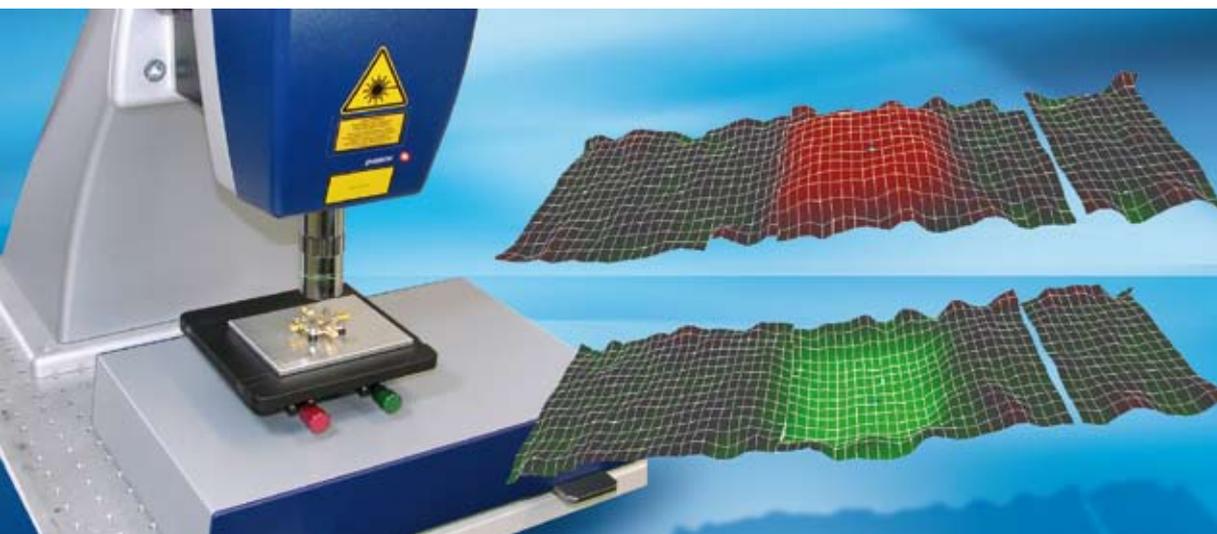


## デバイス表面の超高周波振動の測定



### 応用分野

- A 航空宇宙
- B 音響
- C 自動車
- D データストレージ
- G 一般的な振動測定
- M マイクロデバイス
- P 生産ラインでのテスト
- S 自然科学および医療
- T 構造検査
- U 超音波

### 超音波トランスデューサ表面に発生する振動を UHF-120 超高周波レーザドップラ振動計で測定

マイクロセンサ、アクチュエータなど、高MHz帯域で振動する微細加工部品の生産量は年々、増加の一途をたどっています。高周波で振動するマイクロデバイスには、たとえば MEMS (Micro-ElectroMechanical Systems) や NEMS (Nano-ElectroMechanical Systems)、表面弾性波 (SAW) フィルタ、そして医療用画像装置などに利用されている超音波センサなどが挙げられます。

こうしたマイクロデバイスの動特性を評価することは、部品の性能テスト、既存のシミュレーション モデルの検証、構造体設計の最適化などにおいて必要不可欠です。

マイクロデバイスの振動を測定する計測手法はいくつかありますが、特にレーザドップラ振動計は、測定するターゲットに触れることなく、デバイスに損傷を与えない高精度な測定が可能です。

ポリテックの振動計で測定できる振動周波数は、最近まで最大で 24 MHz に留まっていた。

しかし UHF-120 超高周波レーザドップラ振動計の登場により、高周波で振動する超音波デバイス (表1) の動特性を、簡単かつ高い信頼性で、最大振動周波数 1.2 GHz まで測定できるようになりました。

デバイス	周波数帯域
RF-MEMS	1 MHz ~ 3 GHz
SAW フィルタ	10 MHz ~ 60 GHz
NEMS	50 MHz ~ 1 GHz
HF 超音波トランスデューサ	1 MHz ~ 1 GHz

表1: デバイスごとの標準的な振動周波数帯域

ポリテックジャパン株式会社

アプリケーション ノート  
VIB-G-14  
2010年4月

## UHF-120 超高周波レーザドップラ振動計の測定原理と設計

UHF-120 の測定原理は、他のポリテック製振動計と同じように、レーザドップラ干渉法に基づいています。振動するオブジェクトに、振動計のレーザビームを照射します。すると反射した散乱光は、ドップラー効果に基づき、その周波数と位相が変化します。この周波数と位相の変化は、干渉法を用いて測定します。

顕微鏡ベースのUHF-120 センサヘッド (図1、図2) には、Mach Zehnder型光ヘテロダイン干渉計が搭載されています。参照用ビームと測定ビーム (測定オブジェクトに照射しドップラーシフトが発生したもの) は、干渉を起こし、ビート信号を発生します。ビートとは近い周波数を持つ2つのコヒーレント波による干渉のことです。オブジェクトが直線振動だけでなく前後運動もするとき、周波数と位相が変調された信号が生成されます。この信号には、オブジェクトのすべての振動情報が含まれています。そしてこの信号を、商用のオシロスコープでサンプリングし (最大レート: 40 ギガサンプル/秒)、デジタル化します。デジタル化されたデータはEthernet経由でPCに転送され、PCで復調されます。データは付属のPolytec Softwareを利用して画面に表示したり、アニメーショ

ン化することができます。

UHF-120のシステム全体 (図2) は、センサヘッド (1)、オシロスコープ (2)、測定用コンピュータ (3)、およびコントローラ (4) から構成されます。コントローラは、測定コンピュータとセンサヘッド間インターフェースとなります。UHF-120ではスキニング (表面) 測定も可能ですが、その場合はこの構成にX/Y位置決めステージを追加するだけで実行できます。

### 超音波センサの測定

ここで測定例に挙げる2つの超音波センサは、いずれもドイツ・フランウンホーファー研究所 生物医学技術研究所 (Fraunhofer Institute for Biomedical Engineering (IBMT, St. Ingbert)) で、腹部画像検査、細胞の画像検査、および表面測定用途向けに開発されたものです。測定の目的として、これらの部品の面外振動を測定することにより、空中の3次元の音場分散を把握します。

### 超音波センサの動作原理

この2種類の超音波センサはいずれも、超音波トランスミッタおよびレシーバとして動作します (超音波トランスデューサ)。

2つの配列の機能および動作モードに応じて、 piezoelectric array 上層に薄膜メンブレン (100 MHzアレイ) またはインピーダンスマッチングレイヤ (5 MHz) のいずれかが形成されています。piezoelectric array に一定の電圧を印加すると、各piezoelectric elementのたわみの振幅と位相を変化させることができます。piezoelectric effectによって発生した結晶振動 (面外) が、その上層の薄膜メンブレンまたはマッチングレイヤに伝わります。

振動させられたメンブレンやマッチングレイヤから、超音波が発生します。この超音波は、piezoelectricの制御を変化させることで、その形状と周波数を変化させることができます。各アレイ素子ごとに適切な振幅と位相を選択することにより、例えば、焦点距離が可変な集束超音波を、低周波センサで発生させることが可能になります。

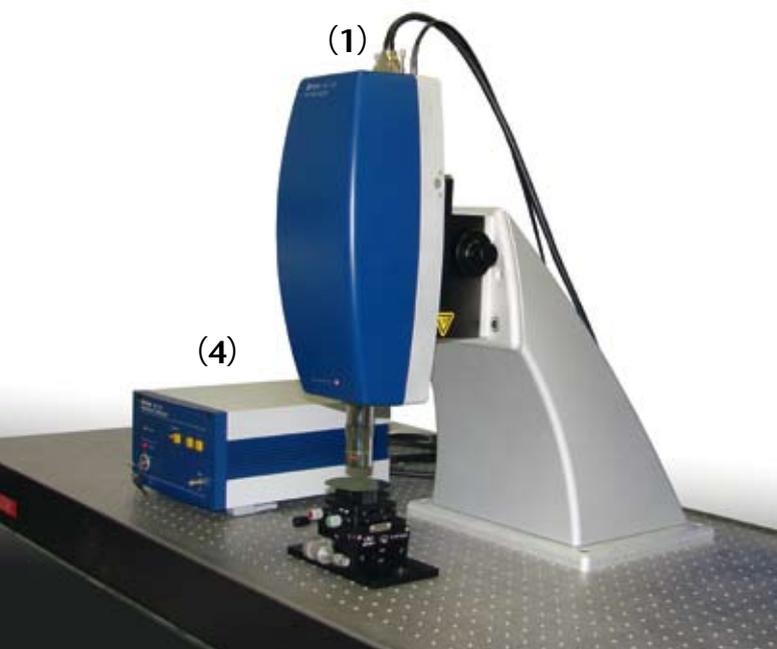


図1: UHF-120 センサヘッド (1) とコントローラ (4)

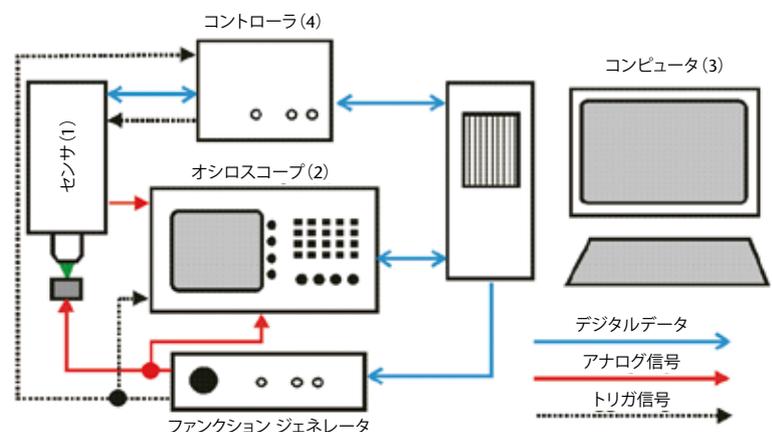


図2: UHF-120システム全体のデータフロー

### センサ1 (低周波超音波センサ) の測定

このセンサは、腹部画像検査に利用されるセンサであり、表面積は約  $10 \times 10 \text{ mm}^2$ 、振動周波数は  $5 \text{ MHz}$  です。低周波センサの測定には、5倍の対物レンズを用います。この対物レンズを使用したときのカメラの測定視野は  $1.42 \times 1.1 \text{ mm}^2$  です。

約  $10 \times 10 \text{ mm}^2$  のセンサ表面を測定するには、表面全体を合計30箇所 ( $5 \times 6$ ) の測定グリッドに分割し、個々のグリッドを1つずつスキャンしながら測定します。1つの測定グリッドごとに、234点の測定ポイントを定義します。スキャンの実行中は、各スキャンポイントの振幅と位相が20マイクロ秒間記録されます。各測定は、トリガ信号によって開始されます。このトリガ信号は同時に、位相のリファレンスとしても使用されます。

スキャンおよび記録した個々のグリッドのデータはその後、Polytec Softwareで結合され、アニメーションに表示されます。次の8枚の写真 (図3~10) は、振動アニメーションの画像をコマ送りにしたものです。全体の振動時間は5マイクロ秒、最大振幅は  $\pm 40 \text{ nm}$  (peak to peak) です。図11は、選択した測定ポイントにおける振幅時間のプロファイルを示しています。

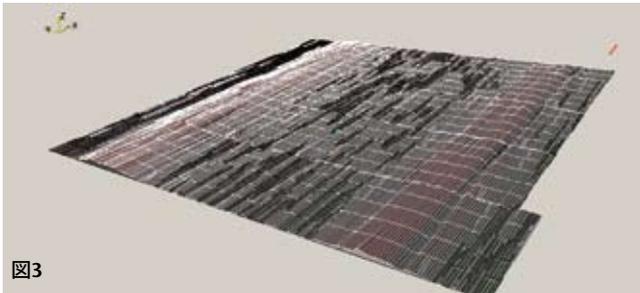


図3

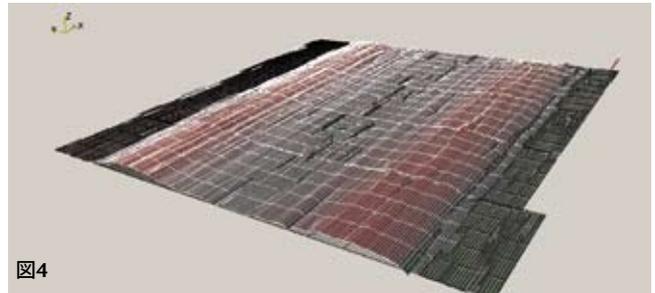


図4

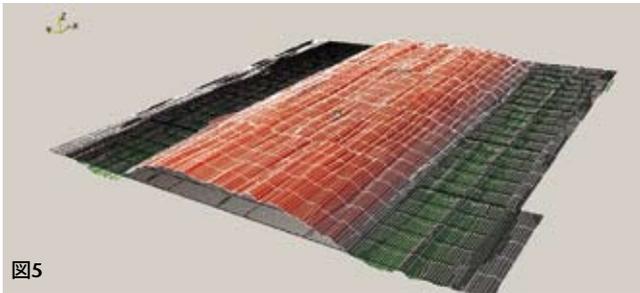


図5

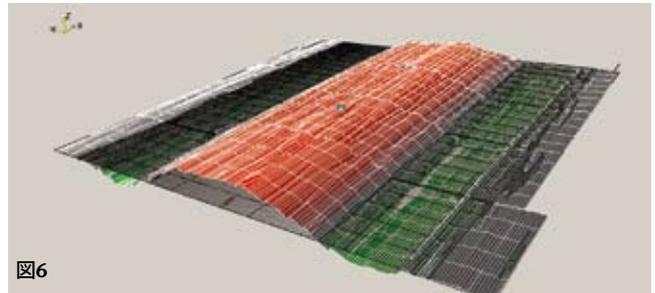


図6

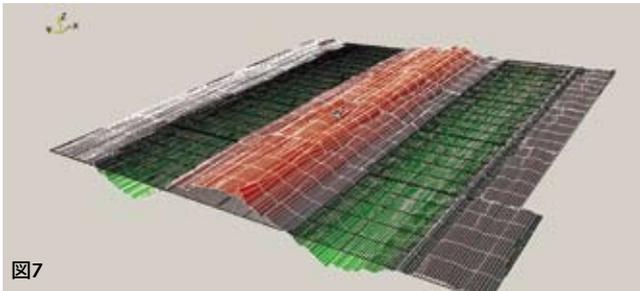


図7

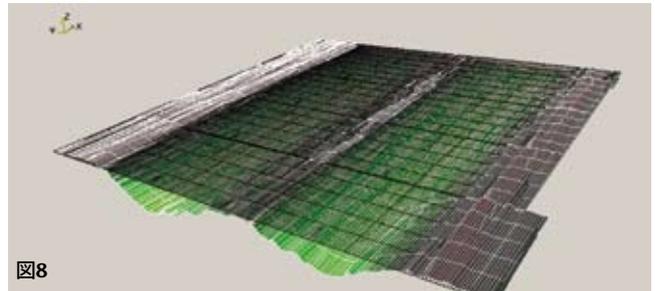


図8

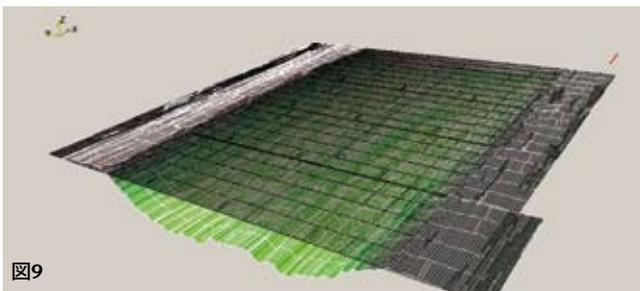


図9

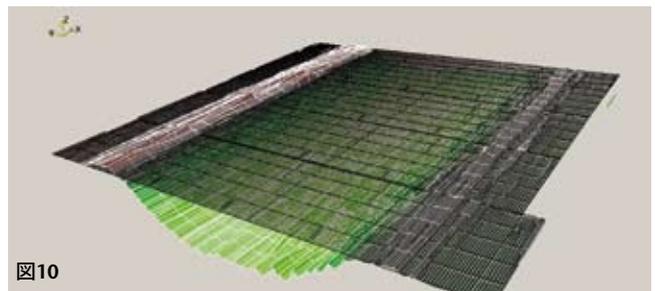


図10

図 3 - 10: 低周波超音波センサの振動特性

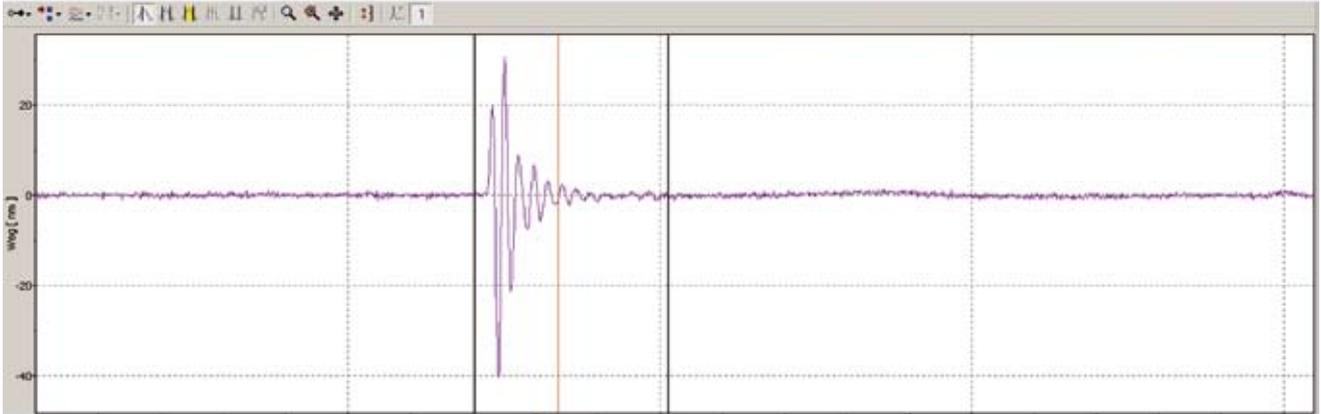


図11: 選択した測定ポイントにおける振幅時間プロファイル

これらの画像から、 piezotronics と薄型インピーダンス マッチングレイヤで調整された振動を励起することにより、特定の波形を持つ超音波を発生させることが可能なことが分かります。

前半の4つの画像における振動のプロファイルを見ると、最初にメンブレンの端の方のエリア、次にメンブレンの中央のエリアで振動が励起しているのが分かります。そのため超音波も、中央よりもまず外側から励起します。その結果、ある焦点距離を持った、求める形状の球面波を励起させることができます。

#### IBMTによるデータの解析

IBMTの研究チームでは、PSV Softwareでアニメーション化した最初の測定データに基づき、メンブレンの振動特性が既存のシミュレーションと合致していることを確認できました。また測定データの詳細な解析をベースに、既存の振動モデルの改善と修正が行われました。ただしデータの解析条件として、メンブレンは実際の使用条件とは異なり水中では駆動されず、測定時は水圧による減衰が生じていないことを考慮に入れる必要がありました。

新しく改善されたシミュレーション モデルを使用することにより、IBMTはメンブレンの振動のシミュレーションと、それによって生じる3次元での超音波伝搬のシミュレーションが可能になりました。これにより、部品の機能評価を、3次元のノイズ場を測定する従来の方法にかわり、大幅に短時間で行うことが可能になりました。

#### センサ2 (高周波超音波センサ) の測定

このタイプのセンサは、細胞の画像検査および表面測定用途に利用されます。このセンサの表面積は約  $0.8 \times 2.4 \text{ mm}^2$ 、振動周波数は105 MHzです。高周波帯域の超音波センサの測定では、3つの測定グリッドを10倍対物レンズを使用してスキャンおよび測定します。各測定グリッドには、405点のサンプルポイントを設定します。低周波センサと異なり、このセンサは1mmの厚い水の層で覆われており、その上層は薄いガラス片が載せられています。この方法により、このトランスデューサの測定をより実際の使用に近い条件で行うことができます。低周波センサではメンブレンの振動により集束した超音波を励起しますが、高周波センサでは複数の素子を同時に励起するのみであり、スキャンのソートが可能になります。

振動が励起されるメンブレンのエリアは、センサ上でどの接点 (図12) を制御するかによって決まります。このため例えば、「スキニング超音波測定」では、メンブレンのさまざまなエリアを互いに同位相で振動させることができ、それによって水平音波を異なるポイントで伝送することができます。このように発生した音波は測定中のターゲットに反射し、超音波センサで再び検出されます。

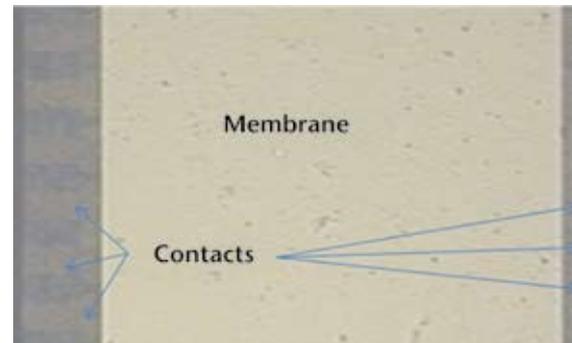


図12: 1 mmの水の層とガラスで覆われた高周波超音波センサの顕微鏡写真

次の9枚の写真(図13~21)では、超音波トランスデューサの中央にある4つのピエゾを励起させたときの結果を示しています。これらの写真では、メンブレン表面の振動が、ピエゾアレイによって、明確に定義されたエリア全体で発生していることが確認でき

ます。105 MHz 前後で振動するメンブレンは、約0.5 マイクロ秒を過ぎた頃に安定します。メンブレンの最大振幅は、図13に示されるとおり、150 pm 強付近です。メンブレンの振動形状を見ると、水の層による強い減衰の結果、メンブレンの真下にピエゾ

があるエリアのみが振動を開始していることが明らかに分かります。またこのメンブレンでは、ほぼ平坦で、同時に空間的に鋭く集束された音波が発生していることが確認できます。

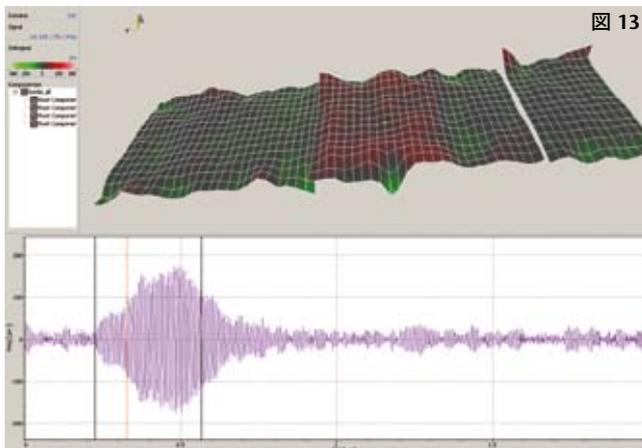


図 13

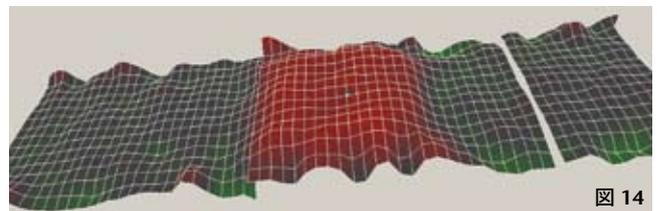


図 14

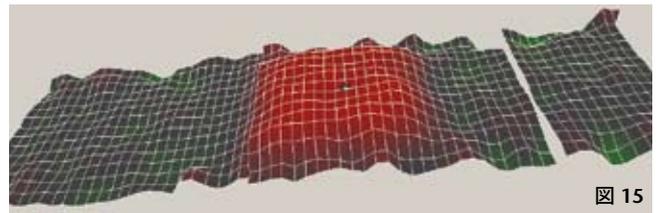


図 15

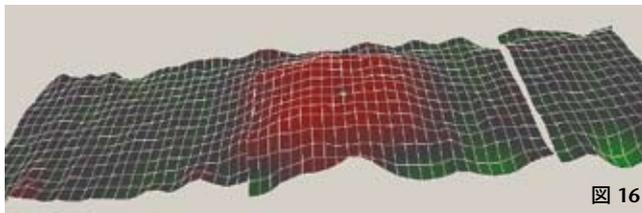


図 16

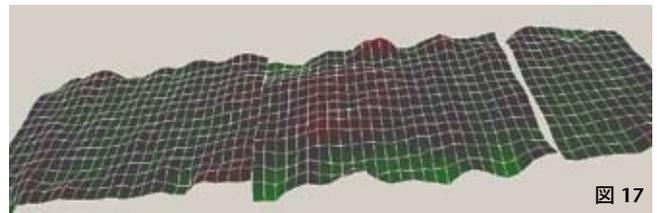


図 17

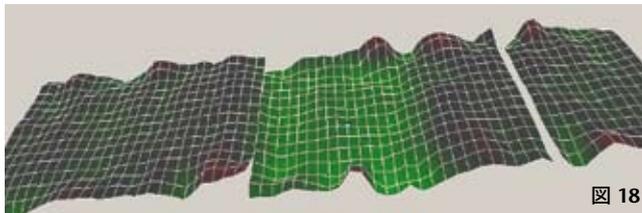


図 18

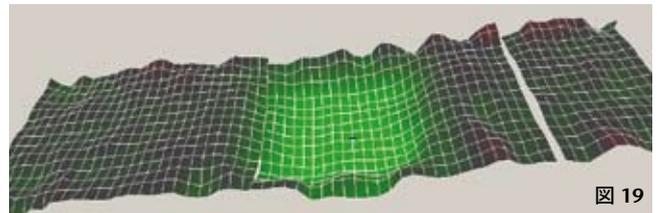


図 19

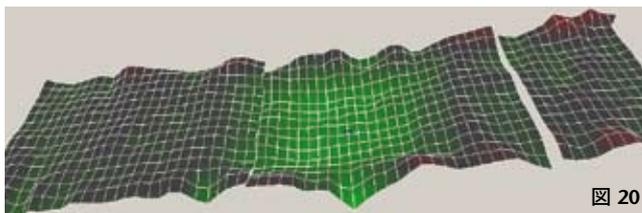


図 20

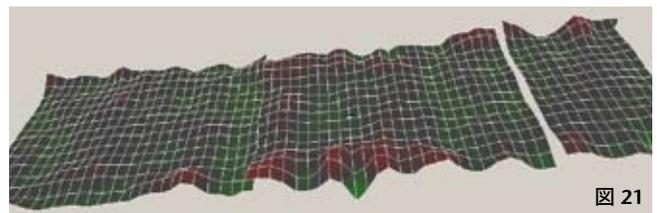


図 21

図13 ~ 21: 高周波超音波センサの振動特性

### IBMTによるデータの解析

水中で測定された面外振動データ<sup>1</sup>に基づき、再度IBMTでは、モデルを使用して発生させた音場を空間的にシミュレートすることが可能になりました。水中での測定データはこうして、シミュレートされた音場に対する現実的な基礎データとして役立てることが可能です。

### まとめ

UHF-120 高周波レーザドップラ振動計では、高周波で振動する構造体の振動特性を、非常に高い精度で比較的容易に測定することができます。また測定データの高い精度とは逆に、測定時間が非常に短いことも、UHF-120の重要な特長であり、特に開発工程において決定的なメリットとなります。

<sup>1</sup> 高周波センサの結果解析では、参照用のデバイスは水中で必ず駆動している必要がありました。光路、つまり光がたどる経路は、屈折率を乗算した幾何学的経路から計算されます。水中の屈折率は  $n = 1.33$  であり、空中の屈折率  $n = 1$  よりも大きくなっています。このため、水中を進む光の光路は、1.33の係数で大きくなります。このとき振動計は、係数1.33の大きすぎる光路で計算してしまうため、振幅値を正確に測定するには、すべての測定結果を1.33で除算する必要があります。ただしこの計算は、シグナル プロセッサの機能によりPSV Software上で簡単に行うことができます。

ます。

IBMTでは、トランスデューサの表面を測定することにより、超音波音場の測定に必要な作業時間の大幅な短縮が実現されています。測定室にノイズセンサを設置して3次元で音場を測定するかわりに、発生した音場を1回以上のスキミング測定と、その後に行うシミュレーションによって特定することが可能となっています。

ポリテックジャパン株式会社  
〒222-0033  
神奈川県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  
info@polytec.co.jp

**Polytec GmbH (Germany)**  
Polytec Headquarters  
Polytec-Platz 1-7  
76337 Waldbronn  
Tel. +49 (0) 7243 604-0  
Fax +49 (0) 7243 69944  
info@polytec.de

**Polytec France S.A.S.**  
Bâtiment Orion – 1<sup>er</sup> étage  
39, rue Louveau  
92320 Châtillon  
Tel. +33 (0) 1 49 65 69 00  
Fax +33 (0) 1 57 21 40 68  
info@polytec.fr

**Polytec Ltd.  
(Great Britain)**  
Lambda House  
Batford Mill  
Harpenden, Herts AL5 5BZ  
Tel. +44 (0) 1582 711670  
Fax +44 (0) 1582 712084  
info@polytec-ltd.co.uk

**Polytec, Inc. (USA)**  
North American Headquarters  
16400 Bake Parkway  
Suite 150 & 200  
Irvine, CA 92618  
Tel. +1 949 943 3033  
Fax +1 949 679 0463  
info@polytec.com

Central Office  
1046 Baker Road  
Dexter, MI 48130  
Tel. +1 734 253 9428  
Fax +1 734 424 9304

East Coast Office  
25 South Street, Suite A  
Hopkinton, MA 01748  
Tel. +1 508 417 1040  
Fax +1 508 544 1225

本アプリケーション ノートおよびUHF-120 超高周波レーザドップラ振動計の詳細については、ポリテックジャパン 営業部までお問い合わせいただくか、[www.polytec.co.jp](http://www.polytec.co.jp)のUHF-120の製品ページをご覧ください。