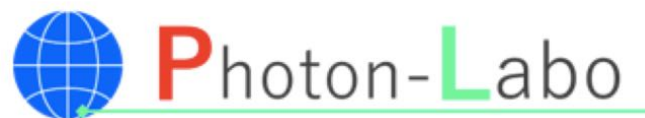


第8回 レーザー学会「ユビキタス・パワーレーザー」専門委員会
第8回 科学技術交流財団「マイクロ固体フォトニクス」研究会
「非破壊検査における小型集積レーザーの可能性」
令和2年（2020年）2月20日（木）



レーザー誘起光音響効果による非破壊検査と 社会実装展開

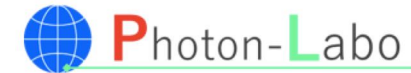
量子科学技術研究開発機構(QST) 錦野 将元
(株) フォトンラボ



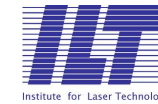
謝辞



日経新聞2017/07/01
<https://www.nikkei.com/article/DGXVZC18374150R00C17A7AM1000/>



計測検査株式会社



謝辞

本研究は、内閣府戦略的イノベーションプログラム（SIP）第1期の中のインフラ維持管理・更新・マネジメント技術（藤野陽三PD）の一部として日本科学技術振興機構（JST）からの委託研究により研究開発を実施しました。

現在、SIP第2期の中のビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術（安西 祐一郎 PD）の一部として新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託研究により量子科学技術研究開発機構、計測検査（株）、理化学研究所らの共同研究チームによって研究を実施しています。

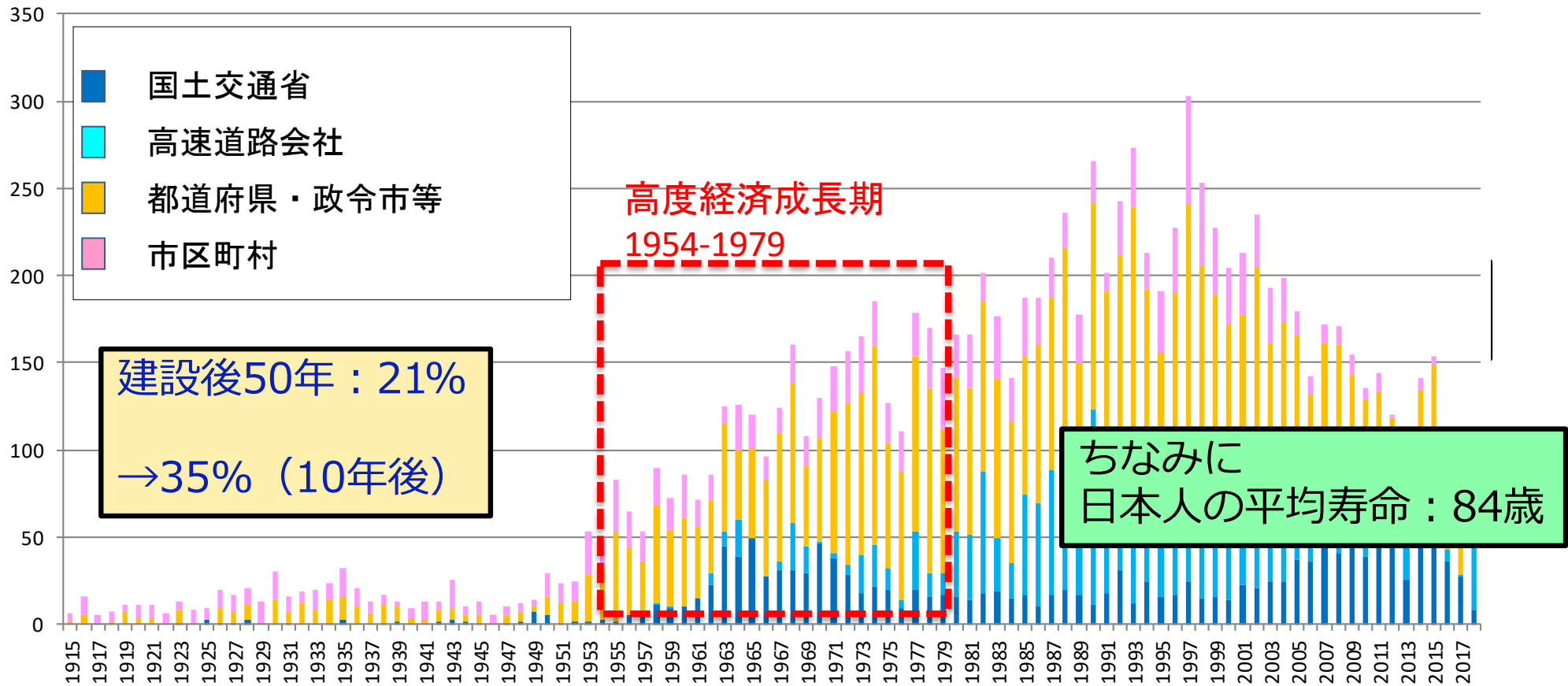
1. 日本のインフラとロボット化

背景：日本のインフラの特徴



- ・急峻な地形 → **トンネル(1.1万本)**、**橋梁(17万本)**が多い。
- ・高度経済成長期(1960年代) から建設増加。
- ・道路トンネルでは**地方自治体管轄**の物が66~%程度。

建設年数別トンネル数



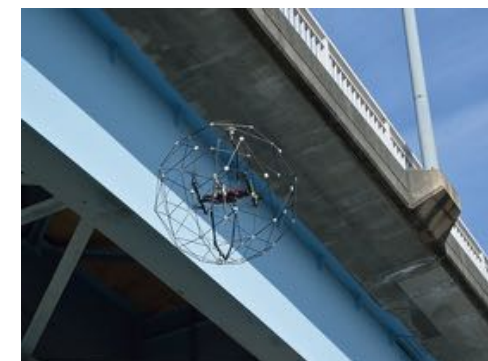
新世代のインフラの検査方法の開発



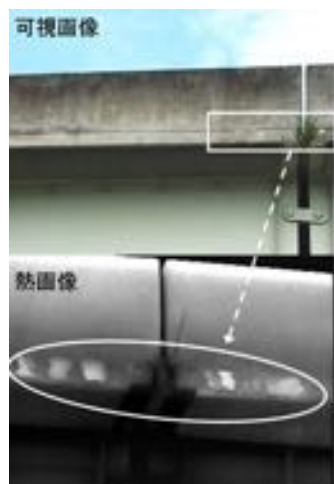
長距離目視による検査



レーザースキャナーによる検査



ロボットによる観察



赤外線による検査

・ 従来方法
(近接目視、触診、打音検査、叩き落とし)

・ 新方式のキーワード
安全化・高速化をめざした、
機械化、自動化、遠隔化

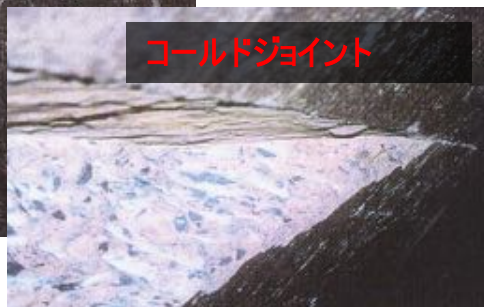


検査のロボット化



ロボットによる打音検査

インフラの老朽化問題



福岡トンネル (H11.6)
JR西日本提供



北九州トンネル (H11.10) JR西日本提供

Mainichi Shimbun



中央道笹子トンネル中央パネル落下事故(H24年12月)
「笹子トンネル天井板崩落事故写真(提供:大月消防本部)」

総合科学技術・イノベーション会議有識者議員（議員は、両議院の同意を経て内閣総理大臣によって任命される。）

【関係行政機関の長】



久間和生議員
(常勤)

元三菱電機
(株)常任顧問

(H27.3.1~H30.2.28)
(初任: H25.3.1)



原山優子議員
(常勤)

元東北大学教授

(H27.3.1~H30.2.28)
(初任: H25.3.1)



上山隆大議員
(常勤)

前政策研究大学院
大学教授・副学長

(H28.3.6~H31.3.5)
(初任: H28.3.6)



内山田竹志議員
(非常勤)

トヨタ自動車(株)
代表取締役会長

(H27.3.1~H30.2.28)
(初任: H25.3.1)



橋本和仁議員
(非常勤)

国立研究開発法
人物質・材料研
究機構理事長

(H27.3.1~H30.2.28)
(初任: H25.3.1)



小谷元子議員
(非常勤)

東北大学教授 兼
原子分子材料科学
高等研究機構長

(H28.3.6~H31.3.5)
(初任: H28.3.6)



十倉雅和議員
(非常勤)

住友化学(株)
代表取締役社長

(H28.3.6~H31.3.5)
(初任: H28.3.6)



大西隆議員
(非常勤)

日本学術会議
会長

(H28.3.6~H31.3.5)
(初任: H28.3.6)



総合科学技術・イノベーション会議

Council for Science, Technology and Innovation

- ① 革新的燃焼技術
- ② 革新的構造材料
- ③ 次世代海洋資源調査技術
- ④ **インフラ維持管理・更新・マネジメント技術**
- ⑤ 需要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保
- ⑥ 革新的設計生産技術
- ⑦ 次世代パワーエレクトロニクス
- ⑧ エネルギーキャリア
- ⑨ 自動走行システム
- ⑩ レジリエントな防災・減災機能の強化
- ⑪ 次世代農林水産創造技術

総合科学技術・イノベーション会議が自らの司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野の枠を超えたマネジメントに主導的な役割を果たすことを通じて、科学技術イノベーションを実現するために新たに創設するプログラムです。



プログラムディレクター
藤野 陽三
横浜国立大学
先端科学高等研究院
上席特別教授

検査員による近接目視（打音検査）の実施



近接目視・触診



奈良県 戸ヶ坂トンネルの点検(2016. 3.4)

打音検査



叩き落とし



道路トンネルでは、笹子トンネルの事故以来、5年に一度の検査が義務づけられている。

従来方式の課題

- ・ 検査に時間が掛かる
- ・ 個人差がある
- ・ 危険な作業



**従来の検査に代わる
新しい手法の開発の必要性**

トンネル検査の高速・高度化に向けた計画

①近接目視・触診



②打音検査



③叩き落とし



レーザー技術の応用により、検査・メンテナンスの遠隔・自動化を推進する



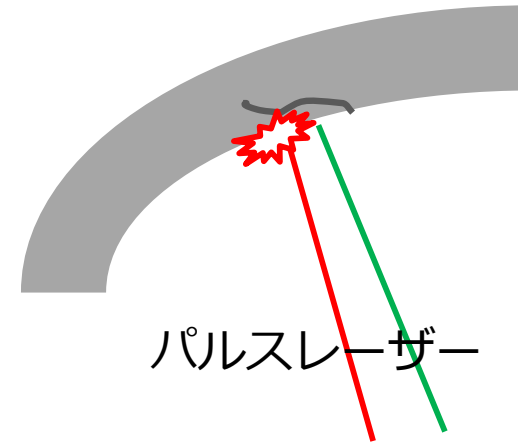
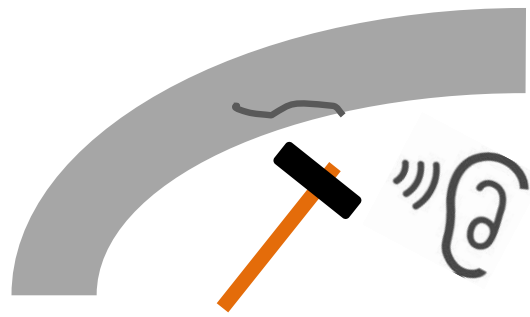
2. レーザー打音法について

レーザー打音技術開発の歴史



配布不可

レーザー打音法による遠隔検査



打音法

- ・ハンマーで打撃
- ・反射音を耳で聞きとる

検査面への近接が必要

レーザー打音法

- ・パルスレーザーで打撃
- ・検査面の振動をレーザーで検出

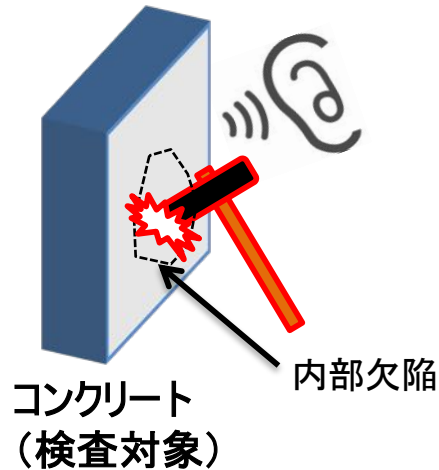
遠隔検査が可能に！

レーザー打音法の原理



NHK サイエンスZERO 2017年7月30日放送

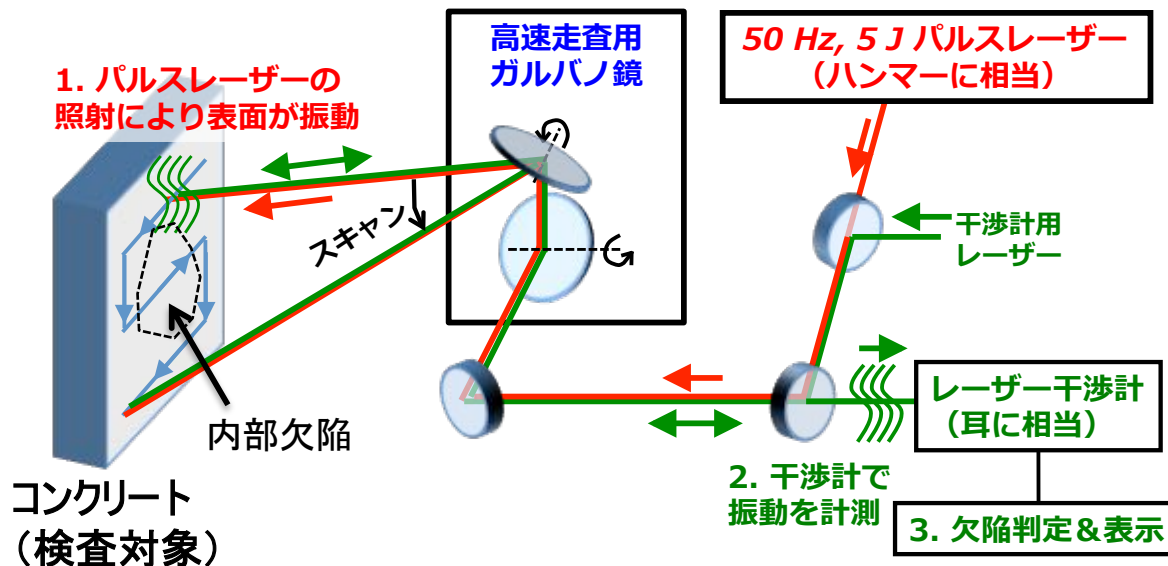
トンネル検査の高速・高度化に向けて 適切な保守・保全技術が望まれている



通常の打音法

- ・ハンマーで打撃
- ・反響音を耳で聞きとる

検査面への近接が必要
検査員による判定のばらつき
記録が残りにくい



レーザー打音法

(打音法と同じ計測原理)

- ・「パルスレーザー」で打撃
- ・検査面の振動を「レーザー干渉計」で検出
- ・検査位置を高速スキャン

遠隔化が可能
機械による一律な判定
デジタルデータ化による保存

3. 屋外用レーザー技術について

レーザーシステム

レーザー核融合用レーザー（建物サイズ）



超短パルス高強度レーザー
（体育館サイズ）

大阪大学
レーザーエネルギー学研究センター
激光XII号



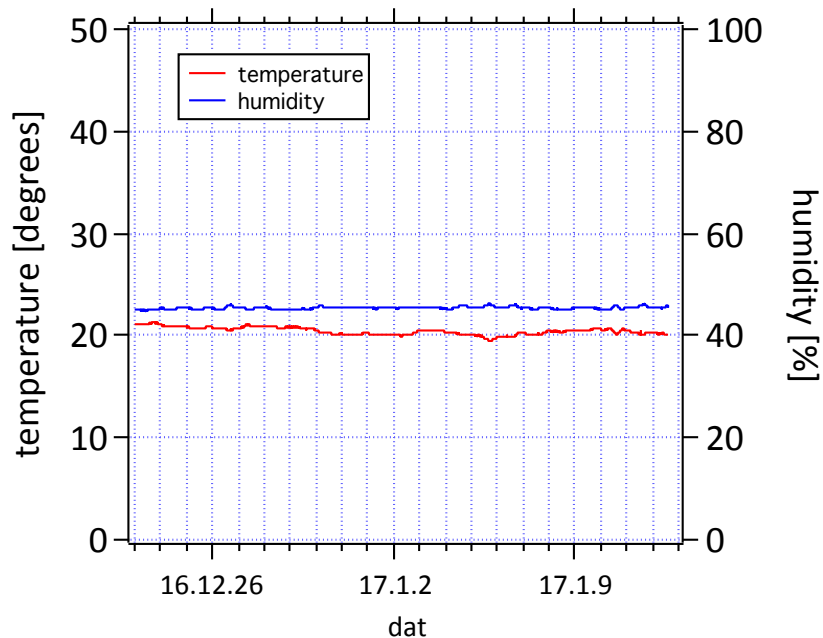
量研機構 関西光科学研究所
J-KAREN-P

レーザーポインター
（ポータブルサイズ）



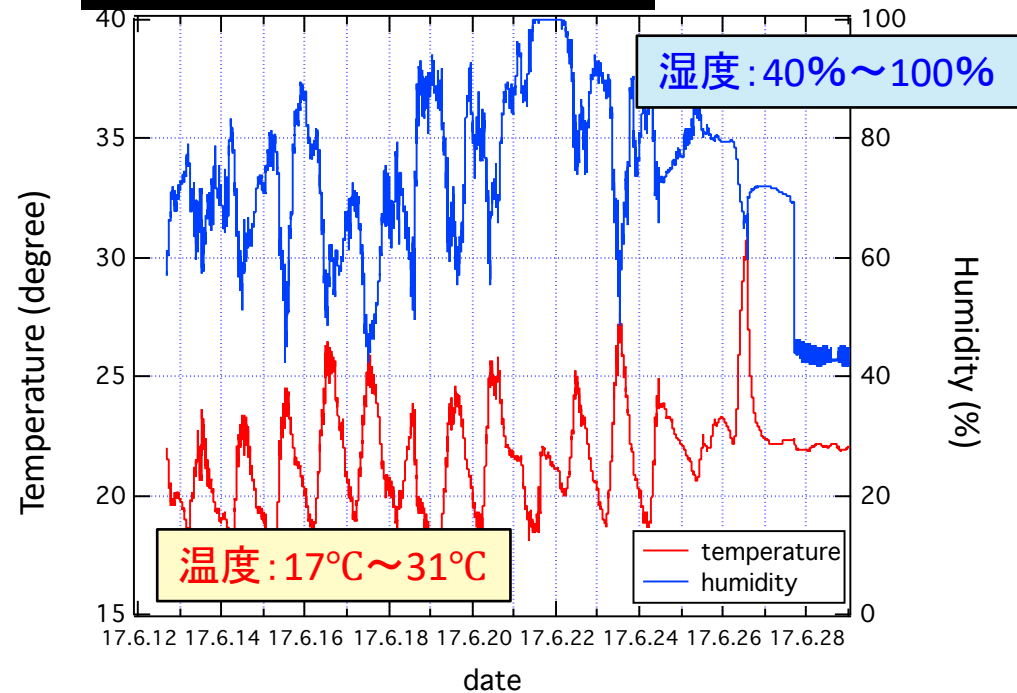
先進レーザーは温室育ち

実験室環境 (クリーンルーム)



温度：23°C一定
湿度：40%一定
ホコリ無し、虫無し

屋外環境 (2017年6月)



温度：17~31°C変動
湿度：40~100%変動
ホコリあり、騒音あり、虫あり

最初の疑問：レーザー装置は屋外の検査で動くの???

レーザー打音用振動励起レーザーに求められる性能



安価で高安定な高平均出力パルスレーザーの開発が求められている

必要性能 (屋内)

コンクリート壁への強力な加振

- ジュール級パルスエネルギーの出力性能
- 数メートル先での良好な集光性能
- マイクロ秒以下のパルス性能

検査速度の高速化

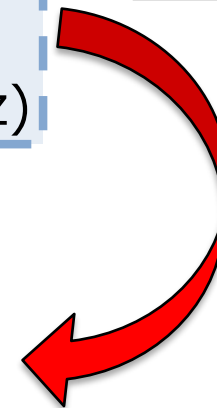
- 音波領域程度までの高繰返し性能 (~ 100 Hz)

必要性能 (屋外)

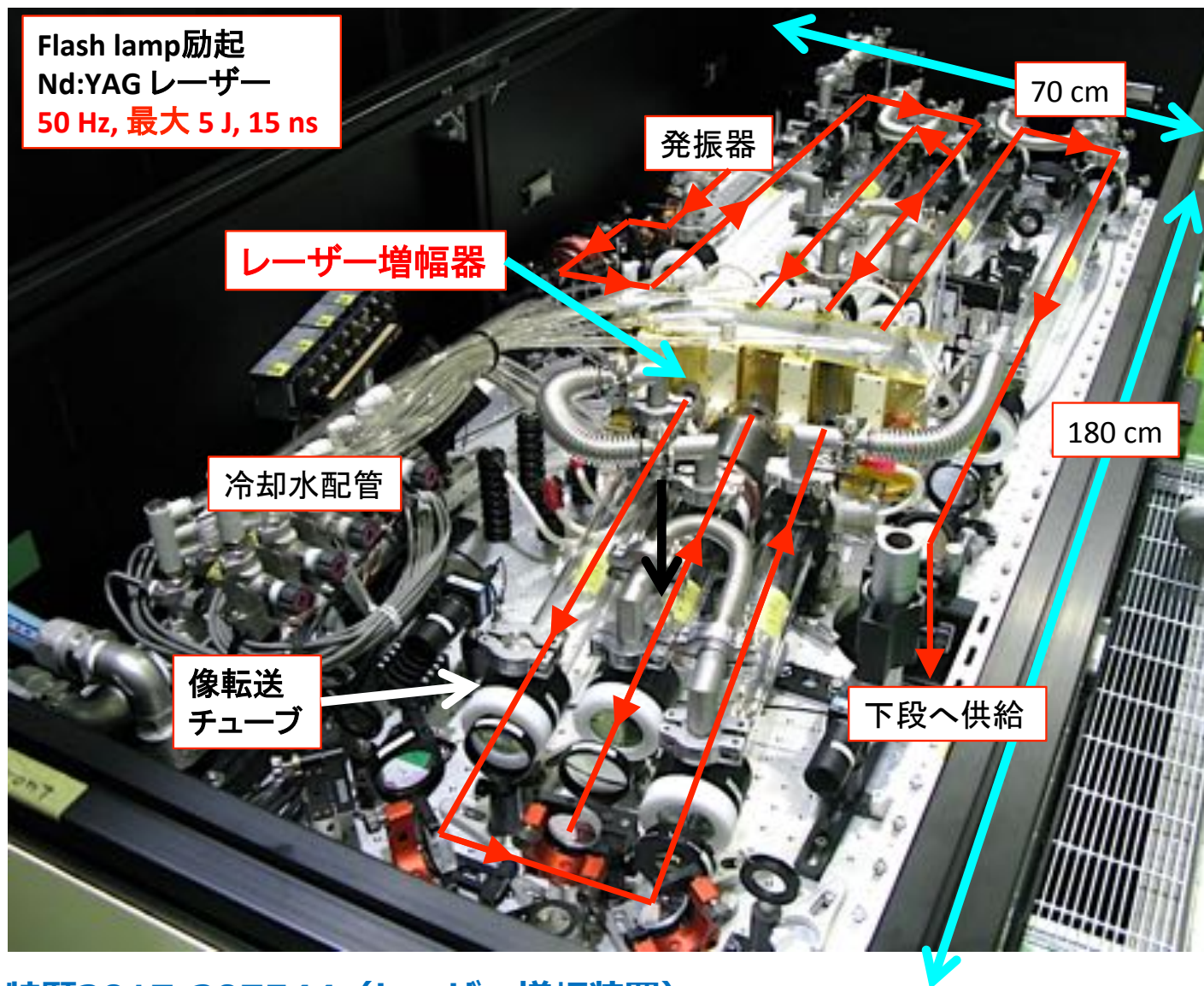
安定した屋外動作

- 軽量小型化による機動性能
- 振動計測を阻害しない防塵防振性能
- 温湿度の変化に対する高安定性能

知見を屋外用装置へ
フィードバック



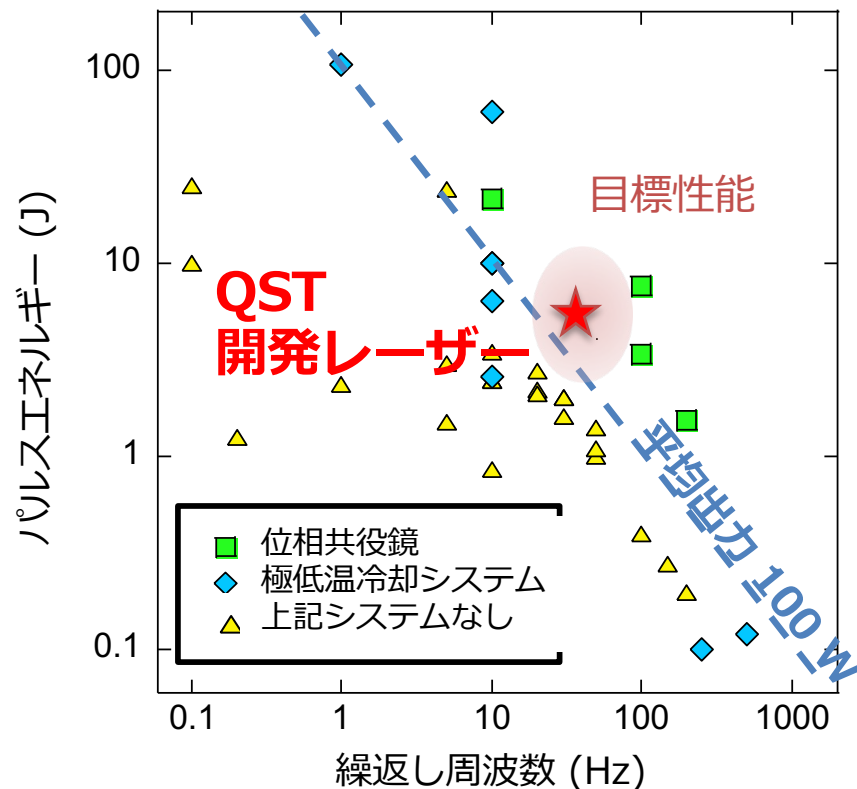
屋外実証試験用振動励起レーザー (5J-50Hz: 0.7 x 1.8 m)



特願2017-207544 (レーザー増幅装置)

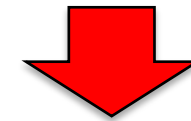
振動励起レーザーの基本コンセプト

パルスエネルギーと繰返し周波数



高平均出力パルスレーザー(100W以上)

- 誘導ブリルアン散乱位相共役鏡 (SBS-PCM)
 - 極低温冷却システム
- による熱補償、熱負荷低減を用いることで達成



振動励起レーザー

高可搬性、単純な構造、小型化による

- 様々な環境条件化での安定動作性能
 - 社会導入のためのコスト性能
- を目指す

プロトタイプ初号機(実験室実証)

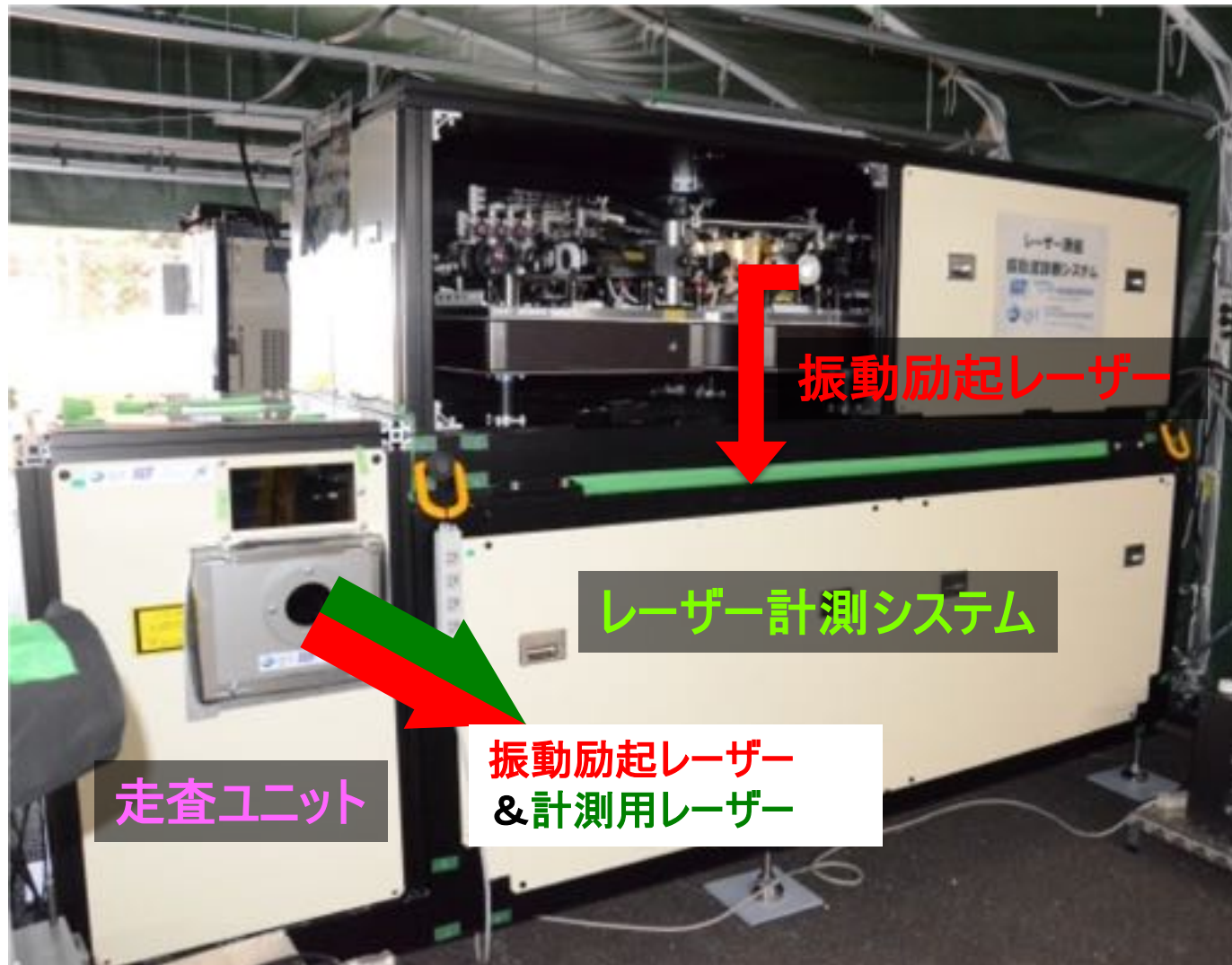
出力 4.1 J, 繰返し周波数 50 Hz, サイズ 4 m × 0.8 m

K. Mikami et al., Flash-lamp-pumped 4 J, 50 Hz Nd:YAG nanosecond laser system for mobile and transportable equipment" Jpn. J. Appl. Phys. **56** (2017) 082701

プロトタイプ式号機(屋外実証)

出力 4.7 J, 繰返し周波数 50 Hz, サイズ 2 m × 0.8 m

屋外用レーザー打音高速検査装置の外観



4. 公道トンネルでの屋外実証試験

レーザー打音検査装置（検査動画）



動画資料

レーザー打音検査装置



レーザー打音検査装置の仕様	
検査対象	覆工コンクリート内部のうき等の欠陥
装置(車両)寸法	6260(全長)x 2220(全幅)x 3400(全高)
検査速度	1秒間に50ヶ所の打音検査が可能 (検査は車両が停止した状態で行う)
電源	ディーゼル発動機搭載車両(2t)が随伴

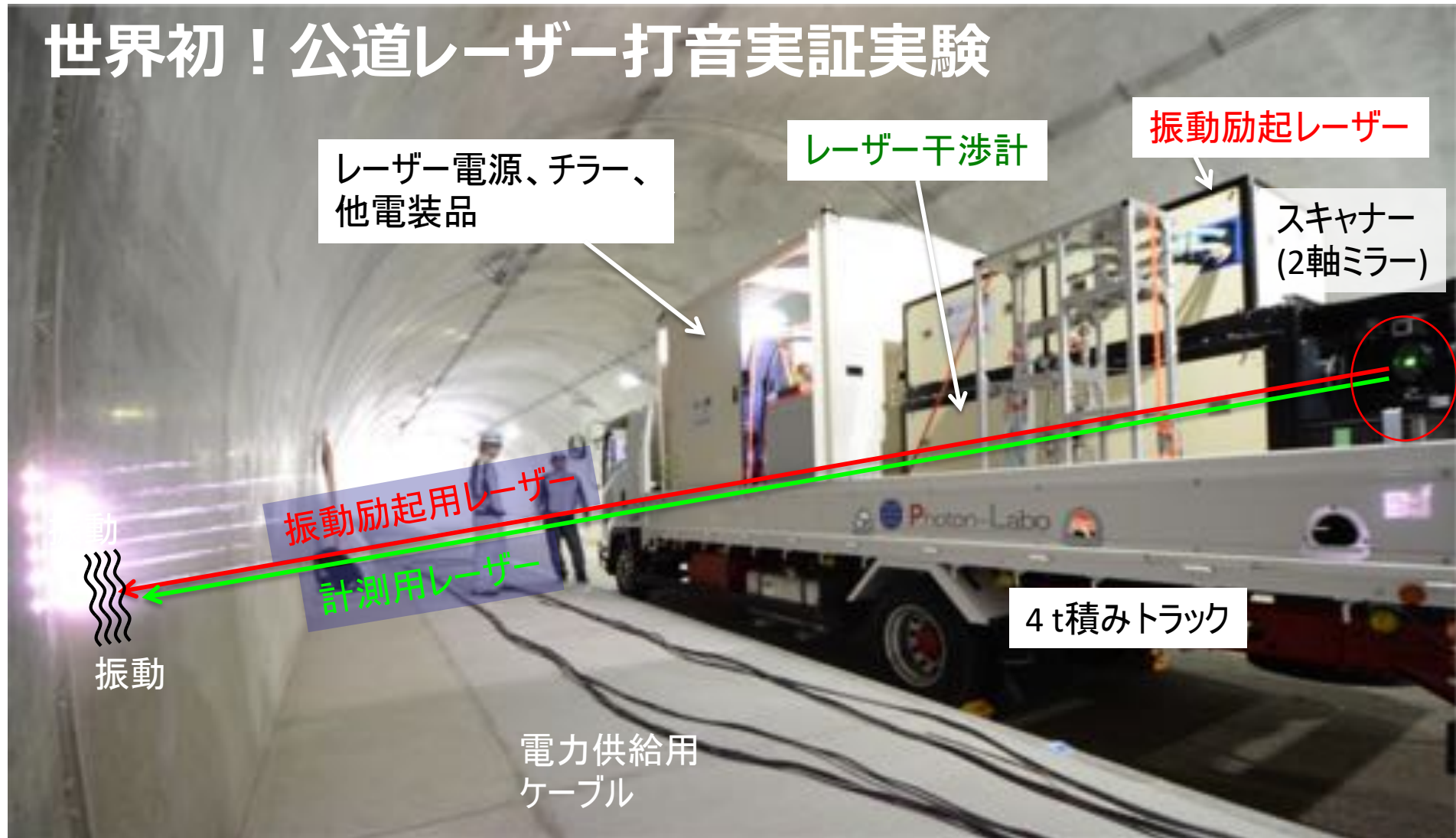
今回の実証実験

1スキャンエリア: 50cm x 50cm
繰り返し: 50回/秒

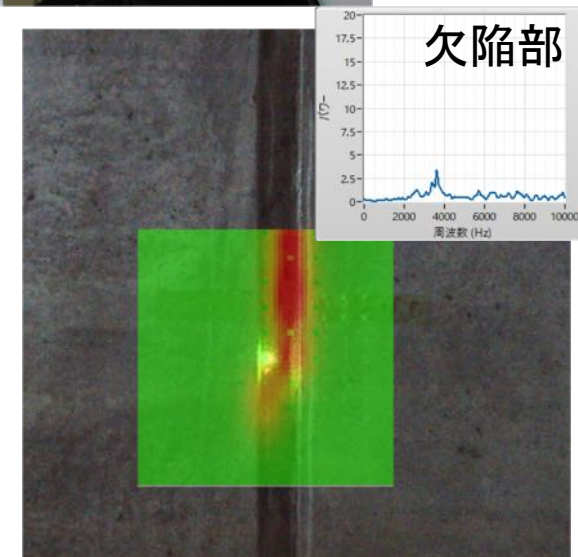
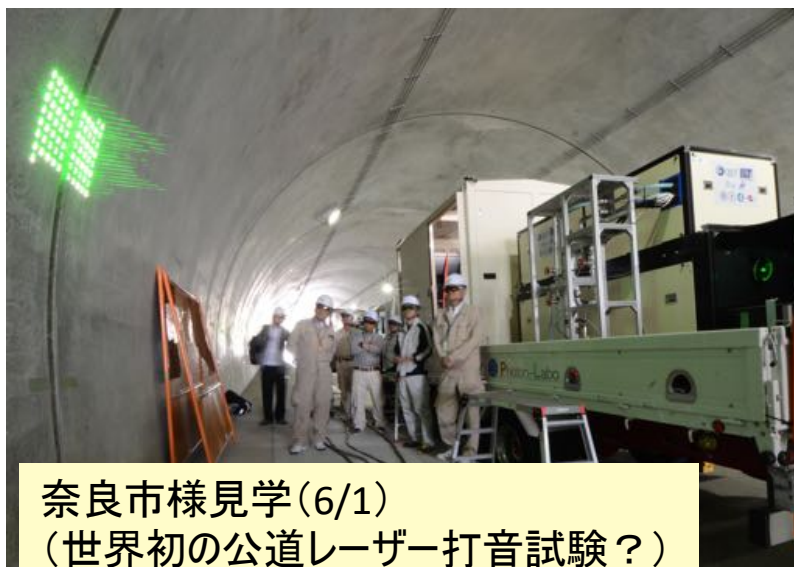
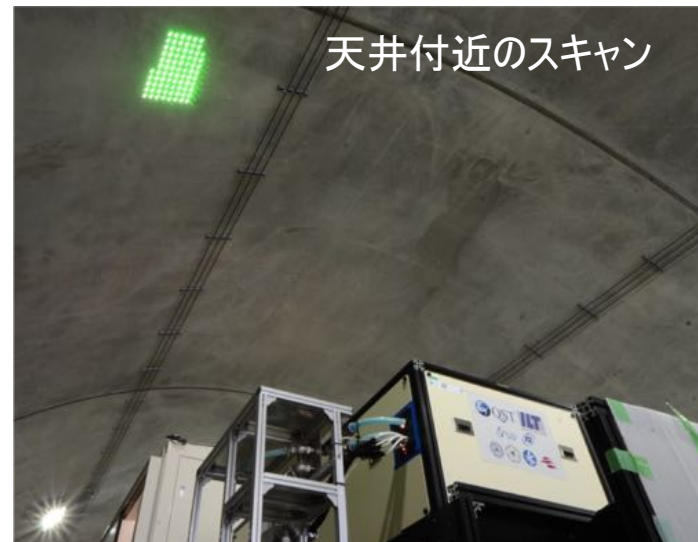
レーザー打音屋外運用実証実験：奈良市 奈良坂トンネル



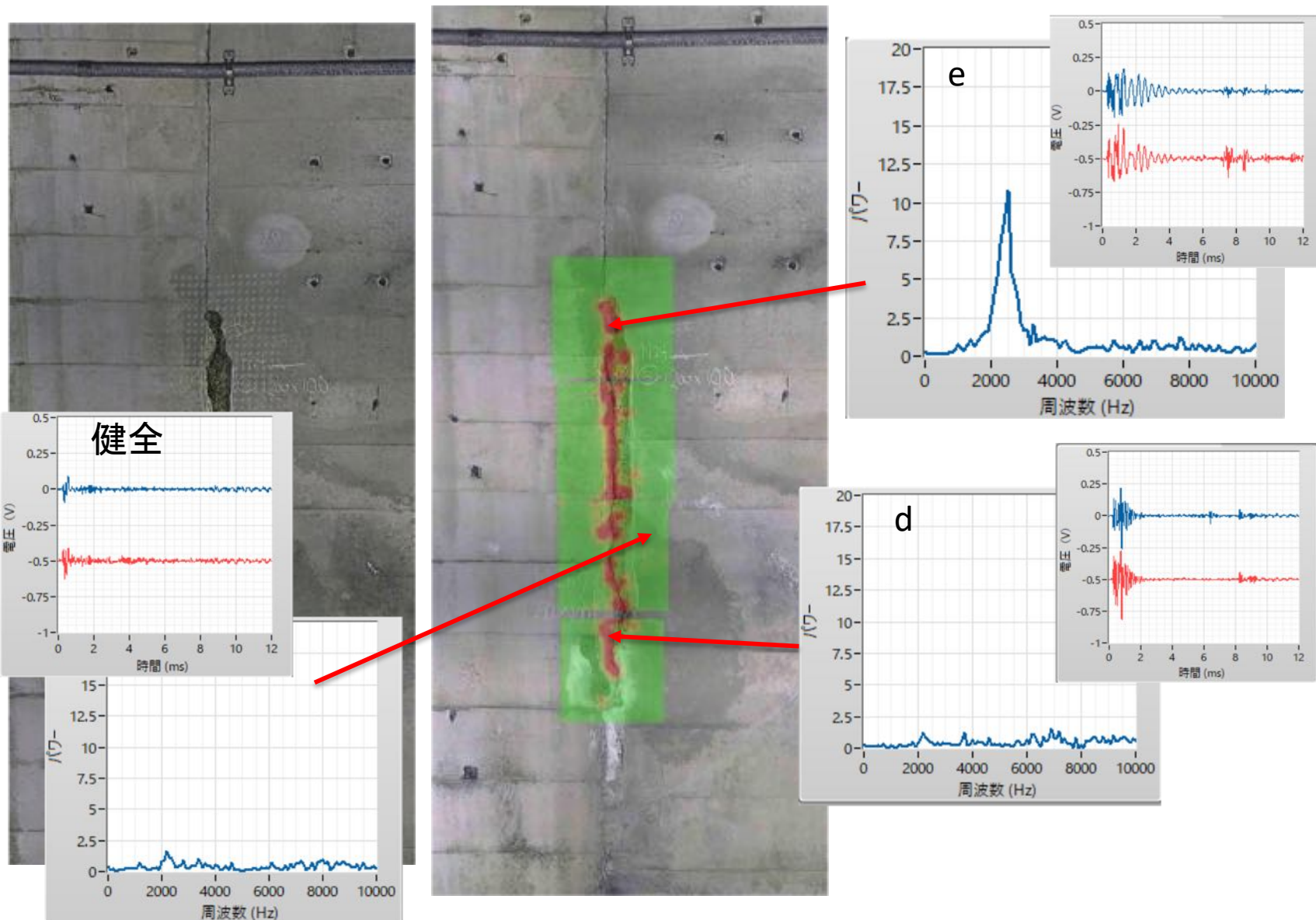
世界初！公道レーザー打音実証実験



レーザー打音屋外運用実証実験：奈良市 奈良坂トンネル



打音計測と既存のハンマーによる検査との相関検証例



配布不可

レーザー打音試験装置の屋外試験

京都府 量研・関西光科学研究所
(2016/6/12-6/23)

科学新聞 (2017.1.1 朝刊)



奈良市 奈良坂トンネル(2018/5/30-6/1)

大阪府 天王第一トンネル(2018/6/14-6/24)

朝日新聞 (2018.6.24 朝刊)



静岡県 施工技術総合研究所
(2017/6/12-6/23)

日経新聞 (2017.7.1 朝刊)



静岡県 尾崎トンネル(2018/12/17-12/18)

NHK静岡ニュース(2018.12.18)



5. 社会実装のための装置小型化

レーザー打音装置の実験室内デモンストレーション



配布不可

レーザー打音装置の小型化の達成

配布不可

レーザーを用いた欠陥検査（打音検査）のニーズ



対象インフラ構造物の例

覆工コンクリート検査



橋脚コンクリート検査



岐阜大学SIP実装プロジェクト
ホームページ

アンカーボルト検査



出典 毎日新聞

道路橋床版検査



車載型高速スキャンレーザーによる床版内部の診断

SIPホームページ
点検・モニタリング・診断技術

計測対象

コンクリート（鉄筋）
モルタル
鉄筋コンクリート
床版（コンクリート 金属）
ボルト固定強度

計測条件

計測対象材料
計測対象サイズ・形状
計測距離
計測精度

レーザー条件

計測方法
レーザー出力
レーザー波長
レーザー繰り返し数

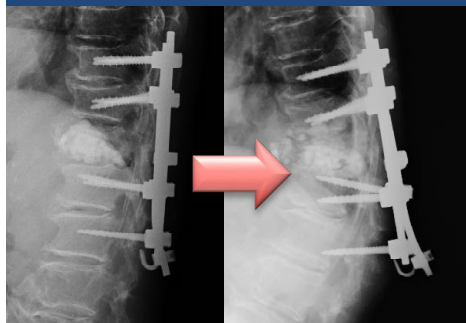
運動器疾患の治療においてインプラント設置・置換術が重要

【年間症例数】 脊椎 約8.7万件 [1] 股関節 約11.1万件 [2] 膝関節 約11.4万件 [3]

[1] 平成27産業技術総合研究所 体内埋込み型材料高生体適応性 脊椎インプラント開発WG報告書

[2] 2018年日本人工関節学会 THAレジストリー統計 [3] 2018年日本人工関節学会 TKA/UKA/PFAレジストリー統計

脊椎スクルー 術後の逸脱症例



整形外科インプラントの課題

用手的にねじ込み・打ち込みにより設置

その設置強度は執刀医の経験、感覚のみにて判断

設置強度不足による緩み発症率 10 ~ 20 % [4,5]

[4] Kwok, A. W. *et al.*, Spine 21, 2429 (1996). [5] Battula, S. *et al.*, Clin. Biomech. 21, 533 (2006).

脊椎スクルー設置術の様子



設置強度の術中評価に向けた必要事項

1. 非侵襲性 患者の身体を傷つけない
2. 高速性 既存の術式に支障をきたさない診断速度
3. 定量性 個人技量に左右されない性能
計測結果を定量データとして記録可能な性能
4. 簡便性 狭い術野で医師が容易に使用できる性能

配布不可

術中使用を目指したパッケージ化とファイバー化



配布不可



取り扱い例

配布不可

小型集積レーザー（TILA）によるレーザー打音試験



配布不可

ポータブルレーザー打音装置の可能性



配布不可

レーザーを用いた欠陥検査（打音検査）のニーズ

屋内・屋外設備機器の点検



出典(株)アイティエンジニアリングHP

ビルの外壁パネル検査



出典 高いところ解決隊HP

レーザーで
より高速で
安全に



出典 (一社) 日本公共施設保守点検研究所HP

公園遊具の検査



出典 川崎陸送(株)HP

車輪タイヤのホイールナット検査

レーザーを用いた欠陥検査（打音検査）の展開

缶詰検査



出典 共和包装 (株)HP

機械製品例



出典 東洋製罐 (株) HP
ケース打検機 CCD-A2

レーザーで
より手軽に
美味しく

農作物検査



出典 タキイ種苗 (株) HP



機械製品例

出典 エヌシー (株) HP
打音周波数測定ソフト

まとめ

高出力レーザー開発技術
レーザーによる遠隔・高速・安定な計測技術



社会的有用性とその効果

国土強靱化へ向けての効率的なインフラ管理技術の実現



レーザーによる遠隔・高速・安定な計測技術の実績を積み、
信頼を得た上で、、

小型集積レーザー（TILA）による社会実装展開は、
レーザー打音計測をゲームチェンジする可能性を持っている

ご静聴ありがとうございました。