視者に追従させ、音声記録と併用することにより、音声の文字化は数%の精度で実現できることが分かった。調査記録作成の省力化に結び付けることができる。
- 四つ足歩行ロボットを応用する可能性を検討した。360°カメラを搭載し園内を観測したところ、樹冠下部や雑草生育状態を捉えることが出来、公園管理への応用可能性があることが分かった。

(1) システム開発要件

国営アルプスあづみの公園管理者とのディスカッションにより、システム開発要件を取りまとめた。

(2) 調査の成果と四つ足ロボット導入に関する今後の展望

① 画像から対象物を判別する精度とコメントの精度

各管理項目に対する精度は「清掃状況の確認：F値 52.7%（ごみ）、74.9%（非定常物体）、野生動物の出没状況確認：F値 71.2%」であった。公園環境下で想定されるごみに対する生成AIの検出特性として、赤系（菓子包装など）のごみは検出されやすい一方で、白系（レジ袋など）および緑系（お茶系のペットボトルなど）のごみは、撮影条件や背景色との類似性により見落とされやすくなる可能性があるという結果が得られた。

② 哺乳類を模した熱源の抽出

人工熱源を36～37℃の湯を水袋に入れ、0.7×0.9mの典型的な熊のサイズになるよう地面に配置した。樹木の多寡を検討対象にしたが、事後に天空開口率を魚眼レンズカメラ画像で検証すると、94%、51%および26%であった。人工熱源の抽出精度は「再現率は66.7%、適合率は76.3%、F値は71.2%」となった。

③ 大型遊具の観測（図-1）

熱赤外線カメラをUAVに追加搭載し、大型遊具（マシュマロドーム）を撮影した。プロンプトで指定した任意の設備について平均温度および最高温度をRMSE 5.5℃および5.4℃程度で把握できることは、現地での接触確認等を補完し得ると考えられる。

④ 点検者の点検記録の自動生成の可能性（図-2）

自動追従して撮影可能な小型UAVを用い、音声の文字起こしについては、OpenAIの音声認識モデルである Whisper を用いた。Whisperによる文字起こしをみの場合の文字誤り率CERが8.0%であったのに対し、生成AIによる修正を加えることでCERは2.9%まで低減した。

⑤ 四つ足ロボット導入に関する今後の展望（図-3）

UAVによるデータ撮影領域をロボットで歩行実験を

行い、360度カメラを用い地物の画像を取得、撮影内容の応用利用性を検証した。



図-3 四つ足歩行ロボットから撮影した映像

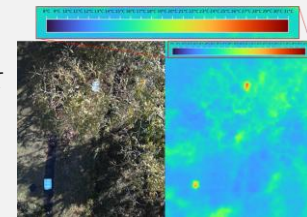


図-1 熱源の抽出に関する検討



図-2 小型UAVによる点検者の追尾

主な研究成果

■ 研究概要

研究開発テーマ	R7 不要な植物のみを検出・識別して除草可能な選択的除草ロボットシステム開発の技術研究
研究代表者	東京電機大学 教授 中村 明生
研究概要	不要植物を検出・識別し、そのみを除去する、選択的除草ロボットの開発マッピング先である国営公園のニーズに基づき、花修景畑除草、芝生除草を応用先とする。当初想定していた道路の植樹帯に限らず、公的施設、堤防・高速道路周辺、にも適用範囲を拡張しうる。 <ul style="list-style-type: none"> ● 深層学習を利用した画像認識技術で、不要な植物を検出・識別 ● 個別かつ適切な除去を可能とする除草用マニピュレータ、およびエンドエフェクタを開発し、試作ロボットシステムを構築
研究期間内の達成目標	<ul style="list-style-type: none"> ■ 項目1: 選択的除草ロボットの設計・開発 <ul style="list-style-type: none"> i) 移動プラットフォームの設計・開発 ii) マニピュレータ、エンドエフェクタの設計・開発 ■ 項目2: 深層学習を利用した植物検出・識別手法の提案 <ul style="list-style-type: none"> i) 除去対象植物の検出・識別 ■ 項目3: 実証実験・評価 <ul style="list-style-type: none"> 項目1, 2を組み合わせた除草ロボットの構築、現地実証 <p>なお、国営ひたち海浜公園、国営昭和記念公園、国営アルプスあづみの公園における現地調査、および関係者との打ち合わせに基づき、以下の2つのサブPJTを設定、それぞれにおいて項目1-3を実施する。 ・サブPJT1.花修景畑除草 ・サブPJT2.芝生除草(シロツメクサ)</p>

■ 研究項目及びスケジュール

研究項目	令和6年度	令和7年度	令和8年度
1.選択的除草ロボットの設計・開発			
i) 適用環境の定義に基づき、移動プラットフォームの設計・開発	←		→
ii) マニピュレータ、エンドエフェクタを設計・開発し、移動プラットフォームに搭載、試作ロボットシステムの構築	←		→
2.深層学習を利用した植物検出・識別手法の提案			
i) 画像処理技術により、実環境画像から、除去対象決定のための植物検出、および除去方法決定のための植物種識別	←		→
3.実証実験・評価			
項目1,2を組み合わせた除草ロボットの構築 実地検証	←		→

■ 令和7年度の主な研究成果

■ 項目1: 選択的除草ロボットの設計・開発

- (前提) (サブPJT1) 傾斜角度約20°の傾斜地を含む花修景畑、(サブPJT2) 特定雑草が繁茂した芝生地 (内容) i) クローラ型ロボットの制御プログラム、および後方牽引型の除草機構の開発
 ii) 車輪型ロボットへロボットアームを導入、両者の制御プログラムの開発
- (結果) i) 走行除草実験を実施、開発した除草機構の性能を確認
 ii) シロツメクサの個別株を対象とした抜き試験を実施し、基本動作を確認



Fig. 1 植物列除草ロボット



Fig. 2 引き抜き除草ロボット



Fig. 3 ロボットアームPIPER

■ 項目2: 深層学習を利用した植物検出・識別手法の提案

- (サブPJT1) まばら植栽下および密植栽下における作物列検出
 - (内容) i) 物体検出により作物位置を取得し、その配置規則性を利用して列推定
 ii) 色情報、クラスタリングにより左右作物列と列外植物を分離、領域分割・重心接続により列推定
 - (結果) 背景にコキアが点在するまばら植栽環境、ならびに作物の途切れや雑草繁茂が存在する密植栽環境のいずれにおいても、安定した作物列検出が可能であることを確認

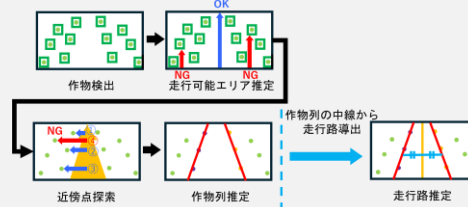


Fig. 4 まばら植栽環境における作物列の検出

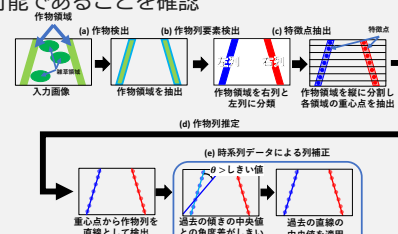


Fig. 5 密植栽環境における作物列の検出

□ (サブPJT2) 芝生上に雑草が群生している環境下における雑草領域判別および個別株検出

- (内容) i) ソフトラベル分類と再帰的グリッド分割による芝生・雑草領域判別
 ii) 合成画像データを用いたインスタンスセグメンテーションによる雑草個別株検出
- (結果) 除去対象領域の判別、および除去対象となる雑草個別株の検出が可能であることを確認

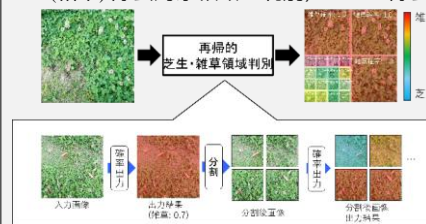


Fig. 6 特定雑草領域の判別

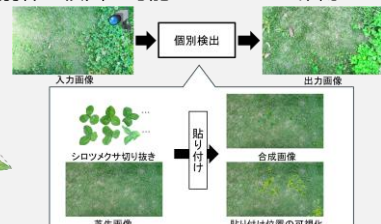


Fig. 7 雑草個別株の検出

■ 項目3: 実証実験・評価

- (サブPJT1) 作物列の検出・識別および列間における除草機構の移動動作を確認
- (サブPJT2) 雑草(シロツメクサ)の領域判別および個別株検出、ならびに当該株の抜きに関する基本動作を確認



Fig. 8 実地検証の様子

主な研究成果

■ 研究概要

研究開発テーマ	高炉スラグおよびサイディング切削粉を活用したジオポリマー系固化材による山間部砂防技術の開発
研究代表者	芝浦工業大学 教授 稲積 真哉
研究概要	本研究は、高炉スラグおよびサイディング切削粉を活用したジオポリマー系固化材による山間部砂防技術の開発を目的とする。気候変動による土砂災害増加とセメントの環境負荷低減を背景に、BFSと廃ガラスを主原料としたガラス再生AAMsを開発した。固化材単体の配合最適化ではNa ₂ O量を変数とし、一軸圧縮試験・TG・FTIR・XRD分析を実施。最適配合（Na ₂ O = 6.49 g）でセメント同等の強度を発現した。砂質土条件下でも基準強度を上回り、現地土砂塊状化の適用性を確認。これにより、CO ₂ 排出削減と資源循環を実現する持続可能な砂防技術の基盤を構築した。
研究期間内の達成目標	令和7年度の達成目標として、ガラス再生AAMsの最適配合（Na ₂ O = 6.49 g）を特定し、固化材単体でセメント同等以上の強度を確認した。また、砂質土条件下のソイルセメント試験により基準強度4.5 N/mm ² を上回る性能を実証し、セメント不使用固化材の基礎適用性を確立した。

■ 研究項目及びスケジュール

研究項目	令和7年度	令和8年度	令和9年度
1. 配合条件の最適化	←→		→
1) Na ₂ O量を主要変数とした変動実験の実施	←→		
2) 水固化材比固定条件下での強度発現評価	←→		
2. 反応生成物の構造解析	←→		→
1) FTIR分析によるシリケート鎖重合状態の観察	←→		
2) XRD分析による層間距離変化の評価	←→		
3. 砂質土適用性の基礎検討	←→		→
1) 固化材添加量変動によるソイルセメント供試体の砂防基準強度との比較検証	←→		

■ 令和7年度の主な研究成果

主な研究成果

- 配合条件の最適化
 - Na₂O量を主要変数とした変動実験の実施により、最適値Na₂O=6.49g（Case-2）で固化材単体の最大強度（材齢28日48.2 N/mm²）を達成し、普通セメントと同等の性能を確認した。
 - 水固化材比40%固定条件下での強度発現評価により、過剰なNa₂O量が強度低下を招く傾向を明らかにし、最適アルカリ量の存在を実証した。
- 反応生成物の構造解析
 - FTIR分析によるシリケート鎖重合状態の観察により、Na₂O増加に伴うSi-O-T振動ピークの低波数シフトを確認し、低重合化が進行することを示した。
 - XRD分析による層間距離変化の評価により、低角域ハンプの高角側シフトを観察し、C-(A)-S-Hの層間距離減少とCa²⁺架橋促進を明らかにした。
- 砂質土適用性の基礎検討
 - 固化材添加量変動によるソイルセメント供試体の作成により、添加量200~500 kg/m³の範囲で全ケースが砂防基準強度4.5 N/mm²を上回る性能を実証した。
 - 砂防基準強度との比較検証により、ガラス再生AAMs配合（特に200 kg/m³で6.45 N/mm²、500 kg/m³で23.5 N/mm²）が普通セメントと同程度の強度を発現し、現地土砂塊状化の有効性を確認した。

FTIR分析

シリケート鎖重合状態を観察する

XRD分析

層間距離変化を評価する

Na₂O量

最適値で最大強度を達成

水固化材比

過剰なNa₂O量を避ける

固化材添加量の変動 **砂防基準強度との比較** **ガラス再生AAMsの評価**

固化材の量を200~500 kg/m³の範囲で調整 供試体の強度を砂防基準強度と比較 ガラス再生AAMsの強度発現を評価

■ 研究概要

研究開発テーマ	電気化学的手法による酸性河川水の中和処理コストの低減化に関する研究
研究代表者	前橋工科大学 教授 田中恒夫
研究概要	酸性河川水の中和処理において、石灰投入法の代替として電気化学的手法を提案し、その実用可能性について検討するとともに、中和処理の際に発生する水素の発電への利用可能性についても検討する。電解水素エネルギーを電源として有効利用することにより、低消費電力で中和処理が可能となる。電気化学的手法を適用して、石灰使用量を極力低減できる、二酸化炭素排出抑制型の持続可能な中和処理技術の確立を目指す。
研究期間内の達成目標	大学実験室および現地（品木ダム水質管理所）においてベンチスケールセルおよび多段型中和処理システムを用いて通電実験を行い、①ベンチスケールセルと中和処理システムの中和特性、②円筒形活性炭素繊維の再生方法と多孔質電極内濃縮液（アニオン濃縮液）の有効利用、③中和処理と電極再生の自動化（多段型中和処理システムを用いて中和処理と電極再生の自動化を図る）、④セルから発生する電解水素による燃料電池発電の可能性および効率などについて検討する。

■ 研究項目及びスケジュール

研究項目	令和7年度	令和8年度	令和9年度
1. ベンチスケールセルを用いた中和実験			
1) セルの中和特性と設計・操作因子	通電実験 データ解析		
2) 多孔質電極の再生方法と多孔質内濃縮液の有効利用	通電実験 データ解析	データ解析	
3) セルの多段化とそのシステム設計	設計	設計 組み立て	
2. 多段型処理システムを用いた中和実験			
1) システムの中和特性とシーケンス制御		通電実験 データ解析	
2) 多孔質電極再生と多孔質内濃縮液回収の自動化		通電実験 データ解析	通電実験 データ解析
3) 電解水素の回収とその有効利用			通電実験 データ解析

■ 令和7年度の主な研究成果

1. セルの中和特性と設計・操作因子
 - ・セルの中和特性
 - ・セルの設計・操作因子
2. 多孔質電極の再生方法と多孔質内濃縮液の有効利用
 - ・多孔質電極の再生方法
 - ・多孔質内濃縮液の有効利用
3. セルの多段化とそのシステム設計

1. セルの中和特性と設計・操作因子

ベンチスケールの単槽型中和処理装置（図1）を品木ダム水質管理所（現地）に設置して連続方式の通電実験を行った。反応容器はアクリル製で、内径：148 mm、高さ：800 mm、有効容量：約12Lである。その中に、外径：148 mm、内径：76 mm、長さ：900 mmの活性炭素繊維、および直径：10 mm、長さ：1,200 mmのチタン母材白金メッキ棒を装着してセルを構築した。電極への印加は直流安定化電源、被検水のセルへの供給は蠕動ポンプを用いて行った。

通電実験は、湯川の酸性河川水を蠕動ポンプでセルへ直接供給し、HRTと電流を変化させて行った。電流：8Aで一定の場合、HRTは0.5～2.0hrの範囲、一方、HRT：2hrで一定の場合、電流を4～10Aの間で変化させた。流出水について、pHと陰・陽イオン濃度の測定を行った。

その結果、HRT：2hのとき流出pHは9付近まで上昇したが、HRT：1 h以下の条件では通電により流出pHは上昇したものの、アルカリ性になることはなかった。流出pHはHRTにより大きく変化することが確認できた（図2）。また、電流：6～10Aのとき流出pHは8以上となったが、電流：4Aの条件では通電により流出pHは上昇したものの、アルカリ性になることはなかった。流出pHは電流によっても大きく変化することが確認できた（図3）。

2. 多孔質電極の再生方法と多孔質内濃縮液の有効利用

流出水と活性炭素繊維陽極内濃縮液のイオン濃度を測定した。流出アニオン濃度は時間の経過とともに減少したが、カチオン濃度は上昇傾向であった。陽極内のアニオン濃度を測定したところ、液本体でのそれより200～300mg/L高かった。アニオン濃度の減少は、その陽極内における蓄積の影響と考えられた。陽極内濃縮液を定期的に引き抜くことにより、中和効率は高く維持できると考えられた。

3. セルの多段化とそのシステム設計

上記の結果に基づいて、長時間中和処理と電極再生の自動化などが可能な処理システムの設計を行った。今後は、ベンチスケールの単槽型中和装置を多段型処理システムへと改良する予定である。

主な研究成果

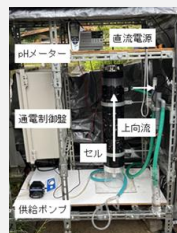


図1 中和処理装置

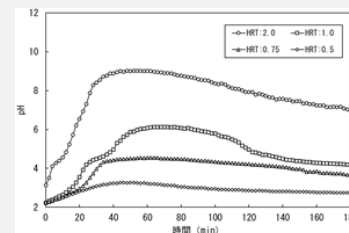


図2 HRTによるpH上昇の変化

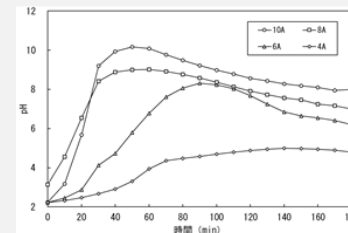


図3 電流によるpH上昇の変化

■ 研究概要

研究開発テーマ	水陸両用ドローンとISVカメラを組み合わせた地下トンネルの無人点検診断システムの技術研究開発
研究代表者	早稲田大学 教授 佐藤 靖彦
研究概要	対象とする外郭放水路は、過酷な環境に置かれており、人による目視点検は極めて困難である。そこで本研究では、トンネルを無人で点検・診断するシステムとして、ドローンの自動走行に連動してISVカメラにより撮影・変状を抽出し、その変状から損傷機構の推定と対策の要否判断を行う一連のシステムを開発する。
研究期間内の達成目標	構成する各技術を、点検と診断に関する研究項目に分ける。「点検」では、自動走行水中ドローン技術、ISVカメラによる自動撮影技術、変状の自動抽出技術の研究項目を、「診断」では、損傷機構の推定と変状の定量評価の研究項目を設定する。自動走行水中ドローン技術に関しては、ISVカメラと照明を載せた自動制御可能な水上ドローンを開発する。ISVカメラによる自動撮影技術では、内径10mの大断面及び暗所であるトンネル内面を360度カメラと3次元カメラによる自動撮影を行い、変状を自動検知できるシステムを開発する。損傷機構に関しては、3次元有限要素解析を活用して、変状と健全度とを結びつけ、措置の必要性を判断できるようにする。

■ 研究項目及びスケジュール

研究項目	令和7年度	令和8年度	令和9年度
1. 点検に関する技術開発	←		→
1) 自動走行ドローン技術	←	→	
2) ISVカメラによる自動撮影技術	←		→
3) 変状の自動抽出技術	←		→
2. 診断に関する技術開発	←		→
1) 損傷機構	←	→	
2) 対策の要否判断		←	→

■ 令和7年度の主な研究成果

主な研究成果

- 点検に関する技術開発
 - 最適な点検システムの決定
 - 水上ドローンによる画像取得と変状の自動検出
- 診断に関する技術開発
 - 有限要素解析による内圧を受けるセグメントの変形挙動と劣化・損傷原因

1. 首都圏外郭放水路での現地調査を実施し、現状の点検手法の課題や現場環境、発生している変状を整理し、3次元有限要素解析を通して、発生している劣化・損傷機構について分析した。図1は、解析により得られた単位幅あたりのセグメントの内圧による変形状を示す。止水材の剥離とコンクリート片の剥落が観察されている位置と変形が大きい位置が一致していた。すなわち、劣化・損傷が発生している要因は、内水圧の作用に起因する可能性が高い。

2. トンネル内は想定以上に過酷な環境にあり、当初想定していた水陸両用ドローンでは、3年間という期間では目的を達成できないと判断した。そのため、江戸川河川事務所との意見交換を通じて、点検時にトンネル内に一定の水を溜めることを前提とし、水上ドローンを活用する方針に変更した。

3. 水上ドローンに載せる、現地環境に最適な360度カメラと投光器の選定し、それら投光器と360度カメラを搭載した水上ドローンの試験運行を実施し、真っ暗なトンネル内においても鮮明なデータが得られることを確認した（写真1）。その際、走行経路や撮影設定、投光器の配置などにおいても最適な条件設定を見出すことができた。加えて、正常な画像のみを使用した教師なし学習に基づく、オートエンコーダーを用いた異常検知AIが、外郭放水路トンネル壁面に適用できることを明らかにした。また、撮影したデータを効果的に処理し、視覚的に分かりやすい形式で出力することが可能になった（図2）。

4. 最終的に、本研究において開発すべき点検・診断システムの全体像を明確にした。そして、近年開発された新たな制御法を用いた自動運転が可能な水上ドローンの開発に着手した。

図1 有限要素解析結果

写真1 水上ドローンに搭載した360度カメラで撮影した画像

図2 異常検知AIによる変状の自動検出結果（赤枠が変状箇所）

■ 研究概要

研究開発テーマ	R7地下トンネル変形・変状計測システムの開発
研究代表者	東京大学大学院 特任教授 全 邦釘
研究概要	首都圏外郭放水路の維持管理高度化および災害時の迅速な安全確認を目指し、UAV、歩行型LiDAR、光切断法を用いた現地実証を行った。非GNSS・暗所環境下における3次元点群の構築、広域データの高速取得、および断面の定量的変状評価を検証した。結果、平時の予防保全と有事の無人点検双方におけるマルチモーダル計測の有効性を実証し、インフラDXの実現に資する成果を得た。
研究期間内の達成目標	R7年度に検証した計測・解析手法を基盤として、R8年度はUAV等の自律飛行・遠隔操作技術による「計測の無人化」フレームワークを提案し、現場適用性の検証を行う。最終年度のR9年度には、実運用を見据えた無人化調査に必要な機材・設備の要件定義および仕様策定を行うとともに、取得データを一元管理するデータプラットフォームとの統合モデルを構築し、持続可能なインフラ管理DXの社会実装を目指す。

■ 研究項目及びスケジュール

研究項目	令和7年度	令和8年度	令和9年度
1. トンネル変形計測技術・計測システム			
1) 計測システムの開発・実証検討	←		→
2) 変形解析手法の構築		←	→
3) データプラットフォームとの統合			←
2. UAV・LiDARによる無人化調査			
1) UAV・LiDARの実証検討	←		→
2) 計測無人化のためのフレームワーク検討		←	→
3) 無人化調査のための要件定義・仕様策定			←

■ 令和7年度の主な研究成果

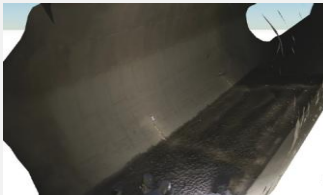
主な研究成果

1. トンネル変形計測技術・計測システム
 - ・ UAV、歩行型LiDAR、光切断法を用いた点群計測とその解析
2. UAV・LiDARによる無人化調査
 - ・ UAV、歩行型LiDARを用いた現地実証

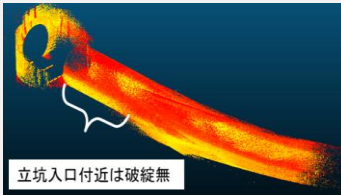
1. トンネル変形計測技術・計測システム

首都圏外郭放水路の地下トンネルにおいて、UAV、歩行型LiDAR、光切断法の3手法を用いた現地実証を行った。UAVによるSfM解析では、非GNSS・暗所環境下での3次元モデル構築と広域状況把握を実現した。歩行型LiDARは迅速な広域データ収集を可能にしたが、長大空間におけるSLAMの自己位置推定に課題を残した。光切断法ではミリ単位の高精度な断面計測を実施した。取得データに対し、独自アルゴリズムによる中心軸推定および真円度解析を適用することで、設計形状からの乖離を定量的に評価し、平時の維持管理および有事の無人点検に資する統合的な計測・解析手法としての有効性を実証した。
2. UAV・LiDARによる無人化調査


災害時等の人が立ち入れない危険な状況を想定し、UAVを用いた無人化調査の有用性を検証した。特筆すべきは、GNSS信号が届かず、かつ照明が極めて限られた暗所環境下での飛行実証である。本実験では、高感度カメラとオンボード照明を搭載したUAVにより、目視外飛行での状況把握を試みた。その結果、床面の堆積状況や壁面の変状の有無を鮮明な映像として取得することに成功した。これにより、地震直後などの有事において、UAVが「先行調査員」として内部の安全確認を迅速かつリスクなく遂行できることが実証され、将来的な完全無人点検への道を拓く成果を得た。



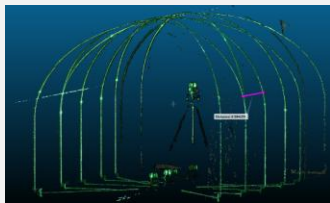
UAV撮影によるトンネル構造復元



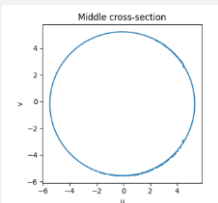
LiDARによる3次元復元結果




光切断法による計測



光切断法による形状測定結果



形状からの歪み度評価



暗所でのトンネル異常調査