

# 超音波 *Ultrasonic Technology*

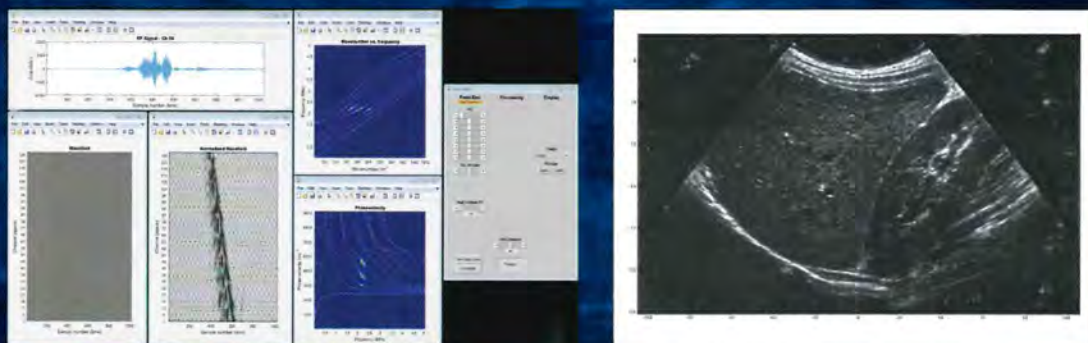
## TECHNO

2017  
7  
8  
VOL.29  
No.4

特集: ●進化する超音波治療技術の最前線①  
●光と超音波を使用した検査・計測 ●超音波と可視化～目で見える超音波～②

革新的 研究開発用超音波プラットフォーム

# Vantage®



HIFUplex™



Vantage 256™

**Verasonics**  
The leader in Research Ultrasound™

**TII** 株式会社 東京インスツルメンツ  
**TOKYO INSTRUMENTS, INC.**  
Mutual Satisfaction

## 特集 超音波と可視化～目で見える超音波～②

UI703-10

### レーザー超音波可視化検査装置の開発

＝超音波を可視化して検査＝

つくばテクノロジー(株) 齊藤 典生・高坪 純治・王 波・劉 小軍・鈴木 修一

#### 1. はじめに

当社で製品化したレーザー超音波可視化検査装置(略称LUVI: Laser Ultrasonic Visualizing Inspector)は、レーザーを利用して検査体表面を伝わる超音波の伝搬映像を可視化し、欠陥からの波紋状のエコーを観察することで欠陥部を検査する装置である。その主な利点は、超音波の伝搬状態を可視化映像で観察できるので、検査を専門としない人にも分かりやすいことである。また、レーザーを走査するだけで複雑形状物の検査が容易に行えることや大きな面の検査も迅速に行うことができることである。

この検査技術<sup>(1)~(5)</sup>は世界初の技術であり、まだ世の中に広く知られていないが、最近になって急速に話題になるようになり、産業インフラのみならず、社会インフラの老朽化検査まで適用されるようになってきた。このような世界初の技術を現場へ応用するには、技術的な性能だけでなく、使い易さや現場環境への適用性を考慮することも重要である。本稿では、それらも含め超音波を可視化できるLUVIに

ついて紹介する。

#### 2. 可視化方法

レーザー超音波可視化検査装置(LUVI)と可視化画像例(2つの矢印部に模擬欠陥有り)を第1図に、またLUVIの構成図を第2図に示す。

パルスレーザー(数ns程度)を検査体表面に照射すると、時間的に急峻な熱ひずみの発生が起こり、これにより、非常に微弱であるが超音波が励起される。パソコンでレーザーとミラーおよび高速A/D変換器を同期制御し、レーザービームを検査体表面上で格子状に高速走査させ、任意点に取り付けた圧電受信センサ(CH数最大8個)、または非接触で受信可能なレーザープローブを用いて超音波伝搬信号を検出し、超低雑音増幅器、高速A/D変換器を通して、パソコンのハードディスクに記録する。ここで重要なことは、記録した超音波伝搬信号は、レーザー照射点から受信センサに向かう複数の波であるが、超音波伝搬の相反性を利用して再構成すること



第1図 レーザー超音波可視化検査装置と可視化画像例(2つの矢印部に模擬欠陥有り)





第2図 レーザ超音波可視化検査装置 (LUVI) の構成図

により、受信センサ部から発振される超音波の伝搬映像として計測できる。この独自の可視化技術は、照射側のレーザーを走査しているため、レーザーの照射角度や焦点距離を一定に保持する必要がなく、三次元任意形状物体を伝わる超音波の伝搬映像を短時間で計測できる利点がある。

非常に高感度な信号系を組んでいるので、最大出力1 mJ以下の小出力レーザーでもS/Nの良い超音波

が受信でき、CFRP (炭素繊維強化プラスチック) のように熱に弱い試験体でも表面を傷つけることなく超音波伝搬映像を計測できる画期的な装置である。

### 3. レーザー超音波可視化検査装置

レーザー超音波可視化検査装置 (LUVI) には、第3図のように受信センサを接触させる「接触式計測」と、レーザープローブを用いる「非接触式計測」(第4図)とがある。

以下にLUVIの特長を示す。

- ① 動画映像なので検査を専門としない人にも分かりやすい。
- ② 非接触走査なので複雑形状物体 (曲面、凹凸) でも検査が容易。
- ③ ミラーによる高速走査なので広い範囲を迅速検査可能。
- ④ 遠隔検査が可能なので、危険箇所 (放射能、高温、高所) の検査に有効。
- ⑤ ウェブカメラ画像を動画映像にスーパーインポーズして表示可能。
- ⑥ 計測画像に表示された異常箇所はその表面にガイド光で指示し、リアルタイムに欠陥位置を確認可能。



第3図 接触式計測LUVI



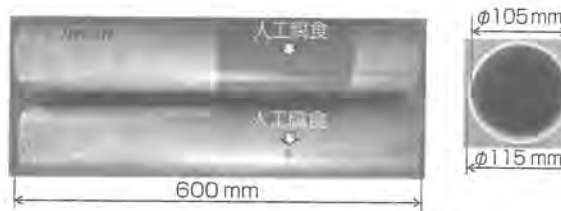
第4図 非接触式計測LUVI

### 4. 検査事例

#### 4-1 配管の表面傷の可視化

第5図に示した人工腐食を模して凹みを施した配管で①塗膜がある配管と②塗膜がない配管に第6図のように前面から配管全体にレーザーを照射し、斜角探触子 (70°、1 MHz) を取り付けて超音波の伝搬映像を第1表の条件で可視化した例を説明する。

第7図を観察すると、配管の塗膜があってもなくても人工腐食部から同心円状に傷エコーが広がっていく様子が観察されている。ただし、下の塗膜無し



第5図 配管 (上: 塗膜有り&下: 塗膜無し)



第6図 レーザー照射の様子

第1表 可視化の条件

項目	数値
レーザー出力	420 μJ
照射距離	507 mm
走査点数	424×174
走査速度	75秒
走査周波数	1000 Hz
受信探触子	1 MHz (斜角70°)
周波数フィルタ	500 kHz (ハイパスフィルター)



第7図 超音波伝搬の塗膜有り無しの可視化

の方が伝搬映像にノイズが少なく超音波のエコーが鮮明に観察できるのに対して、上の塗膜ありの方は塗膜無しより超音波のエコーにノイズが付加され、鮮明さを欠いている。しかしながら、明らかに、塗膜があっても人工腐食部の欠陥を可視化して、専門家でも容易に配管の傷エコーの位置を把握できる。このようにLUVIは、対象物を高速にレーザー走査し、そのどこに欠陥があるかを可視化して観察することができるので、スクリーニング検査に適した装置と言える。

#### 4-2 鋼橋の亀裂エコーの可視化

前項では産業インフラの非破壊検査としての可視化応用を述べたが、現在から将来に向けて国家レベルで喫緊の課題となっているのが、社会インフラの老朽化検査である。

ここでは、鋼橋に発生する溶接部の亀裂エコーを、LUVIを利用して遠隔から効率的に可視化した例について説明する。

実際の鋼橋検査の様子を第8図に示す。この図のように検査装置は点検作業車に積んで主桁上フランジの補強材溶接部の近くからレーザーヘッドによりレーザーを走査し、超音波センサを取り付け、検出した信号より溶接部の亀裂エコーを可視化した。

この時に使用した装置を第9図に、その装置の基本性能を第2表に示す。

次に、第10図上の観察部位の枠部分をレーザー走査時間: 20秒 走査点数: 260×155でレーザー走査して観測された亀裂エコーを第10図下に示す。

超音波エコーは亀裂からだけではなく、溶接界面や形状コーナー部および新旧塗装界面などからも (擬似エコーが) 発生するが、亀裂に対応した場所から亀裂エコーが発生しているのを観察できる。





第8図 鋼橋検査の様子

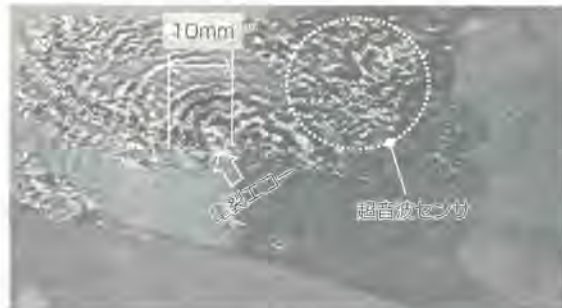


第9図 レーザー超音波可視化検査装置 LUVI-CP2

第2表 LUVI-CP2の基本性能

項目	数値
レーザー最大出力	650 μJ
最大走査速度	5000 Hz
走査視野角	55°
走査分解能	55/65536
波長	1064 nm (YAG)
パルス幅	7 ns
検査体までの距離	0.1~4 m
A/D縦軸分解能	12ビット (4096分割)

また、この図より超音波センサ部（マグネットホルダ）も超音波の振幅が高くなるが、亀裂エコーの振幅が大きい所はより振幅が高く表示される。ちなみに伝搬映像は前進波を消去して可視化した。結局、亀裂エコーは超音波進行方向と逆方向に発生する。ここで重要なのは鋼橋の検査面を先程の説明より



第10図 鋼橋の亀裂エコーの可視化  
(レーザー走査時間：20秒 走査点数：260×155)

塗膜上からレーザー走査しても超音波が伝わる様子を伝搬映像として測定できることである。このように亀裂があれば測定映像の中に波紋状のエコーが観察されるので、塗膜の上から亀裂の位置と規模を判別できる。

さらに、レーザーによる非接触走査なので、溶接部コーナーのような狭あい部や複雑形状部また広い面積でも遠隔から迅速にエコーを可視化して観察できる。これは今までの装置にない利点である。

#### 4-3 その他の特長

LUVIは以下のような特長も有している。

##### (1) 平均化計測、連続計測

S/Nの悪い測定環境では、同一の走査点を指定回数だけレーザー照射を繰り返して平均化測定することもできる。ただし、測定時間は平均化回数倍となる。また、例えば温度変化による伝搬映像の経時変化を観察したい場合などには、指定した時間間隔で繰り返し可視化映像を連続測定することができる。

##### (2) 異常箇所ガイド光表示

PCモニターに表示された測定映像の異常箇所にカーソルを当てて、実検査体表面上の対応箇所をガ

イド光表示することができるので、異常箇所の特定が容易である。

##### (3) 簡易報告書自動作成

検査現場での検査員の負担を軽減するため簡易検査報告書作成機能を付与している。報告書はエクセル表2ページで構成され、1ページ目に測定条件、2ページ目に測定画像と試験体写真が記載される。報告書作成に要する時間は2~3秒と高速である。

##### (4) 計測データの検索・閲覧・リロード

1回の測定データは1つのフォルダに保存される。測定データがたまっていくと、どのフォルダにどのデータが入っているかが分かりにくくなる。そこで、各測定フォルダに保存された試験体写真画像や伝搬映像、計測条件などをモニター画面にリスト表示して閲覧できるようにしている。検索したデータから測定条件をリロードして同一のレーザー走査条件、超音波測定条件で可視化試験を行うことも可能である。

## 5. おわりに

非破壊検査は日に日にニーズが高まっており、各分野への応用が積極的に進められている。実際、産業インフラ、社会インフラで何の事故も損壊も起こらなければそれがベストであるが、現状いろいろな事故や損壊のニュースを耳にすることが多くなっている。

非破壊検査そのものは他の分野に比べ、その効果が表に現れることが少ないが、人々の安全安心を確保する為、非常に重要な役割を演じている。

実際、最近では特に非破壊検査によって事故の発生を未然に防ぐことの重要度が増し、検査すべき対象や分野も年々増加している。しかし、現在のところ、検査したいところを検査しているのではなく、検査できるところを検査しているのが検査の現状と言わざるを得ない。

我々のように検査装置の研究開発に携わる者の使命は、検査できるところを広げ、専門家でなくても検査できるような装置を開発・普及させることであろう。そういう意味で、我々の装置は、複雑形状部や狭あい部、高温部等の難検査部位を可視化して欠陥を検出できるという点において他に類がなく、微力ながらお役に立てるのではないかと考えている。

つくばから世界へを目標に、検査したいところを検査できる装置の開発・普及のため研鑽を続けていく所存である。

#### <参考文献>

- (1) 高坪純治：励起用パルスレーザー走査法による三次元物体表面を伝わる超音波の可視化、非破壊検査、Vol.57, No.4, pp.162-168 (2008)
- (2) 高坪純治：レーザー超音波可視化探傷技術の開発、非破壊検査、Vol.62, No.1, pp.35-39 (2013)
- (3) 齊藤典生・高坪純治・王波・劉小軍・鈴木修一・王曉東：レーザー超音波可視化検査技術による溶接部欠陥エコーの可視化、検査技術、Vol.20, No.10, pp.67-69 (2015)
- (4) 齊藤典生・高坪純治・王波・劉小軍・鈴木修一：レーザー超音波可視化技術による溶接部き裂の可視化、検査技術、Vol.21, No.11, pp.62-66 (2016)
- (5) 齊藤典生・高坪純治・王波・劉小軍・鈴木修一：レーザー超音波可視化検査装置の原理と適用事例、検査技術、Vol.22, No.2, pp.16-20 (2017)

#### 【筆者紹介】

##### 齊藤 典生

つくばテクノロジー(株)  
執行役員  
研究開発部  
X線事業課 課長

##### <主なる業務歴および資格>

1985年山形大学大学院修士課程修了、国立公害研究所でミー散乱レーザーレーダーの研究、その後、日本電気で高出力・高安定YAGレーザーの開発に従事。2012年より現職。  
第6回ものづくり日本大賞 優秀賞受賞。



##### 高坪 純治

つくばテクノロジー(株) 取締役CTO

##### 王 波

つくばテクノロジー(株) 代表取締役社長

##### 劉 小軍

つくばテクノロジー(株) 取締役CFO

##### 鈴木 修一

つくばテクノロジー(株) 取締役/製造部部长

##### <会社の主な事業内容>

超音波可視化非破壊検査装置の開発、製造、販売。産業用小型X線検査装置の開発、製造、販売。AE、光ファイバー・センシングシステムの開発・製造・販売。電子計測機器、情報通信関連機器の開発・製造・販売。その他非破壊検査装置の開発、製造、販売。