

非破壊レーザープラズマ打音 検査法の開発

量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門
関西光科学研究所・光量子科学研究部
上席研究員 錦野 将元

2022年7月26日

研究開発背景：インフラ点検の高速・高度化

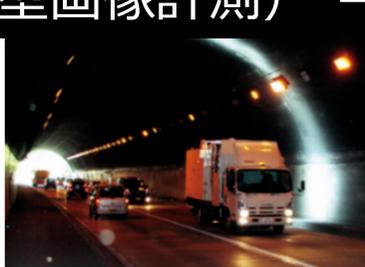
日本のインフラは老朽化が進み、増大するインフラ維持管理の中で、担い手の検査員が高齢化・人材不足により急激に減少するという危機的状況である。検査員と同等の技術を持つロボット化点検技術の開発し、インフラ点検のロボット化を進めていく必要性がある。

点検支援技術の開発

人による「近接目視」



ロボット点検技術 (走行型画像計測)



インフラ計測市場

橋梁
83万橋
17,700 km

トンネル
1.5万本
8,700km

ダム
プラント
空港・港湾

デジタル原則に照らした 規制の一括見直しプラン

原則①：
デジタル完結・自動化原則

方向性

人の介在(対面、常駐、資格者配置、拠点設置、目視、立入等)を見直し、点検等の遠隔実施、自動化・機械化等の最大限のデジタル化を基本とすること

デジタル庁・デジタル臨時行政調査会
デジタル社会の実現に向けた5つの原則(2022.6.3)

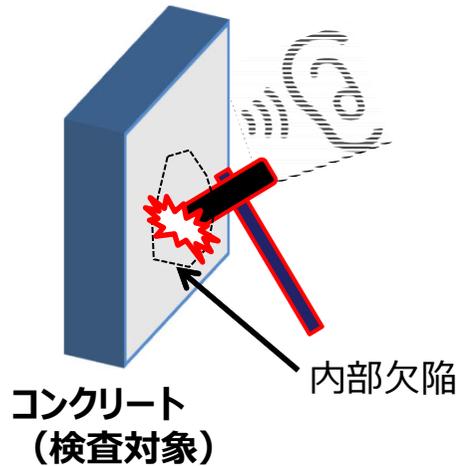
道路統計年報2019(トンネルの現状、道路の現状)
鉄道統計年報(平成29年度)

研究開発背景:レーザー打音検査

道路のトンネル等のコンクリート構造物の内部に欠陥が生じているか否かを、非接触且つ非破壊で検査する手法として、レーザー打音検査手法がある。

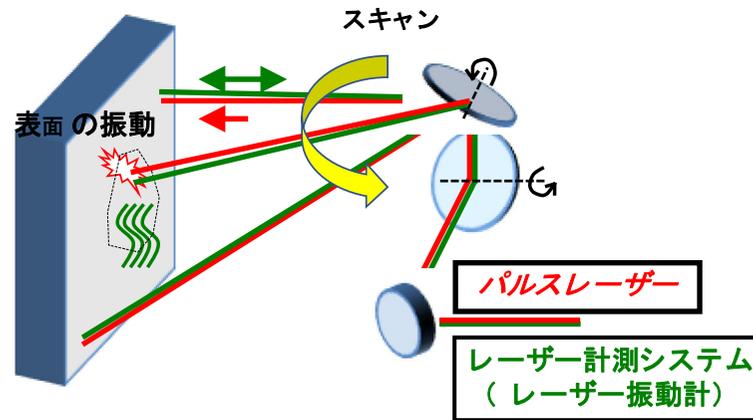
ハンマーによる打音

ハンマーで叩いて
音（振動周波数）の違いを聞き分ける

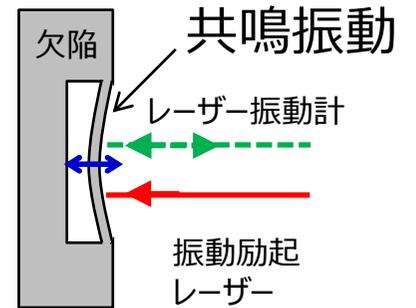


レーザーによる打音

レーザーで叩いて
表面振動（振動周波数）の違いを検出する



レーザー照射模式図

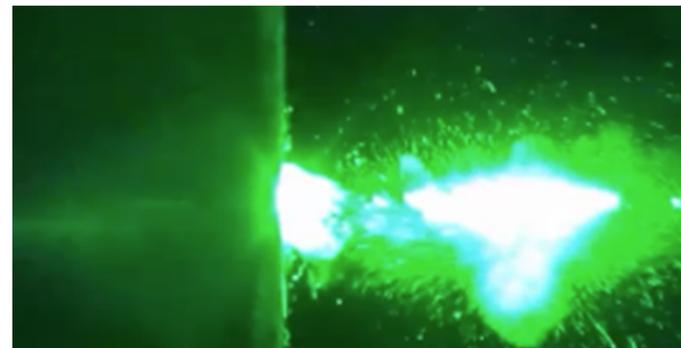
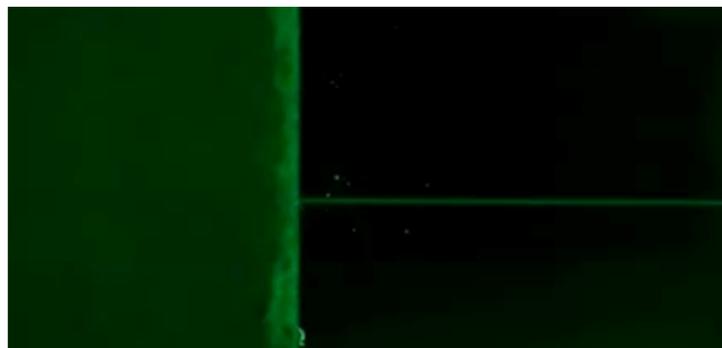


新技術の概要

ターゲットの表面においてレーザーアブレーションを生じさせる加振法では、対象の表面にアブレーションの痕が傷として残る。

レーザーを用いつつ対象に傷を付けない加振方法としてレーザー誘起プラズマ衝撃波を衝撃波管で導波することで効率的なターゲット加振が可能となった。

パルスレーザーによるレーザーアブレーションの様子



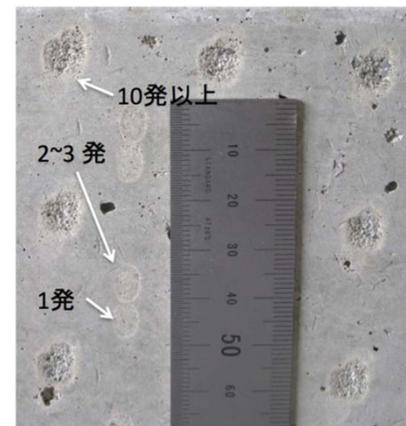
従来技術とその問題点

- ・ レーザー打音検査では、計測対象にパルスレーザーを照射し、レーザーアブレーションを生じさせ加振するため、対象の表面にアブレーションの痕が傷として残るといった問題がある。
- ・ コンクリート構造物以外のタイル、金属など表面を傷つけない打音検査広く利用されるまでには至っていない。
- ・ 検査適用範囲の拡大のための装置の小型化に期待。
(究極的にはマルチコプターへの搭載)

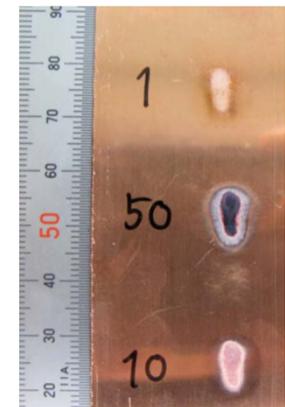
道路トンネルでのレーザー打音検査の様子



レーザーアブレーションによる表面影響



コンクリート

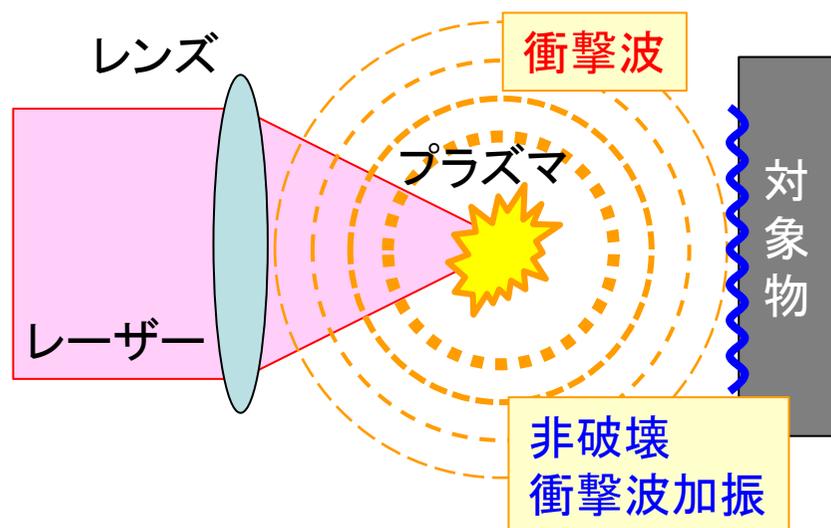


銅板

従来技術とその問題点

- ・ レーザ誘起プラズマ (Laser induced plasma , LIP) から発生する衝撃波を用いて対象物を加振することが可能。
- ・ コンクリート構造物の欠陥をレーザープラズマから発生する衝撃波で検出する、世界初の完全非破壊なレーザー遠隔打音検査手法を開発しました。

#芝浦工業大学、量研プレスリリース(2022.2.22)



課題

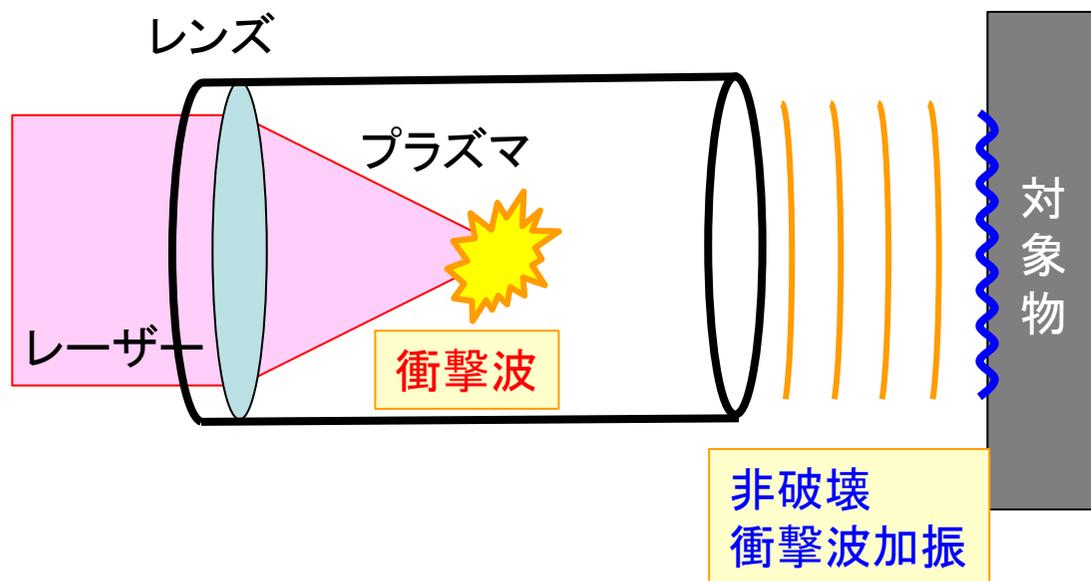
アブレーション法に比べて
加振力が低い

新技術の特徴・従来技術との比較

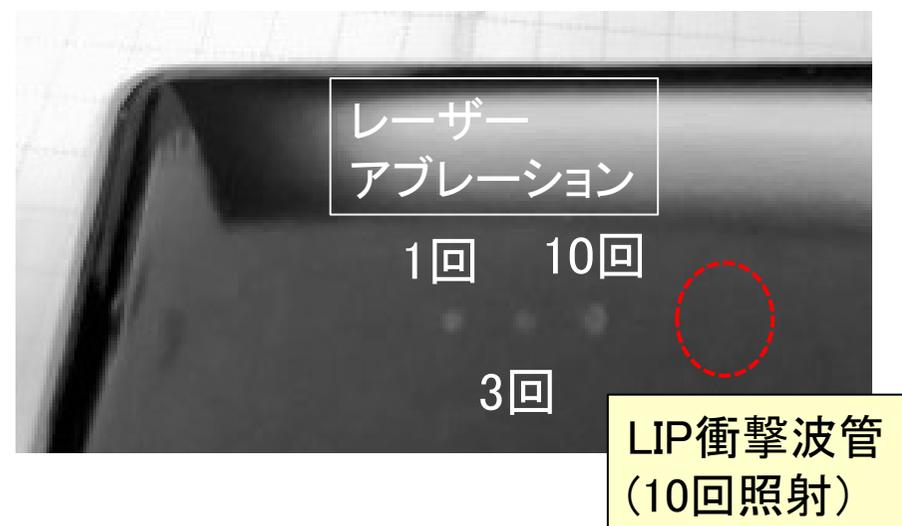
- 衝撃波管を用いてレーザー誘起プラズマ衝撃波を導波することで加振力が強くなった。

→効率的なターゲット加振が可能となった

LIP衝撃波“管”加振



タイルへの照射実験 (100~ mJ)

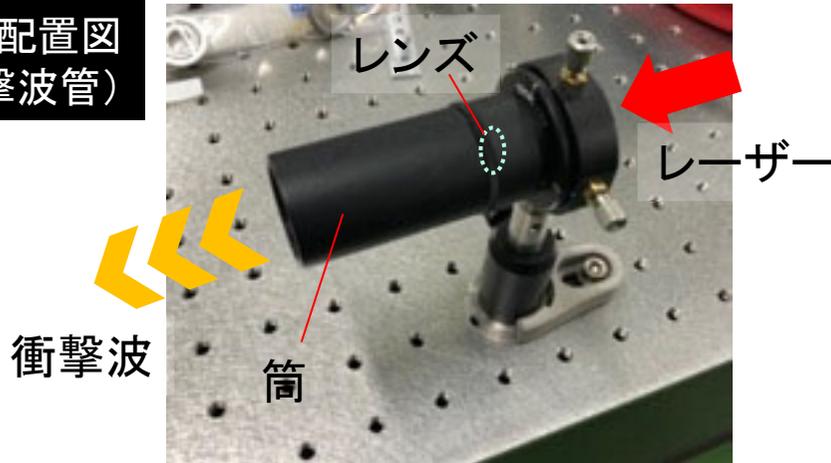


従来技術と新技術の比較

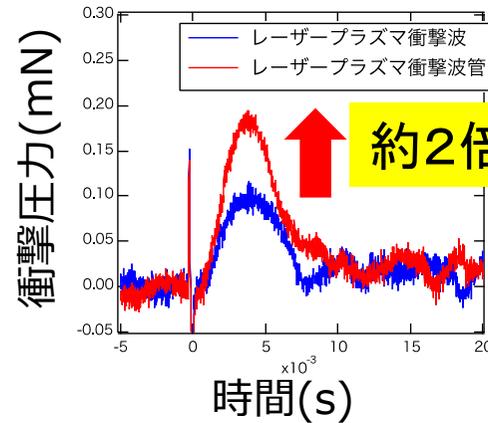
	レーザーアブレーション	レーザー誘起 プラズマ衝撃波	レーザー誘起 プラズマ衝撃波 “管”
計測対象 までの距離	◎ 遠距離計測可能 (10m以上)	× 近距離 (10cm以内程度)	△ 近距離 (10~100cm以内)
計測対象の 表面損傷	× 表面損傷(剥離) (数十~百μm程度)	◎ なし	◎ なし
計測対象	コンクリート等	金属板、果物	タイル、金属、果物 コンクリート
散乱光対策	× ゴーグル等が必要	× ゴーグル等が必要	○ 反射物でなければ不要
加振力	◎ レーザーエネルギーに 応じて増加	× 弱い	○ 管の形状と レーザーエネルギーに 応じて増加

新技術を用いた計測結果

実験配置図
(衝撃波管)



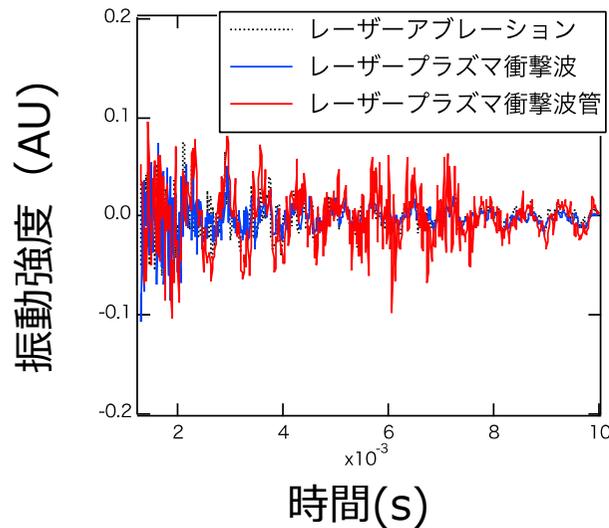
衝撃波圧力



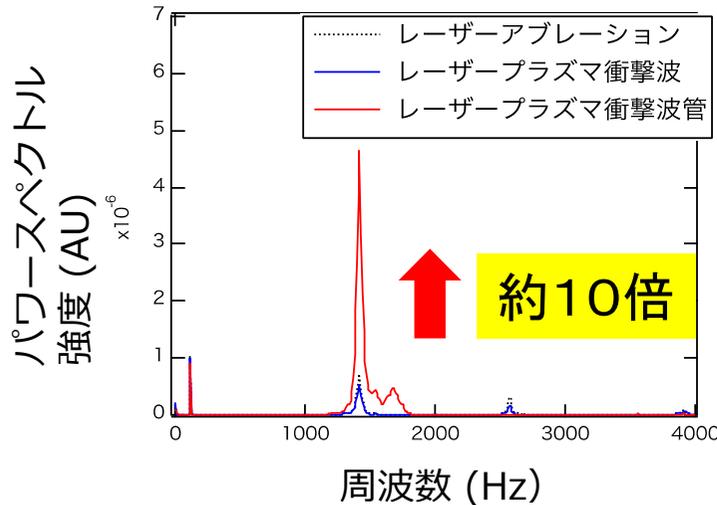
衝撃波管を用いることで
衝撃波圧力が
2倍程度強くなった。

模擬欠陥計測試験

振動時間波形



パワースペクトル



模擬欠陥のあるコンク
リート供試体を計測し、
加振力の増大を確認した

衝撃波管の遮光効果

レーザーアブレーション方式
レーザー誘起プラズマ衝撃波方式

レーザー誘起
プラズマ衝撃波“管”方式

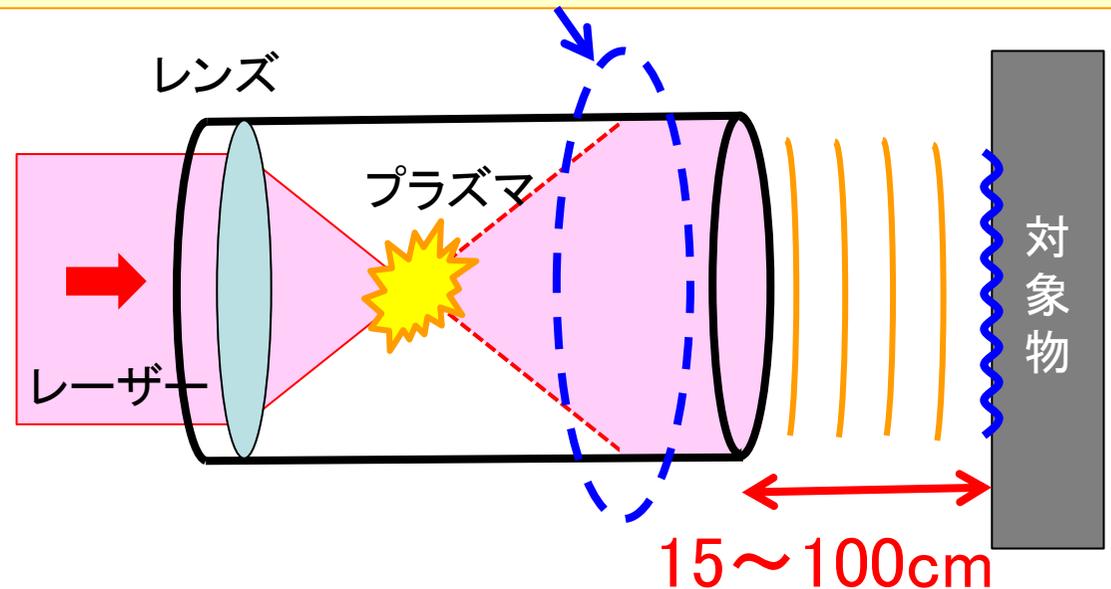
遮光対策

レーザー管理区域指定
+ゴーグル



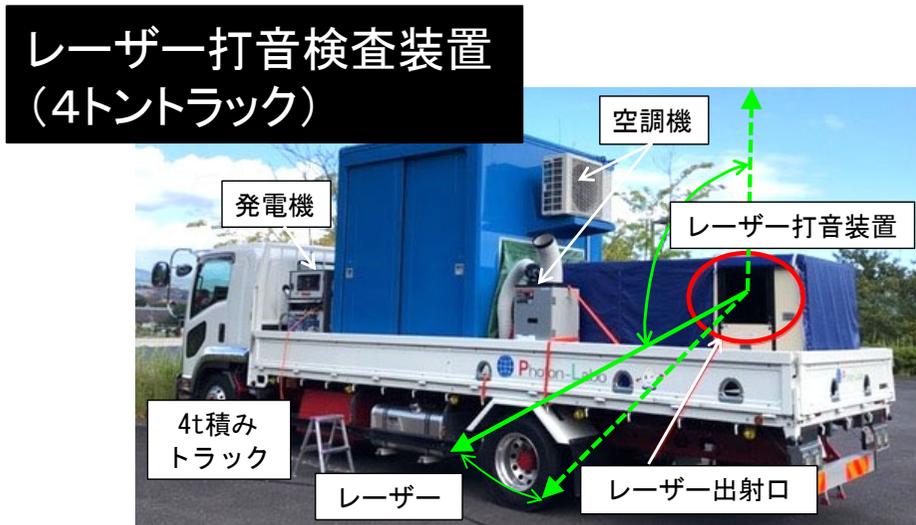
遮光効果

プラズマ生成に寄与しなかった残りのレーザー光や
プラズマ発光が衝撃波管壁によって遮光される。
→対象方向以外の光は筒で吸収可能



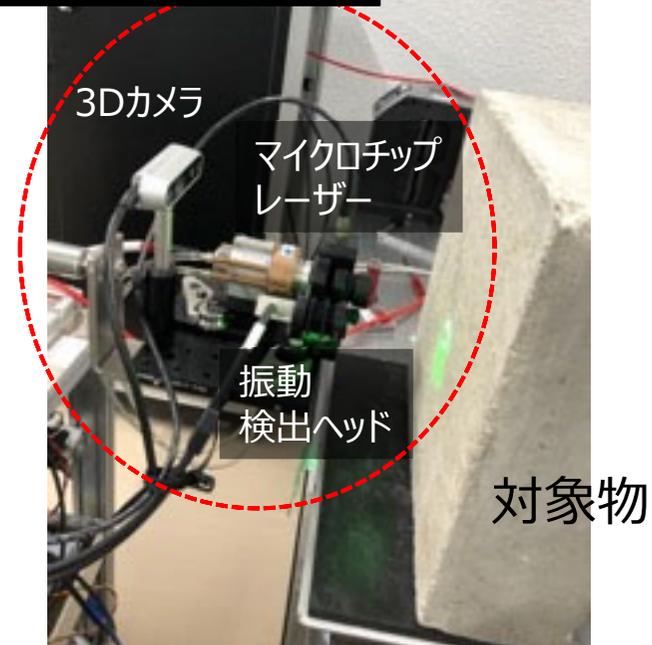
超小型パワーレーザーを用いた小型化

- マイクロチップレーザーを用いた小型計測装置の試験を実施した



令和3年度 JST A-STEPトライアウト
小型・モジュール化レーザーによるレーザー誘起振動波検査システムの開発
(JPMJTM20PX)

試作型計測ヘッド



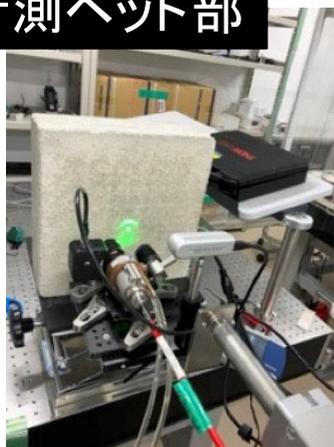
マイクロチップレーザーを用いた装置の小型化
(台車サイズ)



計測装置の小型化

レーザー打音装置の小型化試験

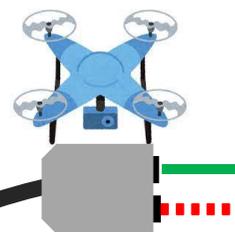
計測ヘッド部



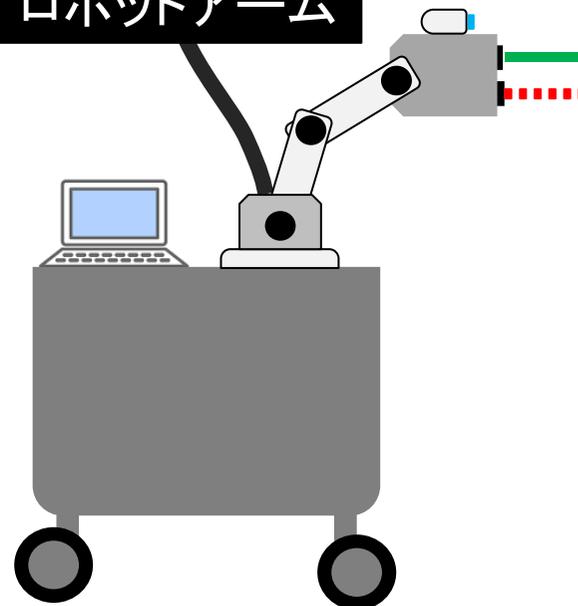
動作ようす



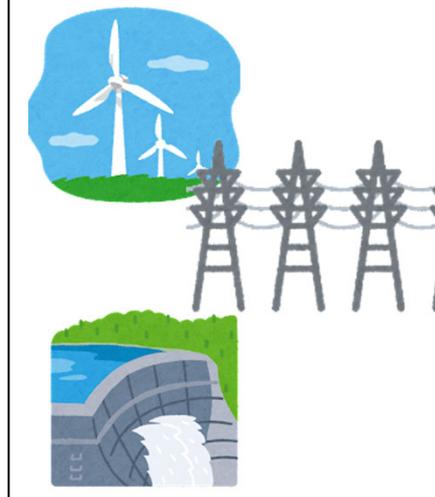
マルチコプター



ロボットアーム



大型構造物



建物外壁



想定される用途

- プラズマ衝撃波管加振＋小型レーザー打音装置
→傷をつけてはいけない非破壊・非接触打音検査
 - 1) 建物表面のタイルや表面塗装のある箇所
 - 2) 錆の発生する恐れのある金属材料
 - 3) 果物の適熟期検査(果肉硬度計)

外壁(タイルや表面)



ホイール
ナット
(金属)



遊具の金具(金属)



缶詰(金属)

果物(生物)

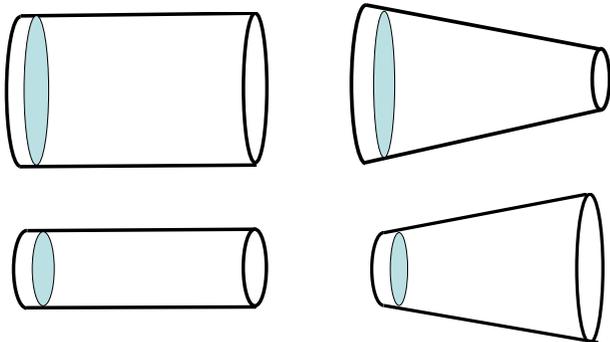


実用化に向けた課題

- 衝撃波管による振動増幅の物理機構
- 衝撃波管の設計の最適化
- 計測対象(金属板や管、タイル等)の適用条件設定
- 装置全体の小型化技術の確立とシステム化

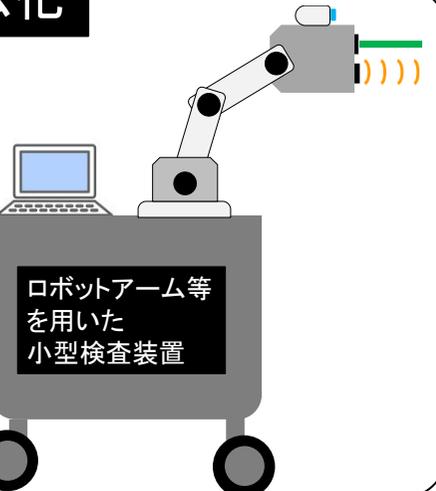
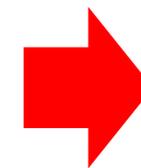
衝撃波管設計と物理機構

大きさ・形



システム化

試作型



企業への期待

- インフラや機械製造等の打音点検のロボット化を検討中の企業において、本計測技術の導入やシステム化の提案。
- 計測対象ごとの具体的な共同研究を活用した研究開発の実施
- 計測機器や装置開発の技術や実績を持つ、企業との小型装置の共同開発の実施。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 加振装置、検査システム、
及び、加振方法
- 出願番号 : 特願2021-163076
- 出願人 : 量子科学技術研究開発機構
- 発明者 : 錦野将元、北村俊幸

お問い合わせ先

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構

イノベーションセンターまでお願いいたします。

TEL 043-206-3146 (共同研究)

TEL 043-206-3027 (ライセンス)

FAX 043-206-4061

e-mail innov-prom1@qst.go.jp (共同研究)

e-mail chizai@qst.go.jp (ライセンス)