

レーザ超音波可視化探傷技術の開発

=超音波を視ながら探傷=

つくばテクノロジー(株) 高坪 純治・王

波・劉 小軍・鈴木 修一・王 晓東

1. はじめに

現在、当社で開発中のレーザ超音波可視化検査装置（略称LUVI：Laser Ultrasonic Visualizing Inspector）は、レーザを利用して検査体表面を伝わる超音波の動画映像を計測し、欠陥からの波紋状のエコーを観察しながら探傷する装置である。その最大のメリットは、超音波の伝搬挙動を動画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点にある。また、非接触走査なので複雑形状物の探傷が容易であることや面の検査を迅速に行えることなども大きな特長である。

この検査技術^{(1)～(5)}は新しい技術であるだけにまだ世の中に広く知られていないが、最近になって少しずつ認知度が高まり、実機部材への適用が試みられるようになってきた。新しい技術を産業応用につなげるには、単に、技術的な性能を向上させるだけでなく、使い勝手や現場環境への適用性などを改善することも非常に重要である。本稿では、それらの点に焦点を当てながら、LUVIの検査機能を紹介する。

2. 可視化方法

LUVIの構成・外観図を第1図に示す。パルスレーザ（時間幅数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。パソコンでレーザとミラーおよび高速A/D変換器を同期制御し、レーザビームを検査体表面上で格子状に高速走査させながら、固定点に取り付けた圧電受信センサ(CH数最大8)、または非接触で受信可能なレーザプローブを用いて超音波伝搬波形を検出し、超低雑音増幅器、高速A/D変換器を通して、パソコンの

ハードディスクに収録する。収録した超音波信号は、レーザ励起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により、受信センサ部から発振される超音波の動画映像を計測することができる。この可視化方法は、励起側のレーザを走査しているので、レーザ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。

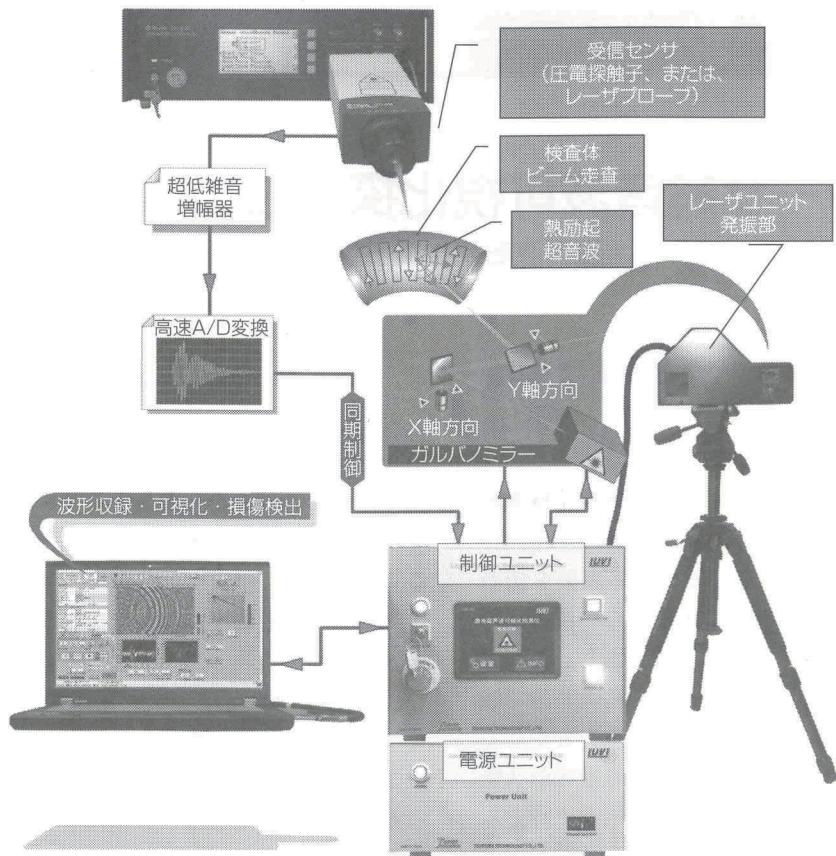
非常に高感度な增幅系を組んでいるので、上記のような小出力レーザでS/Nの良い超音波が受信でき、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）のように熱に弱い試験体でも表面を傷つけることなく超音波伝搬映像を計測することができる。

3. 検査機能

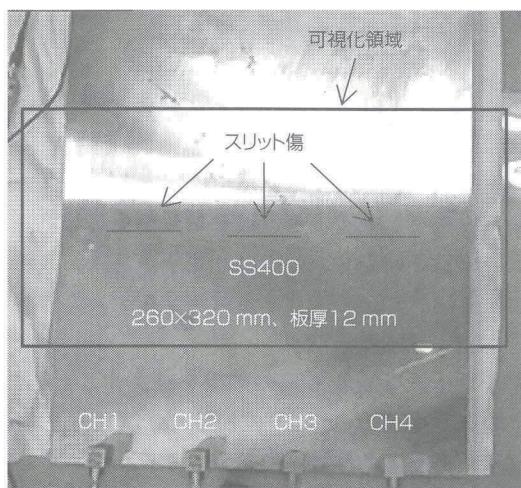
3-1 マルチチャンネル計測

標準で2チャンネル計測は可能であるが、ユーザーから、もっと多くの超音波センサを使用して一度に広い領域を検査したいという要望があり、8チャンネル計測までを可能とする計測システムを構築した。

マルチチャンネル計測の効果を検証するために、第2図に示すようなスリット傷入り試験片を用意し、单一チャンネル計測の結果と4チャンネル計測の結果を比較した。試験片表面には長さ50 mm、幅0.5 mmで深さが左からそれぞれ12 mm（貫通）、9 mm、6 mmのスリット傷を導入した。超音波探触子は、第2図の下方に示すように、4個の斜角探触子（1 MHz、斜角70°）を試験片の下端に取り付けた。单一チャンネル計測（第2CH）とマルチチャ



第1図 レーザ超音波可視化検査装置（LUVI）



第2図 スリット傷入り試験片

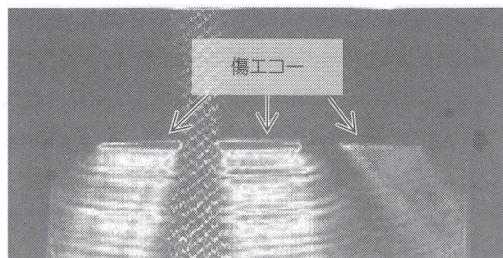
離れた場所にある傷エコーは検出感度が低下しているが、マルチチャンネル計測ではいずれの傷エコーも鮮明に検出されている。なお、第4図に示したマルチチャンネル計測の画像は4つのチャンネルで受信した信号を重ね合わせて表示した図であるが、当然、各チャンネルの計測画像も独立して表示できる。また、ここでは伝搬映像を静止画で表示しているが、実際には、当然ながら、動画映像として観察できる。

3-2 検査体写真スーパーインポーズ映像

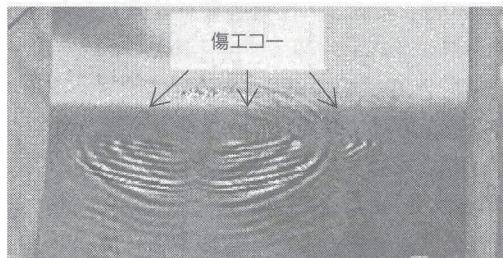
検査体の写真画像を超音波伝搬映像の背景画像としてスーパーインポーズできれば、リアリティのある伝搬映像が得られ、欠陥エコーと試験体の位置関係が明瞭になる。そこで、ミラー走査装置の近傍に超小型ウェブカメラを取り付けて試験体写真を撮影し、超音波伝搬映像の背景画像に自動取り込みできるようにした。

第5図は、内面に腐食傷を有する発電プラント配

ンネル計測による最大振幅図と伝搬画像を第3図および第4図に示す。単一チャンネル計測の場合には超音波探触子の指向性により、超音波進行方向から

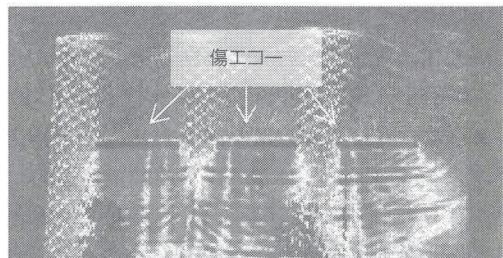


最大振幅図 (CH2、進行波消去後)

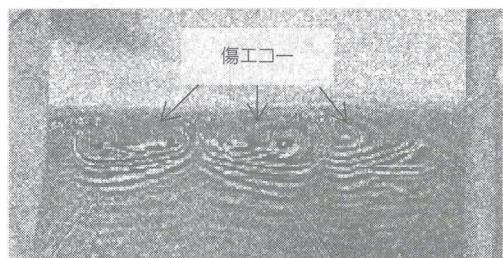


伝搬画像 (CH2、進行波消去後)

第3図 単一チャンネル計測画像



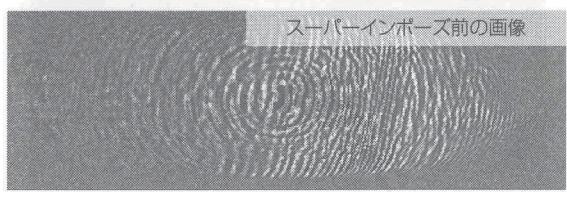
最大振幅図 (CH1～CH4、進行波消去後)



伝搬画像 (CH1～CH4、進行波消去後)

第4図 マルチチャンネル計測画像

管に斜角探触子 (45° 、 1 MHz) を取り付けて超音波伝搬映像を測定した図である。真ん中の図は測定したままの超音波伝搬画像であり、この画像に、一番上に示す試験体写真画像をスーパーインポーズした画像が一番下の伝搬画像である。試験体中央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



内面腐食傷エコー

第5図 発電プラント配管内面腐食傷エコーの可視化例

れている。両図を比較すれば、明らかに、スーパーインポーズ画像の方が試験体と傷エコーの位置関係を把握しやすいことが分かる。

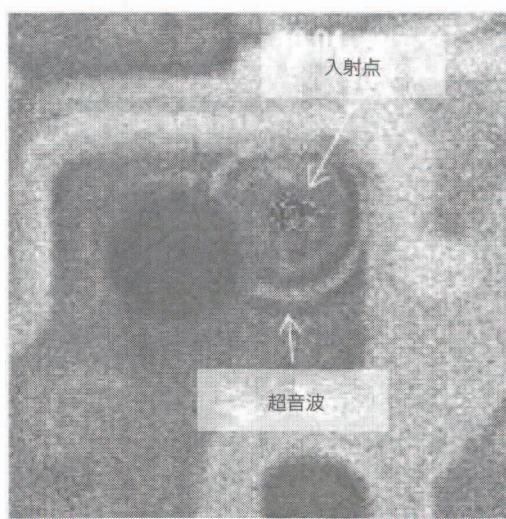
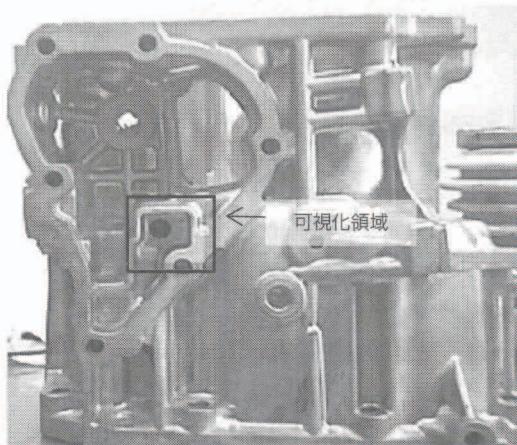
3-3 完全非接触計測

生産ラインでの移動部品検査、高温での検査、小型複雑形状部品の検査等では完全非接触計測のニーズが高い。現在のところ、レーザプローブ等を利用した非接触受信の超音波検出感度は、超音波探触子を検査体に直接取り付けた接触型受信に比べ、1桁～2桁低いため、あまり鮮明な映像は計測できないが、表面近傍の欠陥検出や微小領域の検査などには適用が可能である。

ここでは、ミッションケースの狭い部を伝わる超音波を可視化した例を示す。受信レーザと発振レーザおよび検査体の位置関係を第6図に示す。可視化領域は第7図上図に示すように、矩形状の凹部であり、通常の超音波探傷では受信探触子を配置できないような狭い部であるが、受信レーザおよび発振レーザのビーム径はいずれも $\phi 1\text{ mm}$ 以下であり、このような狭い部でも問題なく可視化できる。その結果を第7図下図に示す。それほどS/Nの良い信号ではないが、狭い凹部から同心円状に広がって



第6図 自動車ミッションケース狭あい部の可視化計測



第7図 ミッションケース狭あい部の可視化画像

いく超音波を可視化できている。超音波探触子による受信では、センサの周波数特性の影響が強く出るため受信波形は減衰振動型の継続時間の長い波形になることが多いが、レーザプローブによる非接触受信では、このように短パルス的な短い受信波形になるので、S/Nは悪いものの、欠陥エコーが進行波の中に隠されることが少ないという特長を有している。また、受信波形の継続時間が短いので1000 Hz以上の高速で走査しても残響雑音はほとんど生じない。

3-4 その他の特徴

当該検査装置は以下のようなユニークな機能も有している。

(1) Bスコープ（速度線図）による音速測定

試験体表面上の任意の2点間をレーザ走査してBスコープ画像を測定すると、線束であらわされる速度線図が描画され、線束の傾きで音速を推測できる。複数のモードの波が混在する場合は、傾きの異なる複数の線束が表示される。また、欠陥エコーは正負が反転した傾きの線束で表示される。

(2) 平均化計測、連続計測

S/Nの悪い計測環境では、同一の走査点を指定回数だけレーザ照射を繰り返して平均化計測することもできる。ただし、計測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計測することができる。

(3) 異常箇所ガイド光表示

PCモニターに表示された計測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。

(4) 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持たせている。報告書はエクセル表2ページで構成され、1ページ目に計測条件、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秒である。

(5) 計測データの検索・閲覧・リロード

1回の計測データは1つのフォルダに保存される。計測データがたまつくると、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

ここで、各計測フォルダに保存された試験体写真画像や伝搬画像、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計測条件をリロードして同一のレーザ走査条件、超音波計測条件で可視化試験を行うことも可能である。

4. おわりに

何の事故も損壊も起こらなければそれがベストというものが非破壊検査である。他の技術と比較すると目に見えた効果が表れないので非常に損な役割を演じている。まさに縁の下の力持ちである。このため、特に不況時には検査が手抜きされることもあったが、最近になって、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性が再認識されるようになり、検査すべき対象も年々増加の一途をたどっている。しかし、現在のところ、検査すべき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現状と言わざるを得ない。恐らく検査すべき対象の1割程度しか十分な検査できていないのではなかろうか。我々検査技術に携わる者は、それを今後2割、3割と増やしていくのが使命である。そういう意味で、当該技術は、複雑形状部や狭い部、高温部等の難検査部位にも適用できる可能性が高く、非破壊検査の将来に僅かながらでもお役に立てるのではないかと考えている。今後も、検査すべきところを検査できる技術の開発に向けて努力を重ねていきたい。

<参考文献>

- (1) 高坪純治：励起用パルスレーザ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、57-4、pp.162-168 (2008)
- (2) 高坪純治・宮内秀和・卜部啓・津田浩・遠山暢之・王波：レーザ超音波同期差分法による裏面スリット散乱波の画像化、日本機械学会論文集、75-750、pp.211-218 (2009)
- (3) 日本工業標準仕様書：励起用レーザ走査による超音波伝搬の映像化方法、TS Z0028 (2010)
- (4) 高坪純治・津田浩・遠山暢之・森谷信一・升岡正：ロケット燃焼器のレーザ超音波映像化探傷技術、非破壊検査、59-10、pp.504-509 (2010)
- (5) 高坪純治：レーザ超音波可視化探傷技術の開発、非破壊検査、62-1、pp.35-39 (2013)

【筆者紹介】

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

鈴木 修一

つくばテクノロジー(株) 計測事業部長

王 曉東

つくばテクノロジー(株) 主任研究員