

- 研究開発項目 : ロボット技術の研究開発
- 研究開発テーマ : 橋梁・トンネル用打音点検飛行ロボットシステムの研究開発
- 研究責任者 : 日本電気（株） 西沢俊広
- 共同研究グループ : （株）自律制御システム研究所、（一財）首都高速道路技術センター、（国研）産業技術総合研究所



研究開発の目的・内容

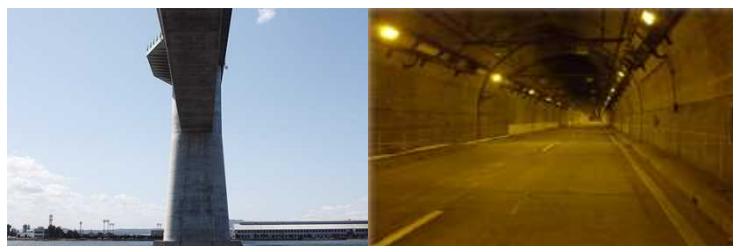
目的： 高所作業車等を利用した従来の打音検査の課題を解決するため、飛行ロボットを活用した点検システムを実現する。

従来の打音検査の課題

- ① 高所作業車による長時間の車線規制
- ② 高い橋脚等の足場設置が困難
- ③ 災害現場での人による点検が危険

飛行ロボットにより解決

- ① 車線規制時間の大幅短縮
- ② 死角など点検困難箇所の点検
- ③ 危険な場所での人の作業が不要



橋梁やトンネルの環境



打音点検飛行ロボット



打音点検センサ

研究内容：

- ① 橋梁・トンネルなどの非GPS環境、風などの外乱がある環境での**飛行制御技術**
- ② コンクリート構造物の打音による変状の**状況検知技術**
- ③ ロボットによる点検の**安全確保**と、従来の人手の点検からロボット導入による**生産性の向上**

現状の成果①打音点検飛行ロボット／飛行制御技術

研究成果：

- 打音点検飛行ロボットを試作し、国交省主催の現場検証にて要素技術の部分的な機能を確認
- 非GPS環境での飛行を目標としたトータルステーションによる位置計測、LRF※による環境計測機能の実現
- 搭載した打検機を壁面に押し当てる飛行制御の基本機能の実現
- JAXA風洞での飛行性能の評価により、風速8m/sの横向き整流での飛行安定性の確認
- 逸脱防止用ネットによる飛行試験現場の安全性確保。

※LRF：レーザレンジファインダ

試作した打音点検飛行ロボット



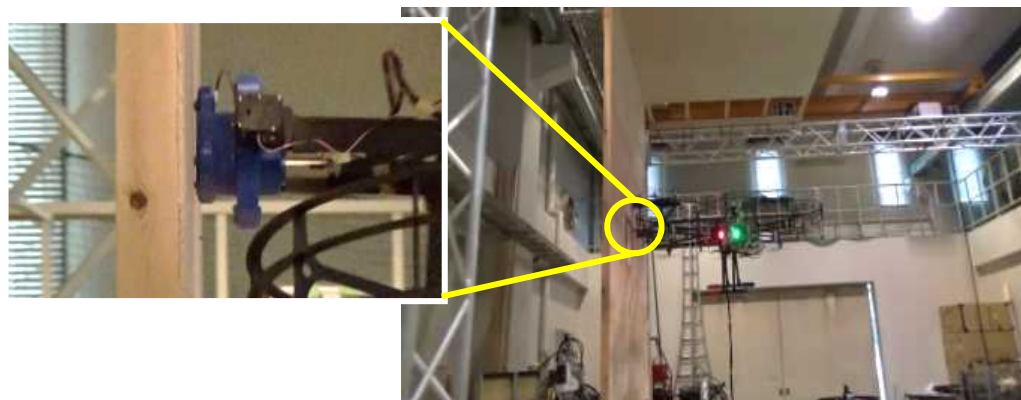
残された課題：
小型・軽量化
耐風性能の向上

JAXA風洞での飛行性能評価



6.5m×5.5mの大型風洞でのフリーフライト評価
風速（整流）3m/s～8m/sで安定性確認

打検機を押し当てる飛行制御



試作した逸脱防止用ネット

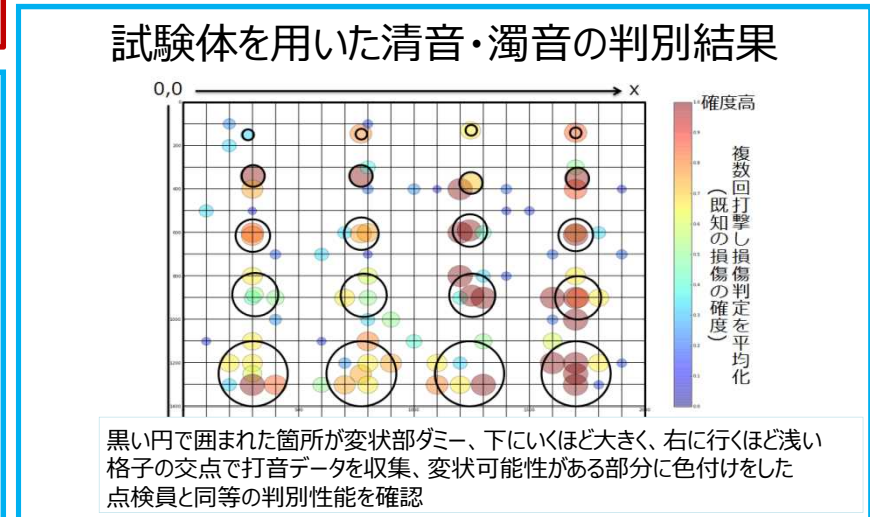
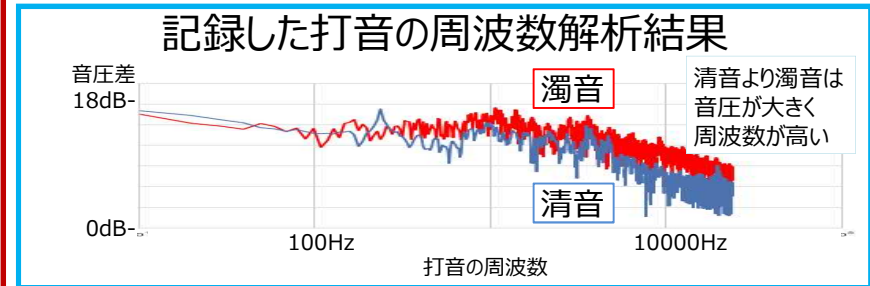


風を通しロボットをキャッチできるように網の間隔、糸の細さを最適化

現状の成果②ポール打検機／状況検知技術

研究成果：

- ・6m以下の高さで安価な打音点検支援を実現するため、打音点検飛行ロボットと共通のセンサヘッドを用いたポール打検機を試作。
- ・国交省の現場検証において実用性を評価。従来の点検と同等の時間での作業性を確認。足場の構築時間、費用を縮減。
- ・試験体や現場検証での打音の収集と解析の実施。周波数解析により変状の特徴抽出。
- ・Deep Learningによる打音の清音・濁音の識別機試作。
- ・飛行ロボットのロータノイズを低減する音響処理フィルタの開発、点検員の評価により聞きやすさの向上を確認。

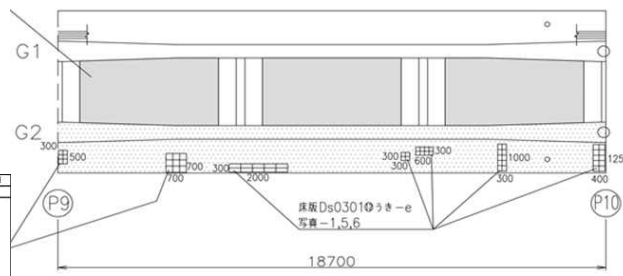


ポール打検機による点検結果に基づく調書の例

茨城県幸久橋の床板下面濁音があった場所を変状個所として位置と写真を記録したもの

写真番号	2	経路番号	10	撮影年月日	平成27年11月12日
撮影名	張り出し床板	変状番号	0301	メタ	
撮影の種類	うき	損傷程度	○		

張り出し床板下面
うき



開発の最終目標：

<共通>

- ・橋梁・トンネルの打音点検の支援
- ・清音／濁音の識別支援

<打音点検飛行ロボット>

- ・連続運用 2 時間（有線給電）
- ・高度 30m ・平均風速8m/sで運用

<ポール型打検機>

- ・足場なしで高さ6m以下の打音点検

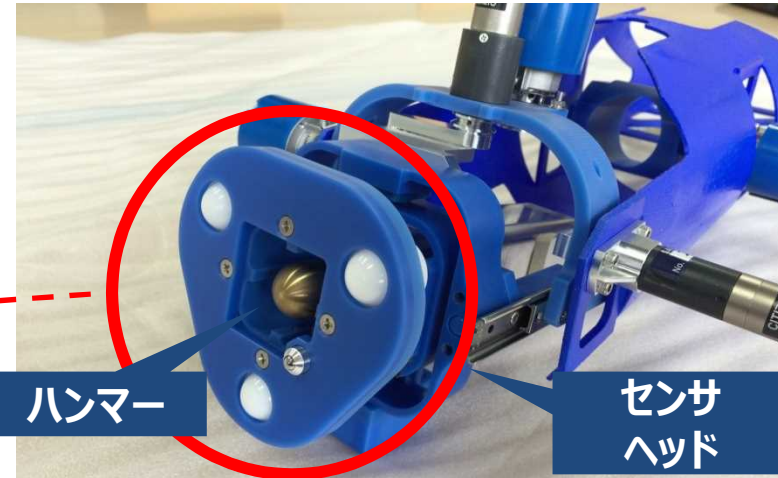
社会実装イメージ：

- ・従来の足場建設、または高所作業車や橋梁点検車が必要な高所の打音点検に本装置を活用
- ・従来の機械足場や点検装置と同じようにレンタルにより点検業者に提供
- ・点検データの管理、情報共有についてはクラウド型で情報サービスを提供
- ・首都高速道路で実績を積み、NEXCOや国交省、県などの自治体が管理する道路へ展開
さらに鉄道、ビル等の道路以外の点検に応用

改良中の打音点検飛行ロボットシステム



開発中の機体、昨年度より40%小型化
今後評価を実施し、現場での実証実験を計画



ハンマー

センサ
ヘッド

SIP 維持管理技術のアピールシート

平成 28 年 12 月 7 日

説明会参加者の理解を助けるため、SIP ホームページに公開されている SIP 維持管理技術の情報をもとに、メンテナンスアドバイザー (MA) のコアメンバーが事前に出した意見を記載しました。これに、技術の開発者からコメント (囲み部分) を加えていただきました。

1. 研究開発の技術名称 (研究責任者)

橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発 (西沢俊広)

2. 技術の特徴

高所作業車等を利用した従来の打音検査の課題を解決するため、飛行ロボットを活用して、点検時の安全確保と、点検の生産性向上を図る技術である。

- ① 非 GPS 環境での位置計測、LRF による環境計測が可能である。
- ② 高度 30m, 平均風速 8m/s で安価な打音点検が、従来の点検と同等の時間での作業性が確保できる。
- ③ 逸脱防止用ネットにより点検現場の安全性が確保できる。
- ④ 2 時間の連続運用が可能である。

【開発者からのコメント】

打音検査飛行ロボットは高さ 6 m 以上の点検箇所を対象にしています。高さ 6 m 未満の点検箇所は「打音検査器」をポールの先端に取り付けた「ポール打音検査機」を活用して頂くよう開発しています。

3. 岐阜県内での想定される活用方法

3-1. 法定点検の代替

この技術は、現時点では法定点検の代替になりにくいかもしれないが、この技術のメリットとしては、交通規制を省略できる点があげられる。作業時間や機材が増えても、コスト面での有利性が失われないことが望まれる。自治体の点検においてこの技術を活用しやすくするため、以下の観点から検討してはどうか。

- ① 性能調査：提案されている技術が、従来手法と同等以上の性能を有しているか。
- ② 従来手法の代替としての可能性：提案されている技術が、法定点検の部分的な代替となるか。(効率性, コスト面含め)
- ③ 個別技術の組合せ：他の個別技術との組合せにより、法定点検の代替となるシステムを開発可能か。

【開発者からのコメント】

①：「打音検査飛行ロボット」及び「ポール打音検査機」について、点検要領において点検員の聴音による清音・濁音判別が規定されていることから、点検員に打音検査機からの打音を提供することを基本に開発しています。同時に判別を補助する目的で、打音の周波数分析結果を点検員に

提供するシステムを開発中です。従来手法と同等以上の性能を有していることを確認するため、供試体での検証、現場での検証を継続的に実施しています。

- ②：現行の点検では、低いところでは梯子、高いところでは高所作業車・橋梁点検車などの機械足場を利用しており、点検効率及び点検費用の面で課題を有しています。また鋼橋の床版叩き点検では、機械足場の横構の制約から床版面を叩くことが出来ない場合があります。「打音検査飛行ロボット」及び「ポール打音検査機」は点検状況に応じてそれぞれ活用が出来ると考えています。
- ③：打音検査機は他の機構のロボット（例えば懸垂型ロボット）においても搭載可能であり、検討を進めてまいります。

3-2 橋梁維持管理での利用

- ① 法定点検の結果、健全性の診断が区分Ⅰ（健全）と対策区分Ⅱ（予防保全の段階）のものを対象として、次回点検に本技術による間接目視点検を導入する。
- ② 本技術を用いた点検で新たな損傷が発見された場合には、点検車（交通規制）を用いた近接目視点検を実施する。

【開発者からのコメント】

ご指摘のとおり、健全度Ⅲ（早期措置段階）、健全度Ⅳ（緊急措置段階）では橋梁点検員による近接目視点検が必要と考えています。

4. 活用に際しての現状での問題点

- ① 法定点検は近接目視点検を義務づけているが、本技術による点検が認められることが大きな課題である。
- ② 法定点検における要求事項（近接目視）を全て満足する技術ではなく、現時点における従来手法の全面的代替の可能性は高くない。
- ③ この分野の開発者達は、当然のことながら、安全性とサービスメニューを差別化することで、自社の優位性を確保しようとしており、開発者相互の足並みが揃わない可能性がある。
- ④ 自治体の点検における施設的条件（施設規模の大小）や地理的条件（平地、山間地）は多様であり、提案されている技術を適用できるケースは限定される可能性がある。

【開発者からのコメント】

①②：「打音検査飛行ロボット」及び「ポール打音検査機」は法定点検での道具として活用されるものと考えています。コンクリート面の撮影画像の合成と自動ひび割れ抽出は点検調書作成効率を高めます。

③：ロボット開発における要素技術は、開発者同士の連携が可能です。「ロボット動作機構」「撮像装置」「打音検査技術」「画像処理技術」「自動ひび割れ抽出技術」「点検調書作成機能」などです。

④：「打音検査飛行ロボット」及び「ポール打音検査機」を多くの現場条件において試行し、改善を加えることが必要と認識しています。

5. 活用に向けての課題

- ① 法定点検で飛行ロボットの活用が可能な点検内容を明確化する。
- ② 法定点検の範囲内に、ロボット点検手法を位置付ける（例えば、ロボットによるスクリーニング点検と詳細点検の2段階点検など）。
- ③ ロボットによる個別の調査技術が、従来の調査技術と同等以上の性能であることを、証明・認証するしくみを構築する。
- ④ 自治体の多様な条件に適合可能で、従来手法よりもコスト面等で優位であることを示す。
- ⑤ 比較的健全な橋梁であれば、飛行ロボットによる点検で、「問題が無い」状況を十分に把握できることを証明する。

【開発者からのコメント】

- ・従来の点検と同等以上の性能であることの評価、証明をどうするかが課題となっているため、様々な現場での試行実施が重要と考えております。
- ・「打音検査飛行ロボット」はスクリーニング点検として有用であると考えます。

6. 課題の解決策

- ① 技術開発者への詳細機能や適用条件等のヒアリング
- ② 国土交通省へのヒアリング（制度として認められるか）
- ③ 個別技術の点検精度確認方法の検討
- ④ 多様な条件を反映した実証フィールドの選定
- ⑤ 点検精度のみならず効率性、コスト面での比較が可能な実証実験の実施
- ⑥ ロボットの活用が可能な点検手法の検討とマニュアル（案）作成
- ⑦ 個別提案技術の組合せが可能な開発環境の整備（開発者によるコンソーシアムなど）の検討
- ⑧ 歩掛調査
- ⑨ 飛行技術研修

【開発者からのコメント】

- ご指摘頂いた各項目について、取り組んでまいります。
- ・実際のフィールドで現場検証を重ね、評価し改善する計画です。

7. これまでに利用されている既存技術

【開発者からのコメント】

—

8. 本 SIP 技術の開発状況および開発完了時期

【開発状況】

打音検査飛行ロボット：2016 年度末に現場検証を実施できるレベルの試作機を開発し、2017 年～2018 年にかけて現場検証と改良を重ね、2019 年の実用化を目指しています。

ポール打音検査機：現場検証用の装置が数台準備されている状況で、現場検証に着手できます。2017 年度に台数を増やし、テストマーケティングに着手する計画です。

9. 技術の新規性（既存技術との比較）

- 既存技術をより良くするものである
- ・ 足場での高所作業を減らし点検効率、安全性が向上します。
 - ・ 足場の構築のコストをなくすことで点検時間の短縮、経費の削減が可能です。

10. 技術の適用範囲や精度

打音検査飛行ロボット：

- ① 飛行範囲に対する制限
- 風が強いときには運用できません。（平均風速 8m/s での使用を目標としています）
 - ロボット検査のための飛行時の周辺空間（2mx2m）が必要です。
- ② 打音点検の精度
- かぶり 50mm、100mm 四方のうき・剥離の検出ができることを目標としています。

ポール打音検査機：

- ① 点検範囲に対する制限
- 6m の高さまでアクセス可能です。
 - 高所作業車・橋梁点検車からの広範囲の打音点検を可能にします。

11. これまでの実績・成果等

- 供試体及び橋梁の現場において実証実験を重ねています。
- 打音検査飛行ロボット：飛行安定性などの技術課題を解決するための実験を重ねている状況です。
- ポール打音検査機：点検員の聴音での清音・濁音判別ができています。周波数分析による清音・濁音の判別性能の向上に取り組んでいます。

12. 実業務での利用時の対応

- ① 検査機器 1 式の導入コストは、どの程度となるか。（リース or レンタル）
- リース、レンタルでの提供を検討しています。
- ② 利用時のコスト
- 「打音検査飛行ロボット」は現時点で算出ができていません。ポール打音検査機については月額 5 万円でのレンタルを想定しています。
- ③ 利用者への教育
- 利用者教育ありあるいは取扱説明書での対応する計画。「ポール打音検査機」
 - 専門の体制（会社）により実施する可能性もある。「打音検査飛行ロボット」
- ④ 測定機器のメンテナンス体制
- NEC の関係会社での体制検討中。
- ⑤ この装置以外で、利用者側で準備すべき機器等
- 打音点検飛行ロボット：発電機、照明
- ⑥ 既存技術では不要であったが、本技術では準備すべき事項・対応など
- 特になし

13. 開発者から特に付記したい項目など

【開発者からのコメント】

—

SIP 維持管理技術へのアドバイスシート整理結果

平成 29 年 1 月 23 日

研究開発の技術名称（研究責任者）

橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発（西沢 俊広）

岐阜大学 SIP 実装プロジェクトの説明会（2016/112/07）における参加者の立場

- MA（メンテナンスアドバイザー）：自由に意見を述べアドバイスシートに記入：9人
 - オブザーバー：制約はあるが、意見を述べ、アドバイスシートに記入：3人
 - 聴講者：意見を述べず、アドバイスシートにも記入しない：0人
- （合計 12人）

以下、MAの回答を（→）で、オブザーバーの回答を（⇒）で表記する。

1. 実業務への適用範囲

- 提案されている技術のみで、実業務に適用できると思う。3人
- 既存技術の一部を補完する要素技術として適用できると思う。4人
→高所作業車両を大型→小型、小型→脚立、で経費の縮減が可能
- 他の要素技術や既存技術との組合せによって利用の可能性は広がると思う。5人
- その他（)

2. 提案技術の利用についての実務面からの印象

- 積極的に利用したいと思う。5人
→打音検査飛行ロボットシステムの完成度は明確ではないため、現時点での実務面への導入は困難であると考え。しかし、ポール打検機は簡便なシステムであり点検支援機器として利用できる可能性が高い。
→現在の道具の延長：既存の柄の長いハンマーを、柄の部分を7m長くした。このような改良に伴い以下の機能が追加された。
 - ・ハンマーの打撃部分が作業者の手から遠くなったので叩き難くなった。打撃を補完するためにピストン機構の振動を追加した。
 - ・作業者の耳から打撃箇所が遠くなり聴音で確認し難くなった。聴音を補完するために打撃部にマイクを取り付けた。
 - ・作業者の目から打撃箇所が遠くなり直接目視をし難くなった。目視を補完するために打撃部に接近カメラを取り付けた。
- 試用してみないと利点が明らかにならないから。苦渋作業が減る可能性がある。
- 発注者からの指示であれば利用する。4人
→音により健全度、危険度がどこまで判別できるか今後のディープラーニングの成果に期待。
→実際に叩きおとしはできないか。（多分できない。）
⇒打音の力の加減。手に伝わる振動。
【開発者からの補足】打音検査は一定の力による打音データの「音の大きさ」「音の高さ」

「音色」について判別することで進めたいと考えています。また、データベース化においても一定の力による打音データとして蓄積を考えています。「手に伝わる振動」は軽量化の方向からは困難ではないかと推察します。

□ 使えない（使いたくない）と思う。1人

→軽量化への改良。金額面で実用は難しい。点検は、打音だけでなくひび割れなども必要。

3. 提案技術が優れていると思った項目

既存技術に比べて、提案技術が優れていると思われる項目、機能等

→人間の耳と機械による分析で診断エラーを防止できる。

→人が判断する打音を機械でやる点が優れている。個人差が無くなり、信頼性が高くなると思う。

→ディープラーニングが進めば、人によらず定量的な評価が可能。点検員が現場で、耳で聴く機能がある。

→打音の周波数分析による変状検知支援機能。

→打音を自動解析するソフトを追加した。

- ・打音での判別は経験による定量化が難しい。打音データをクラウドにのせ、ディープラーニングで自動解析機能を付加することで点検技術者のスキルのばらつきを小さくして、点検精度と点検効率の向上を期待したい。

→単純明快で、だれにでも道具として使えると思われる。

→劣化の判断基準にできるところ。

→ポール打検機。打音検査のデジタル化。

⇒発想

4. 提案技術への改良提案

岐阜県内での実装に際して、充実させて頂きたい項目、機能等

→安価で利用できる販売をして欲しい。複数の機械を同時に機械的装置等によって稼働させて点検をスピードアップする。

→分析技術を高めて欲しい。

→上面の打音時防護。濁音箇所のマーキング機能（チョークは横向きではなく、打音面向きの方がよい。床版下面のチョーキングができない）。位置の特定（デジタル的に）。

→ポール打検機の打音位置特定機能を搭載してほしい。現状の目視による打音位置確認方法では、正確な位置確認ができないケースも多く出てくるのが予想される。

→GNSSによる座標の取得：橋梁の位置を岐阜県が整備している「県域統合 GIS」に載せたい。

- ・計測場所は橋梁上面の下流側の左岸及び右岸の二か所。トンネルは両坑口の北側端点
- ・調査済み箇所を GIS に載せて「見える化」を図りたい。

→打突力が小さいように思う。空洞の状況に応じて、打突エネルギーを大きくできないか。故障した際、対応が取りやすい装置であることが重要。

→部分取替などによるひび割れ（幅、長さ）の抽出、マーキングの追加。

→清音・濁音の識別機能

⇒打音の強弱。打音のヘッド部の首の調整（桁下、橋面の下）。打音時のコンクリートの剥落に対して、調査員の安全性。

【開発者からの補足】打音検査は一定の力による打音データの「音の大きさ」「音の高さ」「音色」について判別することで進めたいと考えています。

5. 提案技術の別な用途での利用提案

開発意図とは異なる方面での利活用ができると思われる項目等

→法面（吹付コンクリート）道路構造物（擁壁など）または新設構造物の供用前の初期点検

→橋梁，トンネルに限らず，建物外壁など他の構造物の打音点検に利用が可能と考える。

→高い場所にあるコンクリート吹きつけ面，コンクリート擁壁面での，コンクリートの浮きの打音調査。

→内部が道路のボックスカルバートなどの簡易点検（剥落防止）。

⇒トンネル，ボックスカルバートなどの点検配。

6. 提案技術と他の新技術との組み合わせの提案

実装に際して他の技術と組み合わせると，更に使いたくなると思うこと等

→剥落箇所を特定するためのスクリーニングという使い方であれば，サーモ技術と組み合わせることで，より精度が高まり，また効率化も図れるのではないのでしょうか。

→ひび割れ自動抽出技術。

7. 提案技術に対する技術的発展の期待度

本技術提案は，インフラ維持管理・更新・マネジメント技術として，システム化されたインフラマネジメントを構築でき，インフラの事故を未然に防ぎ，維持管理やメンテナンスの負担軽減を図ることが期待できますか。

大いに期待できると思う。4人

→既存の道具＝打撃ハンマーの改良研究と理解しました。

→打音機による打音検査のデジタル化は，作業の効率化と精度向上が図れて画期的だと思う。（技術力がなくても誰でも検査できる）トンネル清掃車のように，打音機を10個程度アームに取り付けて広い範囲を迅速に点検できると良い。

改良等を行えば期待できると思う。7人

→単なる打音だけでなく，カメラ機能までであれば（自動診断データベース解析はなし）

すぐに使用できるのではないか。（自動診断データベース解析は数年後の将来目標とする）

→他技術との組み合わせ。どこに使うものか対象のしぼり込み。スクリーニング，点検，診断の何に活用するか。

→点検車でも手の届かない箇所があるため（床版下面など）有効な技術と考えられる。（あとは費用の問題，軽量化の問題など）

→飛行ロボットシステムについては現時点での実務面への導入は困難と考えるが，ポール打検機は簡便で取り扱いも簡易な機器であることから，点検支援機器としての実用性は比較的高いと考える。

→叩いた位置が半自動で記録できるようになっていないと、省力化が図れないと思う。
⇒コンクリートの強度や厚さによって打音の強弱が必要と思う。電源ケーブルやヘッドフォンのケーブルをポール内に内蔵。マーキング（どこで打音したか）高所作業車での作業、機器の落下防止の機能が必要。

【開発者からのコメント】打音検査は一定の力による打音データの「音の大きさ」「音の高さ」「音色」について判別することで進めたいと考えています。

□ 本日の説明だけでは、期待できないと思う。0人

8. その他（自由な意見を記入してください）

→打音の分析技術を高めて、剥落の時期を予測できるようになると、たたき点検の対象時期や範囲を決めることが可能になります。高架橋や長大橋のコンクリート面に特化して研究を進められたらどうでしょうか。浜名湖近くのPC橋（国道）のような事例で利用したらどうか。

→打撃音の解析：他社の技術と組んでみてはいかがか。

- ・ディープラーニングの開発に遅れがあるとのことなので他社の技術と共同開発してはいかがか。
- ・打音の自動解析ソフトの開発が本研究の重要なセグメントと考えています。

→画像による3D連続画像の作成を他社の技術を採用してはいかがか。

- ・画像から3D連続画像の作成する研究は他の研究で進められており、本SIPでも既に発表がされています。打音計測結果の異常個所の確定と位置の「見える化」に必要な橋梁の3D画像を作成する要求は強いと考えるので提案をします。

→点検飛行ロボットの研究が進むことを望みます。

⇒ポールの軽量化と長大時のポールのしなり。ポールの伸縮（高さを変化させる度にポールの伸縮が必要）