

MEMS 設計解析ツール

MicroMap 5005

振動・変位測定装置



概要

マイクロマップ5005システムはオプトノア(OPTONOR)社より新たに提供されるレーザー光学計測装置シリーズの一つです。マイクロマップ5005、パイプロマップ1000、TV-ホログラフィーシステムおよびフリンジ・プロジェクションシステムなど多くの計測システムは、同じPCハードウェア(フレームグラバー、周波数発信器etc.)、最先端のソフトウェアモジュール(録画操作、2D&3Dグラフィック、アニメーション表示や最新の記録・表示ルーチン)を使用しています。

マイクロマップ5005はオプトノア社、ノルウェー工科大学および公的研究機関“SINTEF”によって開発された最新式のレーザーシステムです。

この装置はMEMSおよびマイクロストラクチャー等の研究開発に非常にパワフルなツールとして、これらの生産管理及びオンサイトでのテストに容易に適用することができ、振動及び静的変形の2つの機械的定量解析を行うことができます。多くのMEMS及びマイクロスコピックストラクチャーの機能にとって、これらの2つの定量解析は重要となります。

マイクロマップ5005の主な特長：

- 全測定領域のリアル・タイム測定
- 高周波対応 1GHzまで
- 2つの定量解析(振動&変位)を提供
- 非接触、高分解能
- 頑丈なデザイン

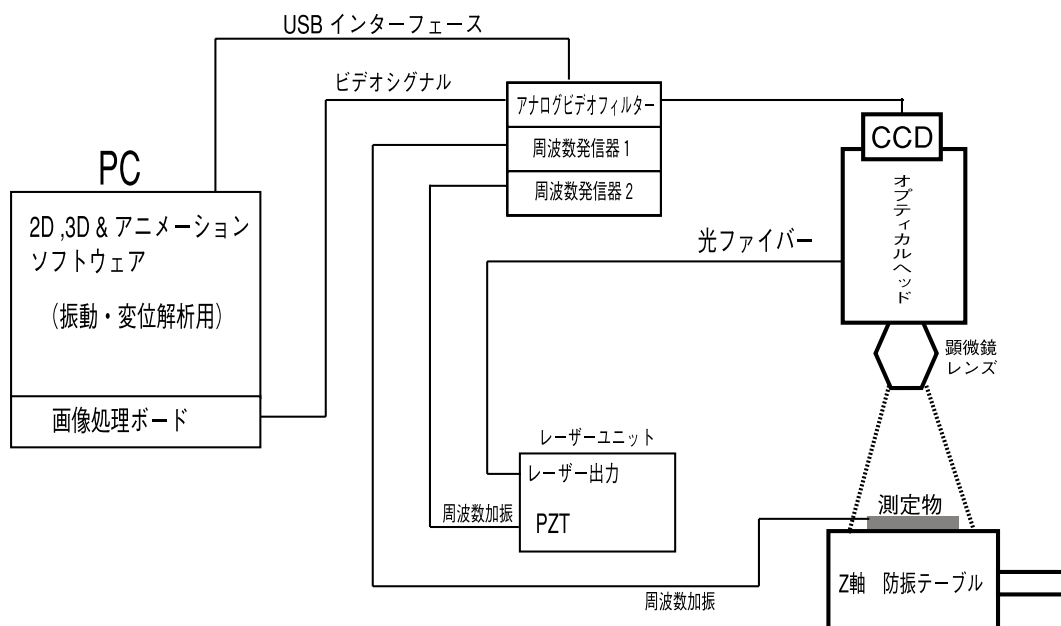


図 1. マイクロマップ 5005 システム構成図

マイクロマップ 5005 光学システム

マイクロマップ 5005 は TV-ホログラフィーまたは ESPI (電子式スペックルパターン干渉法)の技術に基づき、反射光と微小測定物表面の画像を測定するために顕微鏡レンズを使用します。ユーザーはいくつかの測定物を異なる倍率で、100 μm のフル領域測定物サイズからおよそ 3mm のサイズまで調整することができます。多くの TV-ホログラフィーシステムと異なり、マイクロマップ 5005 は、荒い表面および滑らかで反射する表面の両方で使用できるようにデザインされています。焦点は、Z 軸防振テーブル、あるいは MicroMap レンズにより調節されます。

マイクロマップ 5005 の基本的な光学系は、TV-ホログラフィーシステム VibroMap 1000 (1997 年以降製造) に類似しています。

測定物表面から反射された物体光は、顕微鏡レンズを通して CCD アレイ上に映し出されます。参照波は、物体光に沿って結合され、CCD によって検知される干渉縞パターンとなります。CCD カメラは CCD イメージ上で重なる干渉縞と一緒に物体のイメージを捉えます。(図 2 参照)

測定物表面、あるいは測定物表面の一部が z-方向に変化すると、測定物表面のこの一部(変化した領域)から反射された物体光の位相が変化します。この位相変化は、さらに測定物画像の対応する部分の干渉縞に変化を与えます。このように、CCD は測定物の振動及び静的変形の両方を検知することができます。このように、CCD カメラは標準のビデオ規格ですが、後に記述されるように、10MHz もしくはそれ以上の振動まで測定することができます。振動測定および静的変形測定の数値的な解析はコンピューターで参照光の位相を変化させることで可能となります。この位相変調法はマイクロマップ 5005 のコントロール PC に内蔵された周波数発信器で行うことができます。

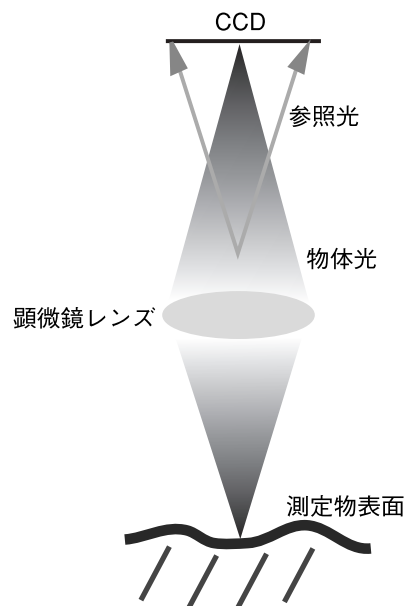


図 2. マイクロマップ 5005 光学系原理

1. 振動測定

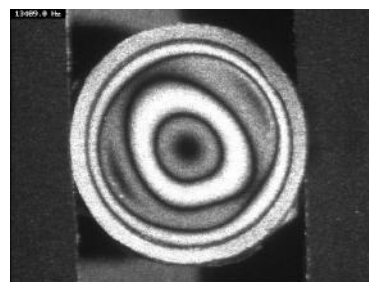
マイクロマップ 5005 は一度に、単一周波数の振動測定を行うことができます。リアル・タイム測定には 40msec の間、また数値解析測定には約 4 秒～20 秒(平均する回数に依存します)の間、振動振幅を一定にし、安定した状態にする必要があります。振動測定モードの場合、マイクロマップ 5005 は時間平均法で測定を行います。CCD カメラは、ほとんどの測定物の振動周波数より遅い反復速度になります。各 CCD フレームのサンプリング周期は、40msec あるいは 33msec でこれは各 CCD フレームがいくつか、あるいは多くの測定物の振動状態を平均することを意味します。測定物画像上に重ねて表示された干渉縞の断面は、測定物の振動レベルに同期します。そして、ビデオ信号の処理により、振動振幅および振動位相分布の両方の情報を得ることができます。

1.1 リアル・タイム測定

リアル・タイム測定において振動振幅は、イソ型振幅フリンジとして測定結果画像が表示されます。

各フリンジはベッセル関数より計算された既知の振幅値を表わします。これらのフリンジはPCスクリーン上にリアル・タイムで表示され、振動状態が表示されている間、測定物加振を希望の振動周波数範囲で、走査することができます。リアル・タイム・モードでは、測定物が一回に1つの周波数で振動する限り、マイクロマップ5005用の周波数発信器が内蔵されたPC、あるいは任意の加振ソースより、測定物を連続して振動させることができます。リアル・タイム振動モードは以下のような測定に対して優れています。

- 共振周波数および共振モードの検知
- 品質評価 (Q ファクターテスト)
- メンブレンの欠陥検知
- 測定物の力学的挙動の研究 等



リアル・タイム測定での周波数範囲は30Hzから無制限で、振動振幅範囲はピーク to ピークで約80nmから5 μ mです。

リアル・タイム測定では、マイクロマップ 5005 は、振動振幅を位相変調法で表示することができます。これは測定物表面の異なるエリア内で振動位相値に基づき、振動振幅フリンジがゆっくり動くというテクニックです。位相変調法が使用される場合、リアル・タイム測定は約1nmまでの振幅で使用することができます。しかし、周波数範囲は数値解析振動測定モードと同じ周波数範囲に制限されています。位相変調法は、測定物が静止している場合の振幅フリンジだけと比較して、どのように振動しているかについての詳細な情報を提供します。

1. 2 数値解析振動測定

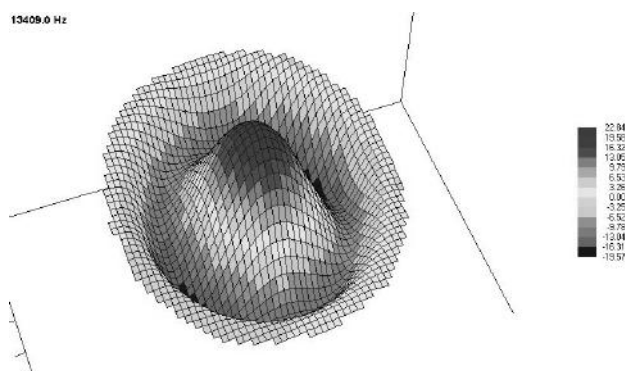
数値解析振動測定操作を使用する場合、周波数は、レーザー・モジュール内の位相変調ユニットより制限されます。マイクロマップモデル5005 VM-100Kは、最大周波数が100KHz、また最大周波数が1GHzの場合、マイクロマップモデル5005 VM-1Gとなります。数値解析測定のための振幅範囲はピーク to ピークで数nmから80nmとなります。

数値解析振動測定では、測定物の振動加振はマイクロマップ5005用PC内部のシグナル発信器よりコントロールする必要があります。収録時間は平均化の回数に依存しますが、シングル周波数の測定で、4秒から数分の時間が必要です。数値解析操作から出力されるデータは、振幅&位相マップ、測定物表面全体の振幅&位相の数値マップです。これらの2枚のマップ(結果イメージ)はすべての振動位相値0-2 π までの表面の分布を表示するために組み合わせることができます。分布、振幅あるいは位相値は、2Dプロット、3Dプロットおよび断面図プロットとして表示することができます。コンピューターはスローモーションで表面の振動を示し、アニメーションを計算します。ユーザーは、結果イメージ中のすべてのポイントから振幅値、位相値および変形値を直接読むことができます。

数値解析振動測定は以下のような用途に優れています。

- シンプルおよび複雑な振動モードの詳細な研究
- 振動振幅 vs 周波数応答カーブのテスト
- 低振幅での振動モード検知

数値解析の手続きは連続した画像の収録に基づいています。マイクロマップ5005の内部の参照波は、測定物表面の振動振幅および位相分布の計算に必要な情報を得るため、収集したそれぞれのイメージに対して位相変調されます。



数値解析振動測定は測定物をマイクロマップ5005内蔵の周波数発信器以外の信号で加振させた場合も実施することができます。この場合は加振信号に対しその周波数(位相)と振幅の高い安定性が要求されます。詳細はお問い合わせ下さい。

2. 静的変形測定

マイクロマップ5005は、2つの異なる方法で、即ちリアル・タイム測定あるいは数値解析位相シフトテクニックによって静的変形を測定することができます。これらの2つのテクニックはリアル・タイムでモニターされた変位フリンジとしばしば組み合わせて使用されます。また、測定物の測定開始から終了までの静的変形量の合計は測定後で数値的に計算されます。

CCDカメラは毎秒25フレームあるいは30フレームの標準ビデオ規格を持っているので、標準マイクロマップ5005は非常に高速でランダムな測定物の変形をモニターすることができません。CCDカメラのサンプリング周波数(毎秒フレーム数)は、測定物速度および静的変形のランダム変形の測定に対する限界要因となります。連続的に静的変形をモニターするためには、測定物の速度が毎秒50nm以下でなければなりません。

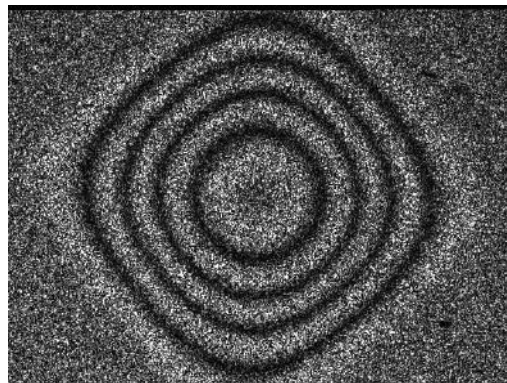
マイクロマップ 5005 は、測定中自動で測定物の絶対変形量の測定はしません。表面上すべての点の変位は、連続する表面上の他の点に対して相対的に測定されますが、測定物全体の変位がピストン運動のような場合はPCによる自動測定はできません。

しかしながら、このような変位の場合は、スクリーンを通過したフリンジの数を手動でカウントすることで測定できます。絶対的な変位量値は、MEMSおよび他の構造の変位測定において必ずしも重要ではありません。もし、測定された表面の一部が変位しない場合（エッジ、フレーム等）は、絶対変位量を表面全てのポイントで直接測定することができます。マイクロマップ5005による静的変形の測定アプリケーションとしては、熱膨張変形あるいは内外部のガス圧変化による変形等があります。

2. 1 リアル・タイム測定

リアル・タイム静的変形測定操作で、コンピューターは、変位振幅に相当するフリンジを測定物表面に重ねて表示します。フリンジパターンは、毎秒25フレームあるいは30フレームで更新されます。2つの暗い近接したフリンジ差はレーザー波長の半分に相当します（約0.25 μm ）。

測定を開始するとコンピューターはメモリに参照画像を取り込みます、そしてCCDカメラからの画像が、収録された参照画像からリアル・タイムで差し引かれます。変形フリンジを含んだ測定結果画像をPCスクリーン上に表示します。もし多くのフリンジが測定結果の画像上で発生した場合、ユーザーは参照画像を更新したいかもしれません。これは、マウスを使用して、ボタンを押すことにより可能で、新しい測定を直ちに始めることができます。



2. 2 位相シフト静的変形測定

位相シフトで数値解析変位量値は測定物表面上のすべての点で計算されます。

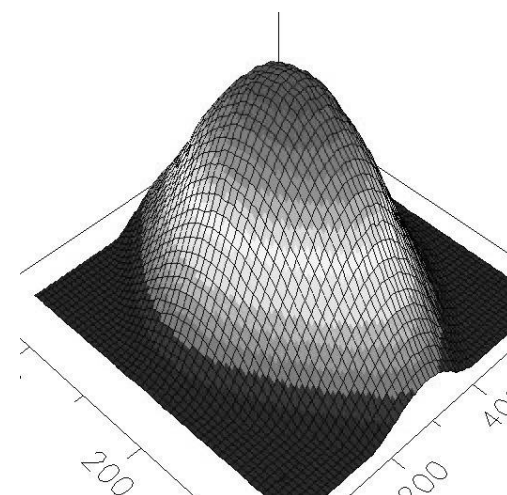
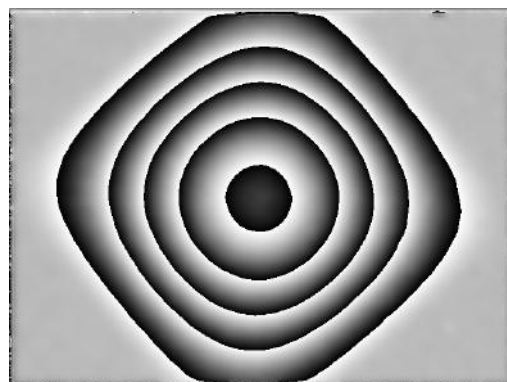
位相シフトは測定物変形前の4つの画像、さらに変形後の位相シフトされた4つの画像の収録に基づいています。

位相シフトされた画像とは、各々画像間で参照波の光学的位相をシフトさせた画像を意味します。4つの位相シフトされた画像（変形後 or 変形前）の収録には約0.5秒の時間を要します。この測定の間、測定物表面は約50nm以上動いてはいけません。

位相シフト変形測定が終了後、コンピューターは表面上すべてのポイントで、連続する表面の他のポイントに対する変形量を計算します。変位量は2Dおよび3Dプロットあるいは断面プロットとして表示することができます。変位量値は表面上のすべてのポイントで得られます。典型的な位相シフト変位収録は以下のように実行されます。

測定物が変形する前の動かない間に、最初の4つの位相シフトされた画像が収録されます。その後、マイクロマップ 5005がリアル・タイムで静的変形フリンジをモニター表示している間に測定物が変形します。最後に、測定物の変形が終了して安定した後、次の4つの位相シフトされた画像が収録されます。測定物表面上の各々のポイントで表面変形が計算され、その結果が要求された表示されます。

また、オプトノア社では40秒間までにわたる変位測定と数値解析を可能とするソフトウェアモジュールの開発提供もしております。このオプション・ソフトウェアで、マイクロマップ5005は測定物表面の変形量をアニメーションとして表示します。このアニメーションは2Dまたは3Dのプロットとして変形量を表示することができます。



SystemCom

Optonor 社 国内総代理店
有限会社 シスコム

〒171-0014 東京都豊島区池袋4-27-5 和田ビル
TEL:03-6907-9105 FAX:03-6715-8740
E-mail: syscom@tokyo.email.ne.jp