

令和 2 年度 学内研究助成金 研究報告書

研究種目	<input checked="" type="checkbox"/> 奨励研究助成金	<input type="checkbox"/> 研究成果刊行助成金
	<input type="checkbox"/> 21 世紀研究開発奨励金 (共同研究助成金)	<input type="checkbox"/> 21 世紀教育開発奨励金 (教育推進研究助成金)
研究課題名	異種材料接触条件下におけるレーザー誘起振動伝達モデルの追求	
研究者所属・氏名	研究代表者： 生物理工学部 医用工学科 講師 三上 勝大 共同研究者：	

1. 研究目的・内容

本研究では、ナノ秒スケールのパルス幅（加振時間）を持つレーザー照射により生じる広帯域の振動を用いたレーザー計測技術について、異種接合材料試料を用いた評価により加振機構の特徴の解明し、その特徴を活かした掃引照射方式を導入することにより当該レーザー技術の高度化を推進する。

2. 研究経過及び成果

本研究では大別して、1. 異種接合材料（黒色インク塗布）試料によるレーザー加振の特徴解明、2. レーザー加振の特徴を活かした掃引照射技術の導入、の 2 つの項目を実施した。

1. 異種接合材料試料によるレーザー加振の特徴解明

本項目では、合板のようなある程度の厚みを有する材料ではなく、表面に塗布された薄い異種接合材料がレーザー加振に与える影響を評価する。評価試料として、ホウ珪酸クラウンガラス上に、スピンのコーターを用いて水性黒色顔料を塗布した試料を準備した。図 1 に評価実験系を示す。加振レーザーには、波長 1064 nm、パルス幅 10 ns、繰返し周波数 10 Hz の Nd:YAG レーザーを用いた。加振レーザーを焦点距離 50 mm の集光レンズで集光照射し振動を誘起し、評価試料裏面に取り付けた加速度センサーを用いることで振動計測を行った。得られた振動データは、PC により高速フーリエ変換（以下、FFT）解析を行い、振動スペクトル波形を得た。

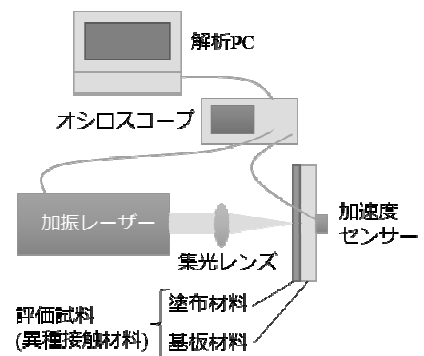


図 1 実験配置図

レーザーのパルスエネルギー 25 mJ で得られた振動スペクトルについて、塗装の有無を各 3 回測定した結果を図 2 に示す。評価の結果、振動ピークについては塗装の有無に依らず出現し、その振動強度（ピーク強度）は塗装が施されることにより増強され、特に 15500 Hz 付近の高周波数帯の振動強度が顕著に強調されることが明らかとなった。以上のことから、薄い塗装膜における異種接合材料の振動は、基板材料の基本モードの振動特性を増強しつつ、それ以上に高次モードの振動を増強することを明らかにした。

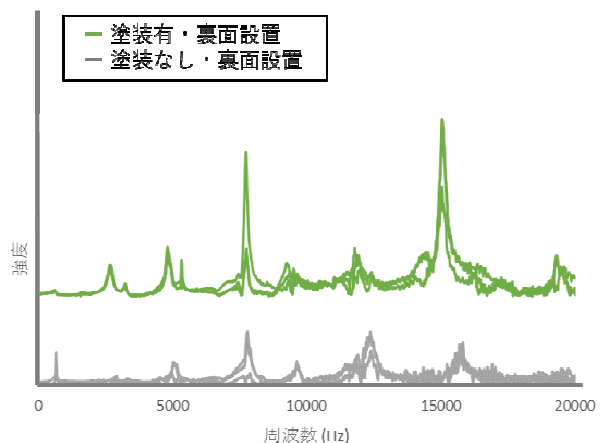


図 2 塗装膜による振動スペクトルの変化

2. 掃引可新技術の導入

1. で得られた結果より、高効率かつレーザー照射エネルギーの低減を目指して、新たに掃引加振方式を導入した。図3に本方式の概念を示す。図3における横軸は周波数比を示しており、例えば1の時、その被照射対象物の共振周波数と同じ周波数でレーザーパルス照射した場合を示す。一方、縦軸は、低周波数比のときの振動を1とし、共振周波数と同じレーザー照射周波数で加振した場合の振動増強率を示す。本方式は、レーザー照射周波数を掃引（調整）し、振動が強くなる周波数を割り出すことで、その共鳴周波数、すなわち図2におけるピークを示す周波数を求める手法である。

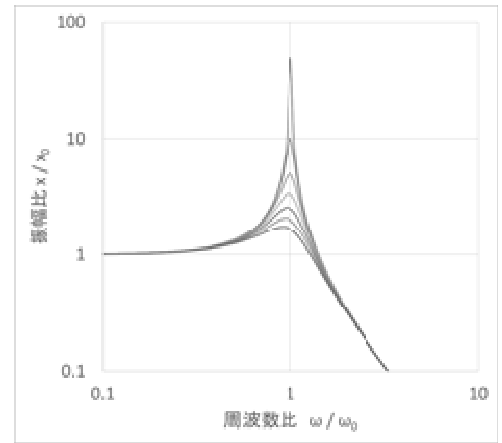


図3 共振周波数加振による振動増強比

本方式の実証において、Nd ファイバーレーザー（波長 1060 nm、パルス幅 270 ns、繰返し周波数 1~1000 kHz 可変）を用いて掃引照射を行った。アルミブラケット試料に 9.5~11.5 kHz のレーザー照射周波数を 20 Hz きざみで各周波数 20 ms ずつ照射した結果、およびインパルスハンマーを用いて評価した結果を図4に示す。本技術を用いることで、インパルスハンマーと同等の加振結果を得られることがわかった。

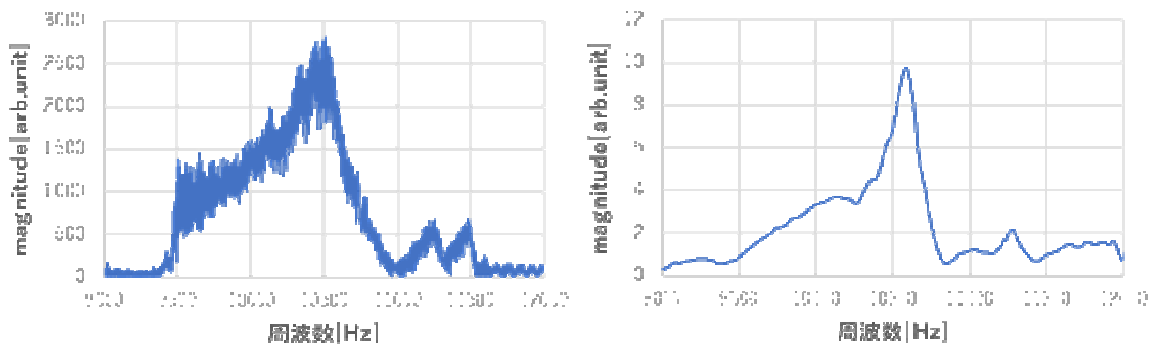


図4 振動スペクトル (左) 掃引照射方式 (右) インパルスハンマー加振

掃引方式の優位性は、加振に必要なレーザーパルスエネルギーが従来以上に少なくなることである。図5に本評価によって得られた、共鳴周波数の振動強度（振動スペクトル強度）の照射レーザーエネルギーの依存性を示す。本研究成果により、従来のレーザー加振では、プラズマ発光に伴う電磁波ノイズおよび音響ノイズが発生し、ノイズレベルの増大が生じていたが、掃引照射方式の低エネルギーによりノイズレベルを4桁以上、極めて低いレベルへ低減することを実現した。同時にレーザー照射エネルギーについては、約2桁低いレーザーパルスエネルギーでの計測の可能性を明らかにし、本技術の実用化に向けて大きく前進するに至った。レーザーの低エネルギー化は、そのまま装置コストにも反映する。また、レーザー保護メガネといった保護具が不要となるアイセーフな出力でも実現可能性も考えられ、利便性を格段に向上することができる。

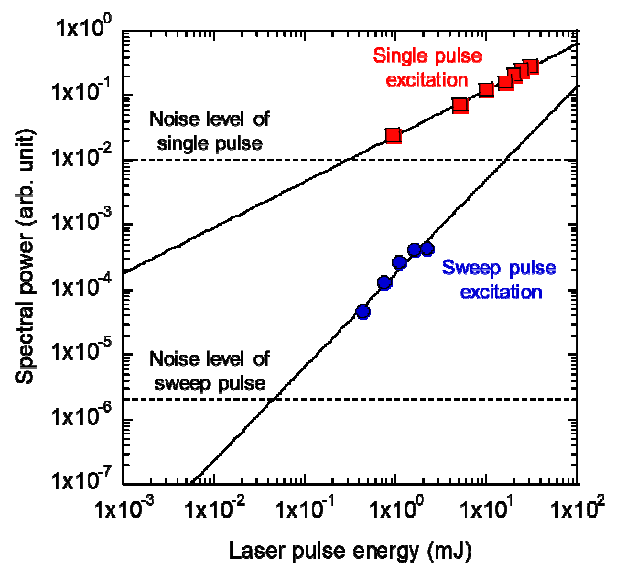


図5 掃引加振による振動強度レーザー照射エネルギー依存性

3. 本研究と関連した今後の研究計画

本レーザー加振技術の導出先は、整形外科領域で用いられる椎弓根スクリューや人工股関節カップと言ったインプラントの初期設置強度診断技術である。打音検査の概念と同様にインプラントをレーザー光で加振し、その振動を評価することが原理となる。即ち、設置強度が弱いものは、強いものに比べて、加振時の振動は大きくかつ振動周波数は低くなるという着想である。これはインプラントの骨への設置強度を、従来不可能であった定量評価を実施することで骨融合不全と呼ばれる術後早期の緩みや逸脱、破綻の症例を抑制するものである。この診断手法は、既に従来の強力な高エネルギーレーザーパルスを用いた方式にて、日本医療研究開発機構（AMED）の先端計測分析技術・機器開発プログラムに採択され研究開発を実施している内容である。今後、この技術を、当該医療技術の研究プロジェクトに適応させることで高い相乗効果を狙うとともに、臨床現場への早期導出を目指す

4. 成果の発表等

発表機関名	種類(著書・雑誌・口頭)	発表年月日(予定を含む)
Jornal of Nondestructive Evaluation	査読付き英文学術誌	2021年1月5日
第81回応用物理学会秋季学術講演会	国内学会口頭発表	2020年9月10日
第68回応用物理学会春季学術講演会	国内学会口頭発表	2021年3月16日