

# 高性能光マイクロ

High Performance Displacement Meter

UDC 531.716./717.8: 681.7.096.24

原 久夫	Hisao Hara	産業機械事業部 第2開発部
松丸 憲司	Kenji Matsumaru	産業機械事業部 システム技術部
近藤 秀人	Hideto Kondo	産業機械事業部 システム技術部
濱野 信治	Shinji Hamano	産業機械事業部 第2開発部
田沼 敦郎	Atsuro Tanuma	産業機械事業部 第2開発部
大森 浩二	Kouji Ohmori	産業機械事業部 第2開発部

## 1 まえがき

光マイクロに代表されるレーザ変位計は、ウェーハ・ディスク・液晶用ガラスなどの厚み・反り測定、QFPのリード浮き測定など、高精度が要求されるマルチメディアに関連した市場において、部品の製造、検査工程で使用されてきた。

この間に、レーザ変位計は、サンプリング周波数が50kHzの時代に入り、より高速のものが市場から要求されるようになった。そこで、高精度というKL13Xシリーズ光マイクロ(以下、従来機と呼ぶ)<sup>1)2)</sup>の特長を継承し、応答性を向上させた高性能光マイクロを後継機として開発した。高性能光マイクロでは、直線性の高精度化「 $\pm 0.03\% \times$ 測定範囲」(従来機では $\pm 0.05\% \times$ 測定範囲)、および、サンプリング周波数の高速化「64kHz」(同16kHz)を実現した。なお、以前からサンプリング周波数が400 kHzの高速光マイクロ<sup>3)</sup>を市場に投入しているが、高速光マイクロは照射するレーザの強度を一定にした無変調タイプの変位計であるのに対し、高性能光マイクロは照射するレーザ光の強度をサンプリング周波数で変化させている変調タイプの変位計で、周囲光の変動による影響を受け難いという特徴を有する。従来機では、表示機能のないセンサヘッド+センサ処理部の組合せでシステムに搭載されることが多かった。高性能光マイクロでは、この点を考慮し、システム用センサとしての使いやすさを追求した新たな形態を提供している。一方、表示部ではタッチスイッチ付き液晶ディスプレイを採用し操作性の向上を実現した。図1に高性能光マイクロの外観を示す。(a)はKL1300B センサヘッド、(b)はKL 2300A センサ処理部、(c)はKL 3300A 表示部である。



(a) KL1300B センサヘッド



(b) KL2300A センサ処理部



(c) KL3300A 表示部

図1 高性能光マイクロの外観  
New displacement meter

## 2 構成・測定原理

### 2.1 構成

高性能光マイクロは、図2に示すように、センサヘッド・センサ処理部の構成、または、センサヘッド・表示部の構成で使用できる。センサヘッドとセンサ処理部または表示部間のケーブル長は2.8mである。センサヘッドは6機種有り、3機種(KL1300B, KL1301B, KL1302B)は、鏡面の測定が可能な、分解能が高い正反射タイプ(斜め入射の正反射光を受光するタイプ)のセンサヘッドであり、他の3機種(KL1303C, KL1305C, KL1307C)は測定範囲の広い散乱タイプ(垂直入射で散乱光を受光するタイプ)のセンサヘッドである。

### 2.2 測定原理

図3に高性能光マイクロのブロック図を示す。半導体レーザーから放射された光を投光レンズで細く絞り、測定対象に照射すると測定対象の表面に光スポットができる。光スポットから反射し、または、散乱した光を受光レンズで集光しポジションセンサー上に光スポットの像を作る。この像は測定対象が変位するとポジションセンサー上を移動する。ポジションセンサーからは像の位置と明るさに対応した電流が出力される。この出力電流を電圧変換し和と差の信号を作り除算し



図2 高性能光マイクロの構成  
Configuration of new displacement meter

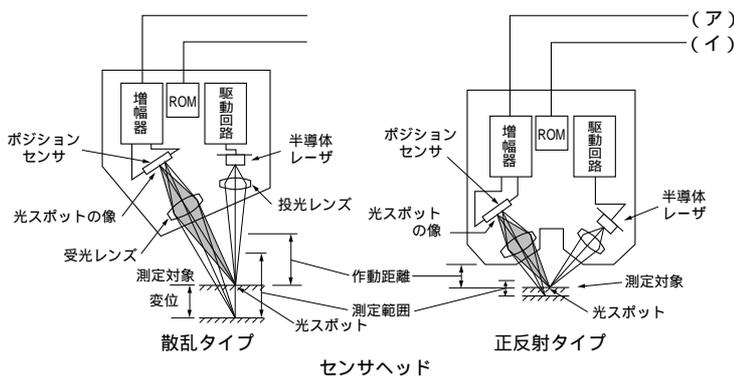


図3 KL13XXシリーズ光マイクロブロック図  
Schematic diagram of KL13XX displacement meter

て、補正処理を施すと測定対象の変位を検出することができる。

## 3 特長

高性能光マイクロには以下に述べる特長がある。

### (1) 応答性/精度の向上

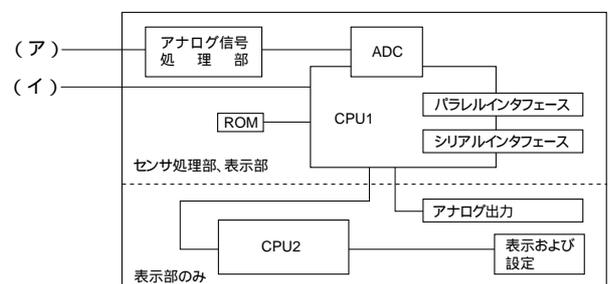
高性能光マイクロでは、従来機を上回る高速応答性・高精度を実現している。通常、応答性をあげると処理系の帯域が広がるため、繰返し性は悪化する。高性能光マイクロでは処理系の帯域を広げているが、ノイズを低減することにより、同じ出力周期で比較したとき従来機と同等の繰返し性で測定が可能である。高精度化は光学系、受光処理系の最適化設計、直線性補正装置の精度向上により実現している。

### (2) モジュール性の向上

センサヘッドと、センサ処理部または表示部との組合せが自由に出来る。センサ処理部、表示部は全機種共通になり、センサヘッドは機種、機番に関係なく、どのセンサ処理部、表示部とも接続可能である。これは、センサヘッドに直線性補正データなどセンサヘッド固有の補正値を書き込んだROMを、また、センサ処理部・表示部にセンサ処理部・表示部固有の補正値を書き込んだROMをそれぞれ組み込むことにより実現しており、センサ処理部、表示部との組合せを変更しても性能が維持できるようになっている。

### (3) 可視光光源

光源は可視光である。従来機では、不可視タイプ、可視タイプの2種類を用意していた。これは、可視レーザーでは不可視レーザーに比べ絶対定格温度が低く、使用温度範囲の上限を低く設定せざるをえなかったためである。今回、センサヘッド内のLDの温度上昇を抑制することにより、可視タイプに一本



化しても、使用温度範囲が従来機の不可視タイプと同一の0～45℃で寿命を従来機と同等にすることができた。また、正反射タイプにおいては、従来、レーザの安全レベルがクラス3Bのタイプを用意していたが、高性能光マイクロでは、センサヘッドからの出射パワーを、クラス2の制約の範囲内で従来機に比べ数倍上げたので、従来のクラス3B正反射タイプセンサとほぼ同等の性能で測定可能になっている。

(4) 使いやすさの向上

センサ(センサヘッド+センサ処理部)には、次に示すような工夫を加えることにより、使い易くしている。

(a) センサヘッド

- ・筐体の構造はIP60(JISC0920による耐じん形)であり耐環境性が向上している。
- ・基準面に対する測定点の位置のバラツキが小さい。  
従来機では基準面に対する測定点の位置のバラツキが±0.5mmであった。高性能光マイクロではこのバラツキを±0.1mmと小さくしている。光マイクロを組込むシステム側に基準面を設けることにより、容易にセンサヘッドの交換ができるようになった。
- ・散乱タイプの光マイクロ(KL1303C, KL1305C, KL1307C)では投光、受光レンズに保護フィルタを設けている。保護フィルタが損傷を受けたときには、性能を損なうことなく現地に交換可能である。

(b) センサ処理部

- ・LEDによる7段階の光量モニター、5段階の変位出力モニターを新たに設けているので、LEDを見ながらセンサヘッドの位置合わせができる。従来は、処理部の出力をシステム側で取り込み、変位と受光量をシステム側で表示して、その表示を見ながら位置合わせを行う必要があった。
- ・キースイッチ付きであり、センサにてレーザ安全の規格、基準を満足している。
- ・シリアルインターフェースを標準装備しており、パソコン等との接続が容易である。
- ・AC100V、200V系の商用電源で動作する。従来、電源は±15V、+5Vの3種類必要であり、電源を別途、用意しなければならずシステム側にとって負担であった。
- ・センサ処理部、表示部のコネクタを共通化したので、センサ処理部を組込んだシステムにおいては、センサ処理部を設定機能がある表示部に入替えて、容易に動作確認や保守を行うことができるようになった。

- ・入出力のコネクタを背面に集めているので、ラック等への組み込が容易である。従来、センサ処理部では入力コネクタと出力コネクタが対向する面にあったため、複数台をラックに収納するときには配線がし難いという問題があった。

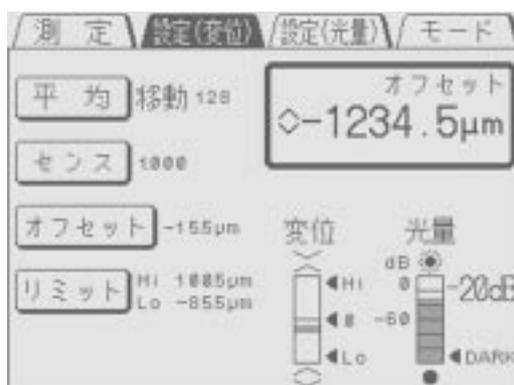
(5) マンマシンインタフェースの操作性向上

図4に表示部の画面を示す。

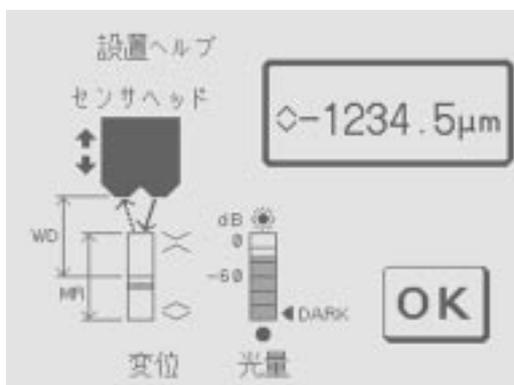
図4(a)は測定画面、図4(b)は変位に関する設定画面であり、図4(c)はHELP画面である。画面は測定画面と設定画面とに分



(a)



(b)



(c)

図4 表示部の画面  
Display of displacement meter

け、設定画面は、さらに、変位に関する設定項目をまとめた画面と、受光量に関する設定項目をまとめた画面に分けている。測定画面・設定画面は、インデックスに指をふれることによりワンタッチで選択できる。測定画面には、測定中に用いるボタンを配置するとともに、測定に関わる受光量などの情報を表示しているため、測定状態が容易にわかる。設定画面には、設定値のみならず設定に必要な受光量、変位出力等の情報を同一画面に入れているため、測定状態を参照しながら設定できる。また、センサヘッドの位置合わせを行う際に有効なHELP画面を用意している。HELP画面では、センサヘッドの設置がし易いように、表示内容をセンサヘッドと関連づけて表現した。

#### (6) グローバル対応

レーザ安全に関してはJISC6802, IEC825, FDAの規格、規則に準拠した対応を施している。また、EMC指令、低電圧指令などEC指令に示される安全規則に適合しており、CEマーキングの貼付を行っている。表示部の画面は背面のディスプレイで英文に切り替えられる構造になっている。

## 4 互換性

高性能光マイクロの性能、機能は従来機に対し上位互換になっている。インターフェースなど、性能・機能以外の項目については、互換性を以下のように考慮している。

#### (1) パラレル出力について

- ・設定や出力方式は従来機とほぼ同等である。
- ・サンプリング周波数が4倍になっているので、平均回数に対する出力周期が異なるが、平均回数を4に設定し、処理時間を一致させると、従来機と同等に利用できる。
- ・入出力信号レベルは、TTLレベルで、3.3k プルアップ(+5V)抵抗を設けており、従来機とほぼ同等である。
- ・従来機の表示部では、DATA-1, -2, -3の3つのコネクタに割り当てていた信号を、68ピンのハーフピッチコネクタ1つにまとめた。コネクタは従来機と異なるが、変換ケーブルにて互換性をとることが可能である。

#### (2) センサヘッドの取付穴位置について

高性能光マイクロのセンサヘッドの寸法は従来機に比べ小さくなっている。置き換えには、センサヘッドの種類により1箇所または2箇所の穴位置変更が必要になる。センサヘッド取付けアダプタを用いると、装置内のセンサヘッド取付板に新たに取付穴を加工することなく、センサヘッドの変更が可能

となる。また、装置に組み込まれている従来機のセンサヘッドの交換が可能となる。

(3) センサ処理部の大きさ、および、取付穴は従来機のセンサ処理部と同じである。

(4) 表示部は小型化しており従来機の表示部のスペースに設置することができる。また、ラックマウントキットを用意している。

## 5 性能

高性能光マイクロの仕様を表1に示す。

光マイクロによる測定精度は直線性、繰返し性、安定度などにより生ずる誤差で決まる。測定誤差は一般に以下のように表せる。

$$\text{測定誤差} = \text{直線性} + \frac{\text{繰返し性}}{N} + \text{安定度} + (\text{表面状態による出力変動} + \text{測定対象の傾きにより生ずる誤差})$$

N: 平均回数

表面状態による出力変動は、測定面が粗面のときに表れる出力変動であり、測定面が鏡面のときには考慮する必要がない。測定対象の傾きにより生ずる誤差は、形状測定などのように、傾斜する測定面を測定するとき考慮しなければならない誤差であり、ディスクなど、測定面を傾けずに測定するときには考慮する必要がない。また、平均回数(N)を大きく、測定時間を長く取れば、繰返し性を向上させることができるが応答周波数は1/Nに低下する。段差測定など短時間の測定、および、校正の間隔を短くして測定するときには安定度は無視して考えることができる。以下、直線性、繰返し性、安定度、表面状態による出力変動、測定対象の傾きにより生ずる誤差、および、応答性について述べる。

### 5.1 直線性

測定対象の実際の変位と光マイクロの測定値との差のことである。図5(a)にKL1301B光マイクロの直線性を示す。KL1301Bにてミラーの直線性を測定したデータである。測定対象を移動台に載せ移動させた時の移動量と測定値を記録した。横軸は測定対象の変位、縦軸は誤差(光マイクロの出力 - 測定対象の変位)である。直線性が規格「 $\pm 0.03\% \times \text{測定範囲}$ 」を満たしているのが分かる。KL1303Cにて白色塗装面を測定すると直線性は「 $\pm 0.05\% \times \text{測定範囲}$ 」である。直線性データを図5(b)に示す。なお、移動台の変位は、正反射タイプでは干渉計により、散乱タイプではリニアスケールにより求め

表1 高性能光マイクロの主な仕様

Specifications of KL13XX displacement meter

項目	KL1300B	KL1301B	KL1302B	KL1303C	KL1305C	KL1307C	
測定範囲(MR)	160 μm	400 μm	1600 μm	5mm	20mm	80mm	
作動距離	8mm	10mm	15mm	25mm	56mm	105mm	
精度	繰返し性(平均回数：512)	± 0.008 μm	± 0.02 μm	± 0.08 μm	± 0.2 μm	± 1 μm	± 4 μm
	直線性	± 0.03 % MR			± 0.05 % MR		
	安定度(± 5 )	± 0.05 μm	± 0.12 μm	± 0.48 μm	± 2.5 μm	± 10 μm	± 40 μm
		± 0.2 % MR		± 0.1 % MR	± 0.03 % MR		
応答性	サンプリング周波数	64 kHz (サンプリング周期：15.625 μs)					
	応答周波数	20 kHz (-3dB)					
	応答時間	0.1 ms (90% 応答)					
入力出力	パラレル 入力	測定条件 (平均回数, ZERO, SENSE, HIGH / LOW LIMIT, DARK LEVEL) 設定値, 測定項目の選択, 測定指令, レーザ発光					
	出力	変位：16bit 負論理, 受光量：8bit, アラーム：8bit					
	シリアル	RS-232C (通信速度：2400, 4800, 9600, 19200bps), 9pin コネクタ					
	アナログ(表示部のみ)	20 μm/V	50 μm/V	200 μm/V	0.5mm/V	2mm/V	10mm/V
使用温度・湿度	0 ~ 40			0 ~ 45			
	30 ~ 85 % RH(結露なきこと)						

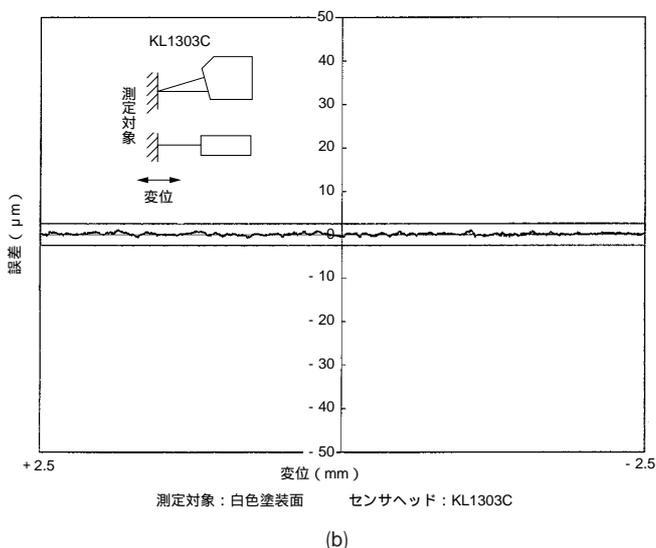
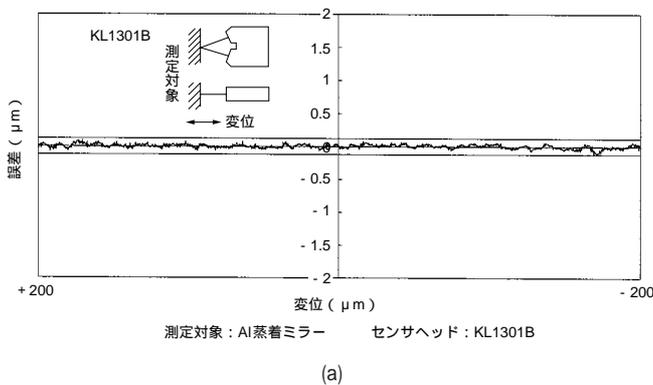


図5 直線性試験データ  
Linearity test data

ている。干渉計の分解能は0.6nmである。

### 5.2 繰返し性

センサヘッドと測定対象との位置が変わらないようにして、測定したときの短い時間での測定値の変動のことである。受光量が多いと繰返し性は小さくなり、精度の高い測定が可能になる。受光量が少なく繰返し性が大きいときには、複数個の測定値を平均することにより繰返し性を向上させることが出来る。KL1300Bの繰返し性を求めると、実測値は平均回数1回するとき±0.03μm(3 )である。

### 5.3 安定度

周囲温度変化に対する光マイクロの測定値の変動のことである。光マイクロと測定対象とを10mmの鋼板で固定し周囲温度を変化させて測定している。図6にKL1300Bの安定度を示す。5 の温度変化での出力変化は0.3μm以下であることが分かる。システム機器に光マイクロを取付ける場合は、取付けフレームの材質・構造に起因する安定度、および、移動



図6 KL1300Bの安定度データ

Stability test result of KL1300B displacement meter

台の安定度などを別途考慮する必要がある。

#### 5.4 表面状態に依存する出力変動

レーザ変位計にて変位を測定すると、測定箇所の粗さなどの表面状態により、受光素子上の光スポットの像の強度分布が影響を受け、測定箇所に依存した出力変動となって変位出力に重畳してくる。この出力変動を表面状態に依存する出力変動と表現している。この出力変動は散乱面を測定するとき生じ、変動の大きさは測定面の状態により異なるが、測定対象を移動させながら平均化機能を使用して測定すると、測定値が空間的に平均化され、表面状態に依存する出力変動を小さくすることができる。図7はモーターに取付けた円板の振れをKL1301Bにて測定したデータである。図7 (a)には、円板の偏芯、振れによる出力変動に10 $\mu$ m程度の表面状態に依存する出力変動が重畳しているのが観測される。図7 (b)は64回の平均化をかけて測定したデータである。表面状態に依存する出力変動が低減されているのがわかる。

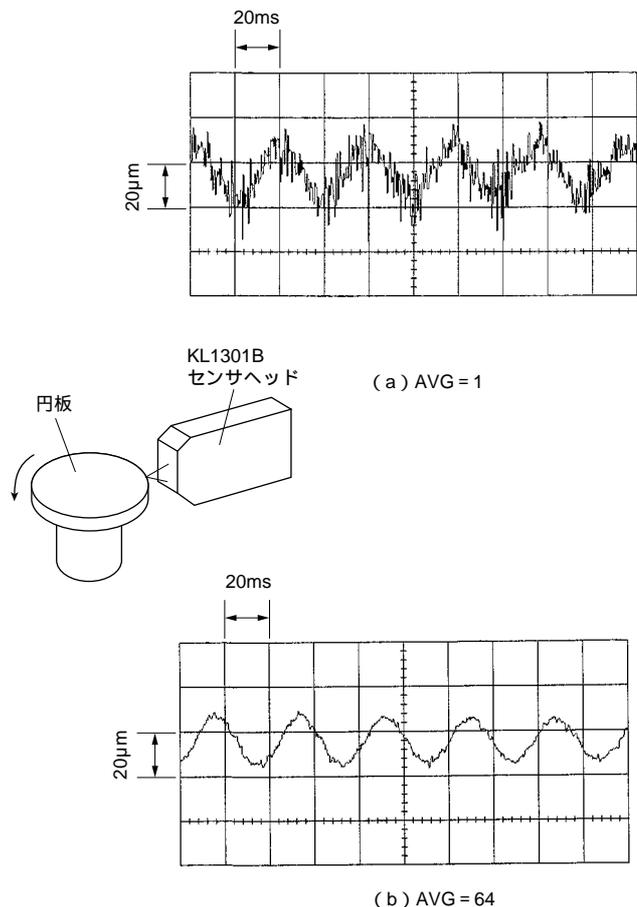


図7 回転円板の振れ測定(KL1301Bにて測定)  
Measurement of rotating disk (using KL1301B)

#### 5.5 測定対象が傾いたときの出力変化

ミラー表面に一致させた回転軸と、KL1301B光マイクロの測定点とを合わせ、ミラーを傾けたときの出力変化を記録したものが図8である。KL1301Bにおいては $\pm 1^\circ$ の傾きで、出力変化は傾ける方向により異なり、0.3 $\mu$ mと0.4 $\mu$ mであった。回転機構にはエアベアリングを使用し測定した。エアベアリングによる回転誤差は0.1 $\mu$ mである。

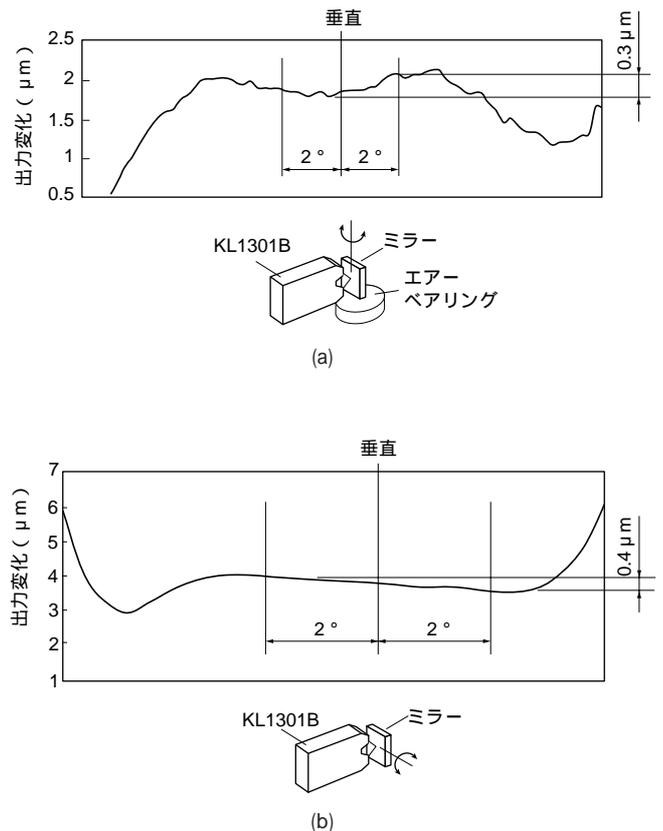


図8 標準試料が傾いたときの出力変化  
Error caused by slant of standard object using KL1301B

#### 5.6 応答性

応答周波数は、測定対象の位置が高速に変動する場合の追従可能な周波数のことであり、正弦的に振動する測定対象の振幅が約70% (-3dB)に減衰して測定されるとき周波数である。図9 (a)は断面形状が矩形形状をした85 $\mu$ mの段差のついた円盤を、低速で回転させたときと高速で回転させたときの出力波形を記録し振幅を比較したものである。矩形波の周波数が13.3kHzのときに段差が82%に減衰して測定されている。応答周波数は主に処理系のフィルタ特性で決まる。高性能光マイクロに組み込まれているフィルタのカットオフ周波数は20 kHzであり、高性能光マイクロの応答周波数は20 kHzである。測定データに観測される細かな段差の幅はサンプリン

グ周波数に相当する。段差の幅は15.625  $\mu$ sである。サンプリング周波数は、測定を1秒間に何回行うかを示す。高性能光マイクロではサンプリング周波数は64kHzである。図9 (b)に、高性能光マイクロ、従来機および高速光マイクロのフィルター特性から求めた周波数特性の比較を示す。

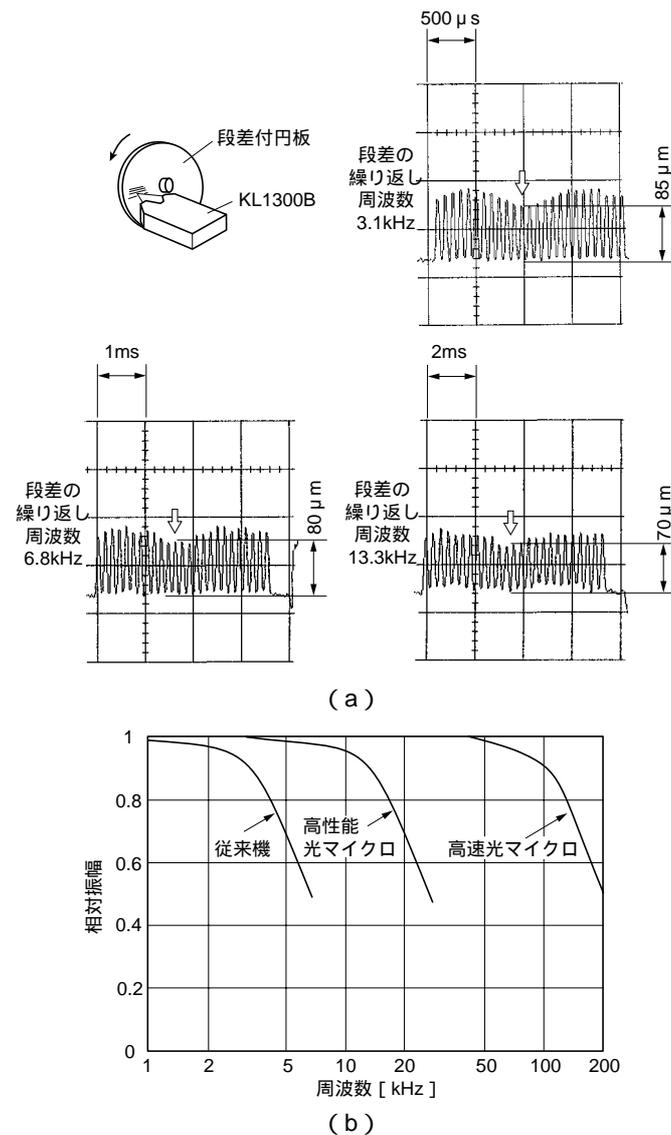


図9 周波数応答  
Frequency response : wave form at measurement of rotating disk with steps

## 6 新たに加わった機能

高性能光マイクロでは、従来機が有するゼロセット、上下限值設定、センス、P-P検出などの機能に加えて、以下の機能を追加している。

### 6.1 移動平均

高性能光マイクロでは単純平均機能のみならず、移動平均

機能を標準装備している。単純平均の出力周期はサンプリング周期×平均回数であり、ある一定時間の平均値を求めるときに有効である。一方、測定面の表面粗さの影響を受けずに測定対象の変位を測定したいときなどのように、高周波の出力変動を除去したいときには、出力周期を小さくしたまま平均回数を上げることができる移動平均が有効である。シリンダなどの回転体の振れを測定すると、振れの成分に測定対象の表面状態による出力変動が重畳されてくる。移動平均機能を用いると、表面状態による出力変動を除いた振れ成分のみを取り出すことが可能となる。

### 6.2 半自動測定(受光系アンプのゲイン追従機能)

受光系アンプのゲイン設定に関する機能であり、測定対象のレーザに対する反射特性の変動幅が広く、受光量レベルのオーバーアラームが発生したときに、ゲイン設定値を1段、自動的に下げる機能である。従来機では、測定対象に合わせてゲインを設定していた。そのため、測定対象の受光量を予めチェックしてゲインを設定することが必要であった。高性能光マイクロではゲインを高めを選択しておく、高すぎるときには、測定対象に合わせてゲインを自動的に下げるので、ゲイン設定を気にせずに測定できることになり、使いやすくなっている。なお、高性能光マイクロにはON/OFFの選択が可能な10倍程度のAGC(オートゲインコントロール)機能が装備されているが、AGCは、受光量の変化が変調周波数に近くなると追従しきれず、受光信号レベルのオーバーアラームが頻発し測定できないことがある。半自動測定モードは、受光量が高速に変化するときにも使用可能である。

## 7 周辺機器

高性能光マイクロの周辺機器の主なものを以下に示す。測定スタンド、厚み測定スタンドは従来機のもので使用可能である。



図10 測定点モニターユニット  
Measuring point monitor system

### 7.1 モニタ装置

図10は測定箇所モニタ装置の外観である。表示部の左側にファイバー照明装置、その上にカメラコントロールユニットが有る。モニタ画面上で、測定箇所を120倍に拡大して観測することができる。

### 7.2 データ収録ソフト

光マイクロの平行インタフェースからマイクロソフト社のEXCELのワークシートに測定値を取り込むためのソフトである。EXCELに追加組込みすることにより、EXCELのメニューからこの機能を選択することが出来る。光マイクロの測定条件もこの機能から設定することが可能である。2台の光マイクロの出力を取り込み、厚み演算をするソフトも用意している。

## 8 測定例

高性能光マイクロを使用した測定例を以下に示す。

### 8.1 ディスクの反り測定

図11はKL1300B光マイクロでディスクの中心から外周までの半径方向の反りを測定したデータである。使用した移動台の真直度は $0.2\mu\text{m}$ 以下である。ディスクの反りが $0.5\mu\text{m}$ であることが分かる。

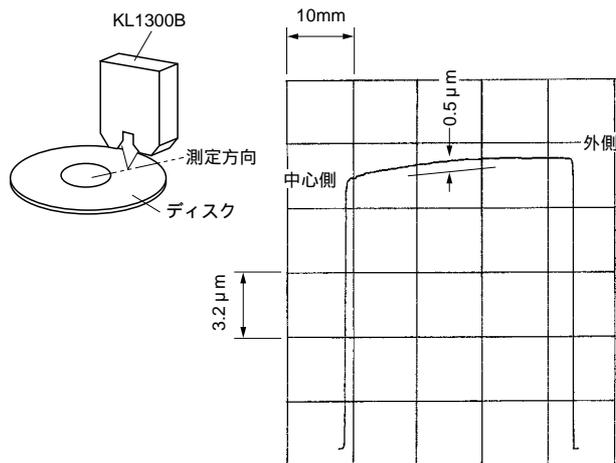


図11 ハードディスクの反り測定(KL1300Bにて測定)  
Profile of disc (using KL1300B)

### 8.2 形状測定

図12はKL1303Cにて携帯電話の断面形状を測定したデータである。横軸は $10\text{mm}/\text{div}$ 、縦軸は $0.5\text{mm}/\text{div}$ であり、横軸に対し縦軸を20倍に拡大して記録したデータである。筐体の曲面に沿ってボタンが配列されている携帯電話の表面形状が測定できている。ボタン面にある数字の凹みも測定で

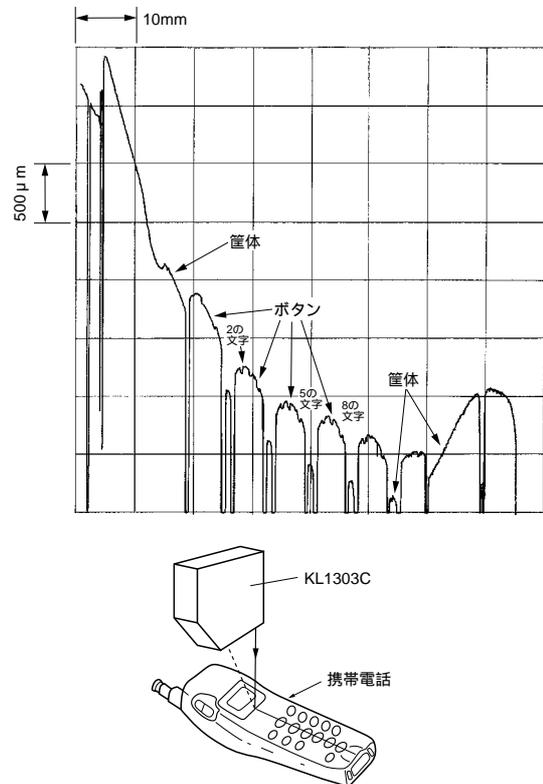


図12 携帯電話の形状測定(KL1303Bにて測定)  
Profile of portable phone (using KL1303C)

きているのがわかる。筐体はメタリック処理された光沢のあるものである。

## 9 まとめ

高性能光マイクロは直線性「 $\pm 0.03\% \times$ 測定範囲」の高精度化、サンプリング周波数「 $64\text{kHz}$ 」の高速化を実現した。また、性能の向上のみならず、センサヘッド、センサ処理部、表示部の組合せを自由にするなど、使いやすさを追求した。光マイクロはマルチメディアに関連する機器に使われる部品の測定に導入されている。これらの部品に要求される精度は年々厳しくなっており、サブミクロン～ナノメートルオーダーの精度要求がでてきている。今後、これらの要求の実現に貢献していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) 松丸, 近藤, 武田, 田沼: 高速, 高精度レーザ変位計 (KL13Xシリーズ光マイクロ) アンリツテクニカル57号 (1989. 3)
- 2) 松丸: 光マイクロによる非接触変位測定 vol. 35 (1990. 7)
- 3) 市川, 近藤, 大森: 高速応答変位計, アンリツテクニカル54号 (1987. 9)