

超音波

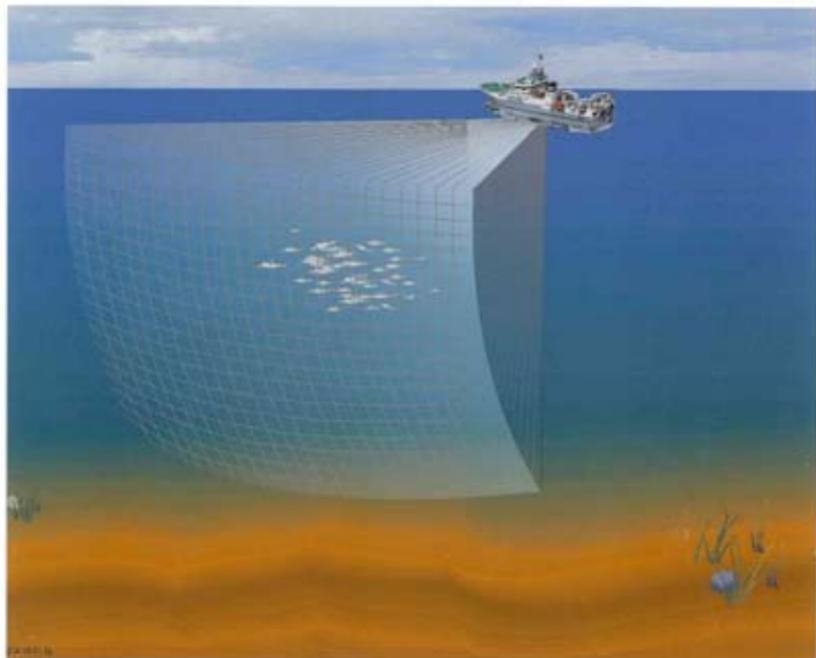
Ultrasonic
Technology

TECHNO

2013
11
12
VOL.25
No.6

特集:①水産資源調査における音響計測と機器
②超音波加工技術の可能性を求めて①

MS70マルチビーム 科学ソナー・システム



SIMRAD



日本海洋株式会社

レーザドップラ振動計による超音波領域の特性評価

＝“見える超音波”で、誰でも簡単に検査・管理＝

ポリテックジャパン(株)
つくばテクノロジー(株)

羽倉 守人・廣川 達彦・若月 祥子
高坪 純治・王 波・劉 小軍・松岡 一夫

1. はじめに

超音波を使ったさまざまな技術が多くの産業を支えている。たとえば、超音波加工技術は製品化が進み多方面で活躍している。これらの製品性能を誰でも簡単に検査でき、かつ同じ検査結果を出すことができれば、製品の品質管理の向上と高速化が期待できる。

ポリテックのレーザドップラ振動計 (LDV) はクラス2、C.W 1mW以下のレーザにもかかわらず、振幅の高いS/Nで検出することができる非接触センサである。中でも、レーザを測定対象表面上で多点に渡り走査させ、面として振動挙動をとらえ瞬時にアニメーション化するスキャニング振動計 (PSV) は、測定対象の動特性を一目瞭然にするポリテック独自の製品である。本稿前半ではこのPSVを使用した各種超音波製品の性能評価を目的とした測定事例を紹介する。

一方、物に超音波を入射し、内部を進行する超音波が境界面に当たった時に反射波として返ってくる時間から距離を計算してその物の内部状態を検査する技術では、特に医療現場で広く活躍している超音波検査 (エコー) が有名である。それと同じ原理で物を壊さずにその内部や表面の傷の有無・位置・大きさ・形状等を検査する方法が超音波非破壊検査である。この技術は工業製品やその他設備の長期利用と検査管理の簡便化を目的として日々研究が進んでいる。

産業界技術総合研究所認定の技術移転ベンチャー企業であるつくばテクノロジー(株)では、産総研で開発された超音波伝搬の可視化技術を利用すれば、傷エコーを物体表面で放射状に広がる波紋現象として

とらえることができる点に着目し、同技術を利用したレーザ超音波可視化検査装置 (LUVI: Laser Ultrasonic Visualization Inspector) の開発を行っている^{(1)~(4)}。当該装置は、超音波伝搬動画映像を視ながら探傷できる点で、万人に使い易く分かり易い検査装置であるだけでなく、次のような優れた特徴を有している。

① 湾曲部、凹凸部、狭隘部などの複雑形状部の検査が容易。

② 広い検査領域を短時間で検査できる。

また、他の検査装置にないユニークな機能として、

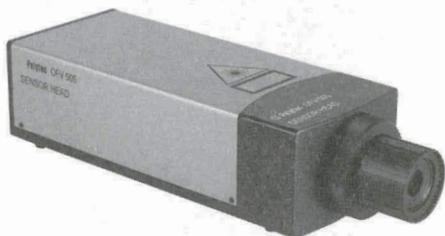
① 超音波伝搬映像と光学写真のスーパーインポーズ機能や、映像の異常位置に対応した点を検査体表面にガイド光表示する機能により、傷エコー発生位置の特定が容易。

② 数秒で、検査体写真画像 (検査枠付き)、超音波伝搬画像、最大振幅画像、レーザ走査条件、超音波信号計測条件などを記載した簡易レポートの作成 (エクセル文書)。

③ 過去の測定条件 (レーザ走査条件、波形取り込み条件) を読み込んで、同じ条件での計測を再現可能。

などを挙げることができる。

本稿後半では、他の探傷装置との違いに着目しながら、当該装置の新しい探傷機能や可視化映像例を紹介する。さらに最後に、つくばテクノロジー(株)のLUVIの受信センサとして、ポリテック製品群で最も高感度のレーザドップラ振動計OFV-505 (第1図) を使用した、送受信共に非接触の最新の完全非接触レーザ超音波可視化技術を紹介する。



第1図 ポリテックの高感度レーザドップラ振動計OFV-505

2. ポリテックのPSV計測事例

2-1 ワイヤボンダ装置の

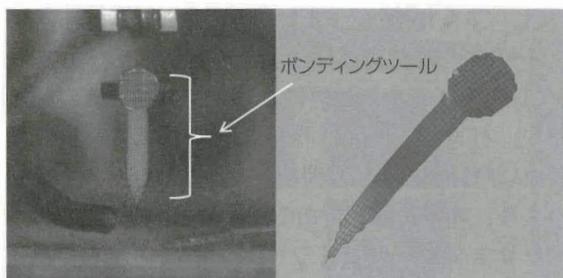
ボンディングツールの動特性評価

半導体製品の歩留まり低下の要因のひとつに、ボンダビリティの悪化が挙げられる。LDV計測によってボンディングツール先端の振動振幅を定量化することで、ユーザによるボンディングツール交換などメンテナンス時に変化しがちであったボンダビリティを管理することができる。

さらにボンダビリティを下げる一因とされているボンディングツール先端における振動節の発生を視覚的に発見できるなど、PSVを用いることで、ツールがどんな動きをしているか簡単に“見る”ことができる(第2図)。

2-2 超音波溶着機のホーンの動特性評価

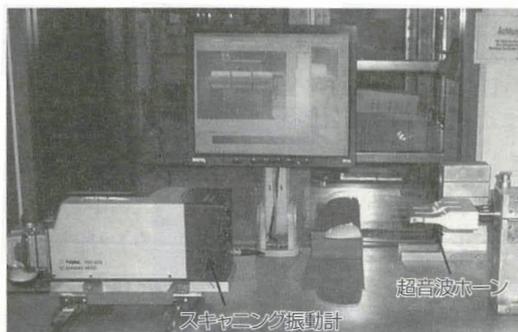
超音波溶着のアプリケーションはさまざま、有限要素解析を行い、溶着パーツの特性に合わせて、ホーンの振幅が制御され形状が設計されている。よってホーンが設計どおりに動作しているかを知るこ



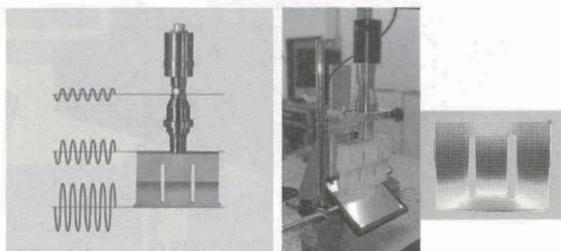
第2図 ボンディングツールの実際働振動形状 (ODS) (117 kHz)

とは、製品の品質管理に直結するため、もはや必須といっても過言ではない。

PSVは面振動を可視化するため、ホーンだけでなく、発振器からの電気信号を機械振幅に変換する振動子、さらに振動子からの機械振幅を増減しホーンへ供給するプースターと、各構成部品の振動をひとつのデータとして測定することができるため、構成部品の振動の相関関係を“見る”ことができる(第3図、第4図)。



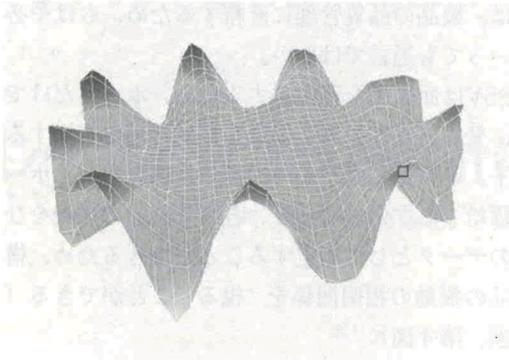
第3図 スキャニング振動計による超音波ホーンの測定風景



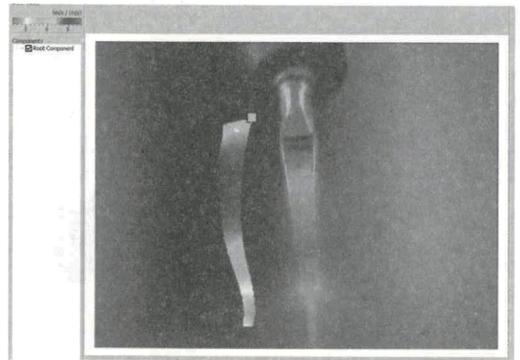
第4図 超音波ホーンのPSV測定結果

2-3 超音波モータの動特性評価

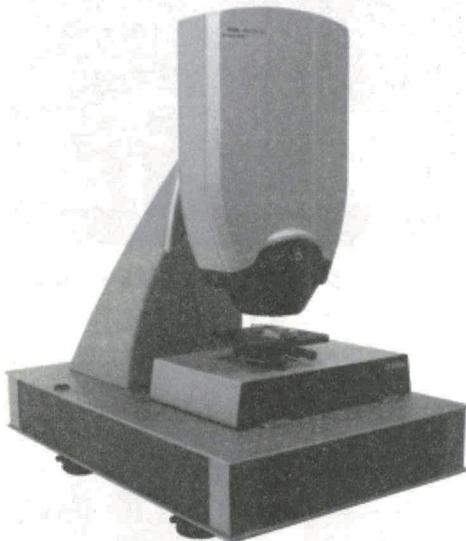
超音波モータは、圧電素子により、発生させた超音波振動を利用して、ステータにたわみ振動を発生させ、その進行波を利用し、ローターを駆動する。進行波の面内特性評価ツールとしてLDVセンサ3台を搭載することにより面外面内の3軸振動を検出するPSV-3Dは最適である。第5図にPSV-3Dによる超音波モータの測定結果を示す。さらにマイクロサイズの測定対象用に開発された最新のスキャニング振動計MSA-100-3D SVは、独自のテクノロジーによりセンサ3台を使用する従来の方法とは異なり、1



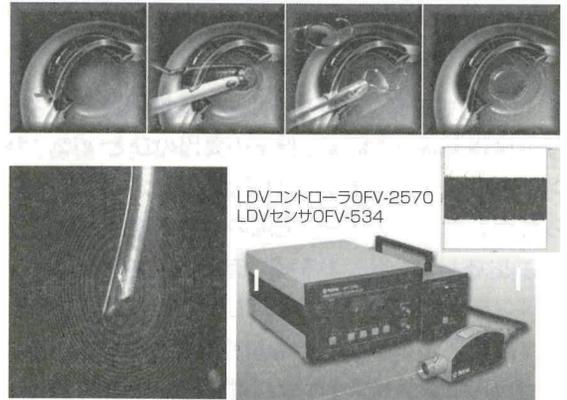
第5図 超音波モータのPSV測定結果



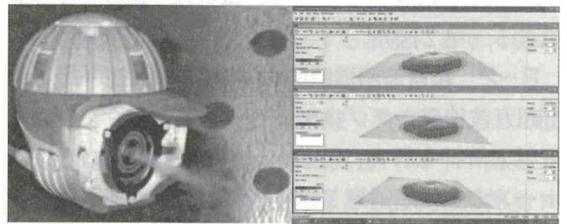
第7図 スケーラ（歯科用器具）のPSV測定結果



第6図 新製品 スキャンング振動計MSA-100-3D



第8図 白内障手術用器具のLDV測定結果



第9図 超音波ネプライザのPSV測定結果

台のセンサで3軸の振動をとらえる省スペース化を実現した驚くべき装置である（第6図）。

2-4 医療器具の品質管理

超音波を利用したさまざまな医療器具が開発されている。そのどれもが微細なツール先端部の振動振幅を最適に制御することが厳しく求められる。以下にポリテックのLDVならびにPSVの測定結果を紹介する（第7図～第9図）。各測定では、レーザを医療器具に照射するだけという非常に簡単な操作にもかかわらず、結果を瞬時に得ることができ、医療機器の性能を評価・管理する上で、LDVやPSVが非常に有効であることがわかる。

3. つくばテクノロジーのLUVI計測事例

3-1 可視化方法

LUVIの写真を第10図に、装置構成図を第11図に示す。パルスレーザ（時間幅10 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受信

センサ（CH数2）で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。

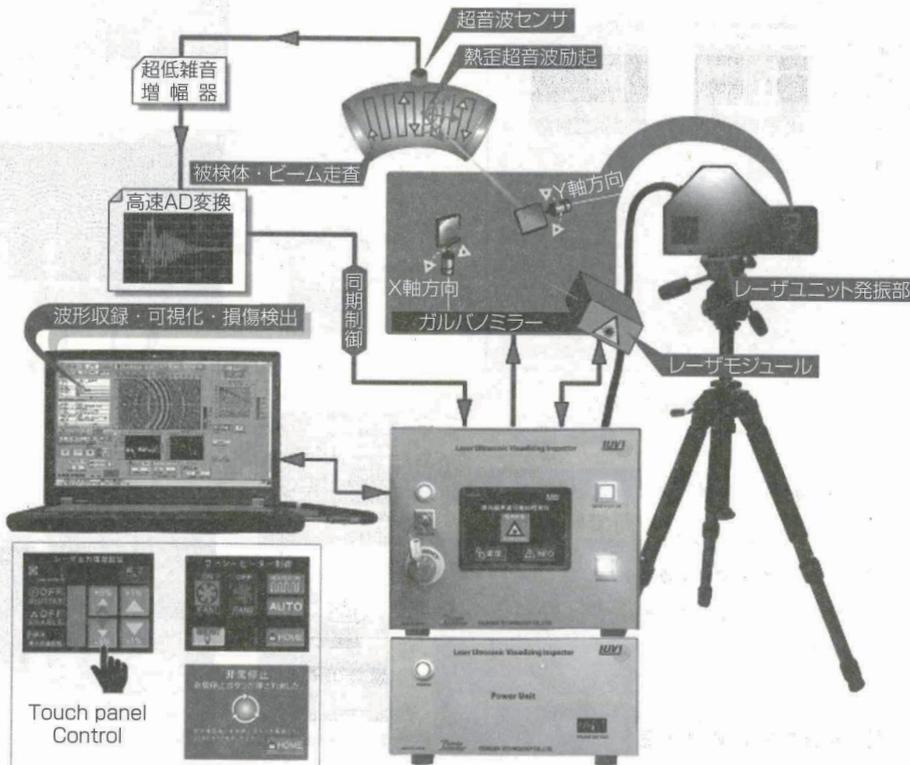
レーザ装置の主な仕様は下記の通りである。

- 波長：1,064 nm (YAG) または、1,053 nm (YLF)
- パルス幅：2 nsまたは、30 ns
- レーザ出力：最大1 mJまたは、2 mJ
- レーザ走査速度：最大2 kHzまたは、3 kHz
- 走査視野角：2 軸±25°または、±30°

非常に高感度な増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）のように熱に弱い検査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。



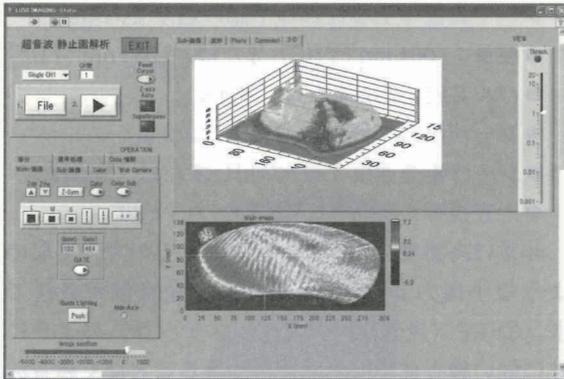
第10図 レーザ超音波可視化検査装置LUVI



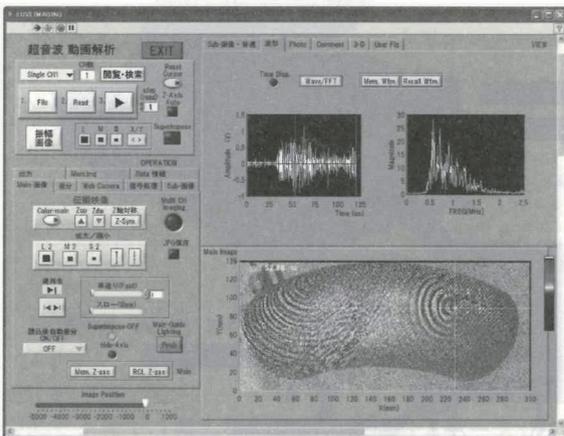
第11図 LUVIシステムの構成

3-2 可視化例

LUVIは実構造部材を伝わる超音波をその場で映像化する、世界初の装置である。超音波が伝わる様子を目で視ることができるので、被検体に内在する欠陥や異常などを容易に発見することができる。LUVIによる超音波静止画像解析画面および超音波動画解析画面を第12図および第13図に示す。



第12図 LUVIによる超音波静止画像解析画面

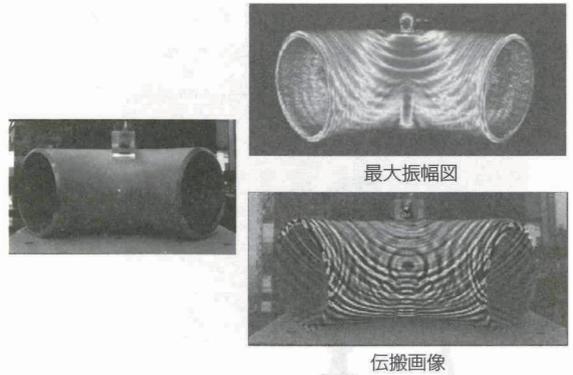


第13図 LUVIによる超音波動画解析画面

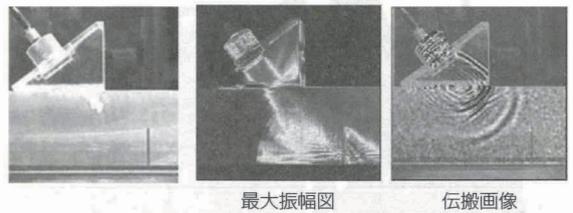
LUVIは、非接触高速走査なので、どのような複雑形状物体を伝わる超音波でも短時間で映像化する。その映像はあたかも水面から波が湧上がるようであり、欠陥があるところから波紋が起き、傷や亀裂などを画像で検出する。第14図～第18図に可視化例を紹介する。

3-3 LUVIによる完全非接触検査

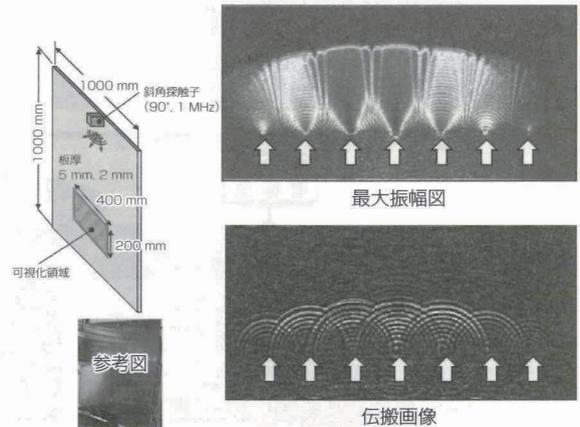
LUVIの超音波伝搬波形を検出する受信センサは被検体に取り付ける接触型のセンサであった(第11



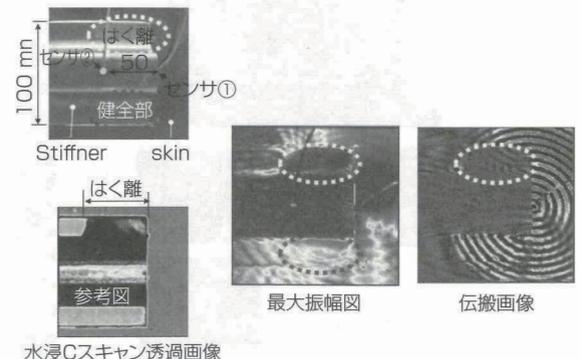
第14図 LUVIによるステンレス製エルボの管内面傷検査



第15図 LUVIによるアクリルウェッジ&アルミブロックにおける斜角探触子入射音場の可視化

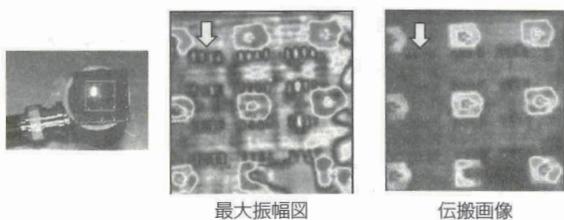


第16図 LUVIによるアルミ合金平板の裏面欠陥検査

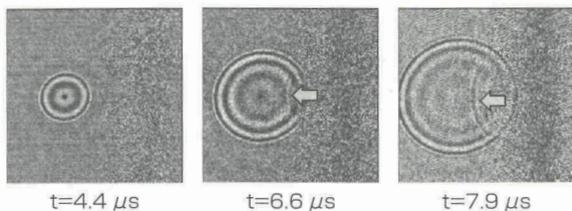


水浸Cスキャン透過画像

第17図 LUVIによる航空機CFRP補強材の剥離・接合状態検査



第18図 LUVIによるLSIパッケージの埋込チップ配列検査



第20図 完全非接触型LUVIによるアルミ板のスリット傷エコーの可視化

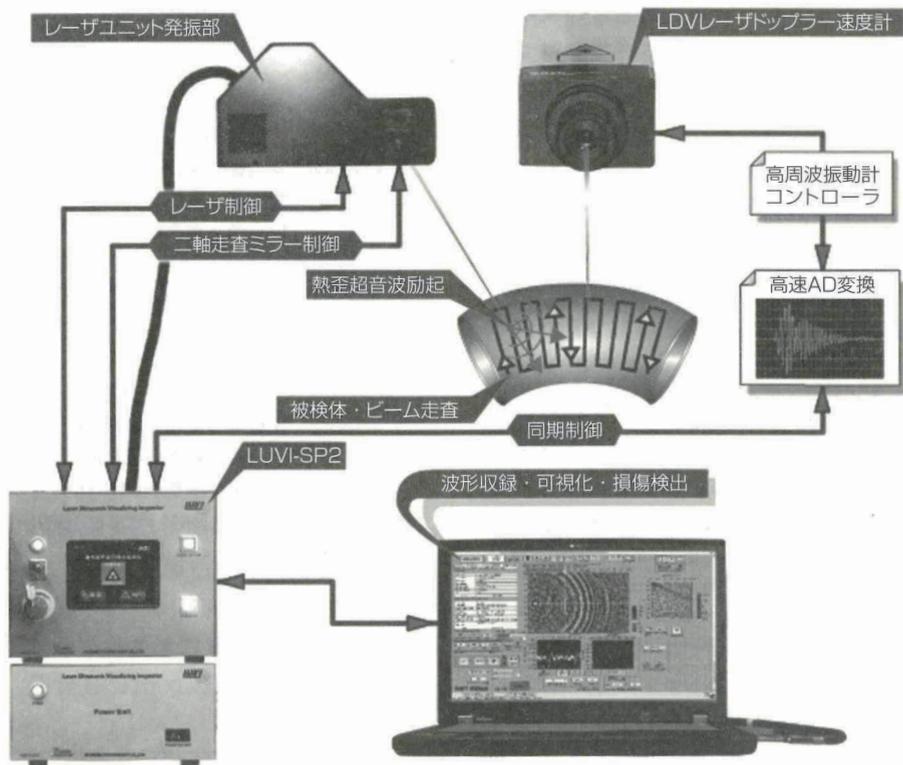
図参照)。そこで被検体表面の超音波伝搬波形を非接触で検出するセンサとしてポリテックのLDV (OFV-505) を使用することで、送受信ともに非接触の新構成のLUVIによる可視化実験を行った。実験で使用したLUVIのシステム構成を第19図に示す。

実験の被検体にはスリット傷(深さ1mm、長さ16mm、幅0.3mm)を有するアルミ板(350×350mm、板厚5mm)を使用し、アルミ板に超音波探触子を取り付ける代わりに、ポリテックのLDV (OFV-505) のレーザをアルミ板表面に照射した。第20図にこの可視化実験の結果を示す。

6.6 μ sでは超音波がスリット傷に到達し、7.9 μ sでは反射している様子を視ることができた。この結果からLUVIの受信センサを非接触センサであるLDVに代えても従来の接触型受信センサと同様に超音波伝搬映像の計測を行うことができるという証明となった。よってLUVIは被検体を選ばない万能の完全非接触 レーザ超音波可視化検査装置であると言える。

4. おわりに

超音波を利用したさまざまな製品の開発や品質維持のためには検査の実施は必須である。しかしその



第19図 非接触受信センサとしてポリテックのLDVを使用した完全非接触型LUVIのシステム構成

検査の内容は多種多様であるばかりか、日々要求される検査性能は高まっている。

そんな中、検査装置の性能の高さはもちろん、実際に検査を行うユーザが、簡便な操作で、検査結果に対して誰でも共通の理解を瞬時に出すことができるということは、検査装置に求められる新たな性能のひとつであろう。

ポリテックのPSVならびにつくばテクノロジー(株)のLUVIは、計測結果をアニメーション表示できる点でこの新たな性能を満たす装置である。

両装置の特徴は、

- ① 目で視る分かり易い検査
- ② 効率的な検査
- ③ 非接触検査

④ 記録性に優れた検査

が挙げられる。

今後も変化するユーザのニーズに応えるような実用的な検査装置の開発・販売に努めていきたい。

<参考文献>

- (1) J.Takatsubo, B.Wang, H.Tsuda and N.Toyama : Generation Laser Scanning Method for the Visualization of Ultrasounds Propagating on a 3-D Object with an Arbitrary Shape, *J. Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol.1, No.12, pp.1405-1411 (2007)
- (2) 高坪純治: レーザ超音波可視化探傷技術の開発、検査技術、15-1, pp.24-30 (2010)
- (3) 高坪純治・王波: レーザ超音波映像化探傷法による配管検査、非破壊検査、60-5, pp.269-274 (2011)
- (4) 高坪純治・津田浩・遠山暢之・王波・森谷信一・升岡正・山脇寿: ロケット燃焼器のレーザ超音波探傷技術、配管技術、53-7, pp.55-61 (2011)

【筆者紹介】

羽倉 守人

ポリテックジャパン(株) 営業部 部長代理
〒222-0033 横浜市港北区新横浜3-1-9
アリーナタワー 13F
TEL : 045-478-6980 FAX : 045-478-6981
E-mail : m.hagura@polytec.co.jp

廣川 達彦

ポリテックジャパン(株) 営業部
アプリケーションエンジニア
〒222-0033 横浜市港北区新横浜3-1-9
アリーナタワー13F
TEL : 045-478-6980 FAX : 045-478-6981
E-mail : t.hirokawa@polytec.co.jp

若月 祥子

ポリテックジャパン(株) 営業部
アプリケーションマーケティング グループ
〒222-0033 横浜市港北区新横浜3-1-9
アリーナタワー 13F
TEL : 045-478-6980 FAX : 045-478-6981
E-mail : t.hirokawa@polytec.co.jp

高坪 純治

つくばテクノロジー(株) 取締役CTO
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1
御産業技術総合研究所
中央第2事業所2-1E-314
TEL : 029-852-7777 FAX : 029-886-5528
E-mail : takatsubo@tsukubatech.co.jp

王 波

つくばテクノロジー(株) 代表取締役社長
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1
御産業技術総合研究所
中央第2事業所2-1E-314
TEL : 029-852-7777 FAX : 029-886-5528
E-mail : wangbo@tsukubatech.co.jp

劉 小軍

つくばテクノロジー(株) 主任研究員
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1
御産業技術総合研究所
中央第2事業所 2-1E-314
TEL : 029-852-7777 FAX : 029-886-5528
E-mail : liuxiaojun@tsukubatech.co.jp

松岡 一夫

つくばテクノロジー(株) マーケティング事業部 部長
〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1
御産業技術総合研究所
中央第2事業所2-1E-314
TEL : 029-852-7777 FAX : 029-886-5528
E-mail : matsuoka@tsukubatech.co.jp