



Title	液晶電気光学効果を用いたナノスケール測長器とその応用
Author(s)	吉野, 勝美; 小林, 潤也; 大藁, 敏雄 他
Citation	電気材料技術雑誌. 2005, 14(1), p. 56-61
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/76786
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

液晶電気光学効果を用いたナノスケール測長器とその応用

吉野 勝美、小林 潤也、大藺 敏雄、桑原 定明

大阪大学先端科学イノベーションセンター
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

液晶の電気光学効果を使って位置の精密測定、制御を行う新しい方法を考案し、開発に成功した。これはナノスケールまで適用でき、かつ高速で、様々な分野で応用可能である。実際にアクチュエーター、リニアサーボの位置制御、3次元顕微鏡への応用を実現した。応用分野としては各種のロボット、制御装置、精密加工産業、バイオ、科学技術計測など広範囲にわたる。これは液晶のディスプレイ以外への応用として非常に期待の大きいものであり、液晶の新しい応用展開という視点からも意義が大きい。

Nano-scale Positioning Sensor Utilizing Electro-Optic Effect of Nematic Liquid Crystal and Its Application

Katsumi YOSHINO, Jyunya KOBAYASHI, Toshio OHSONO and Sadaaki KUWABARA

Center for Advanced Science, Osaka University
Yamada-Oka2-1, Suita, Osaka565-0871Japan

New type of precise positioning sensor and controlling device utilizing electro-optic effect of nematic liquid crystal has been proposed and successfully developed, which has accuracy of nano-scale, high speed response and can be applied for various devices. Applications of this concept and device have been demonstrated in precise positioning in actuators, linear servo-machine and a three-dimensional optical microscope. They can be used in robots, control devices, precise processing, bio-engineering and scientific instrument. This result also attracts attention as new types of application of liquid crystals.

キーワード：測長器、位置制御、サーボ、エンコーダ、アクチュエーター、ナノ、液晶、電気光学効果

1. はじめに

近年、情報機器の大幅な進歩に伴い、半導体や液晶生産装置、検査装置を始め、工作機械、インサータ、マウンタなどへのサーボモーターの需要が高まり、さらに、射出成型器や印刷機などへの応用へとその適用範囲が大幅に拡大しつつある。一方、マイクロファクトリ、小型ロボットなどの微細加工、検査技術、バイオ技術などに応用するための小型サーボ機構の開発も盛んに行われている。

一般に高精度のサーボ機構は駆動モータと微動用減速器、位置検出器から構成されるが、位置検出器は信号処理ソフトのウェイトが高く、高精度の検出ハードの開発が求められている。

最近の移動位置検出方式は光学方式と磁気方式が殆どで、各々測長用スケールと検出用ピックアップの部分からなる。光学方式では発光ダイオードやレーザーを用いて光の透過や反射特性変化を検出する方式で、磁気方式では磁性体からの磁気をコイルなどで検出する方式であ

る。

磁気方式では分解能が悪く1ミクロン程度である。光学方式は分解能も応答速度も勝るが、従来のものでは光の回折の問題などから十分に高精度にするのが容易でなかった。

すなわち、測長技術は半導体や液晶製造など工業用途、各種産業機器用途、科学機器用途になくてはならないものであり、サブミクロンから数十ナノメートルレベルを容易に実現するためには、測長器本体の性能と、測長器周辺の実装環境に容易に適合する外乱に強いものが望まれている。

従来方式では測長器の単体性能は高いレベルまで達しているものもあるものの、実装時の電氣的ノイズや振動といった外乱により、本質的な精度を維持できない問題があるため、ユーザにとって装置全体あるいは測長器取付方法や実装環境の改善など、測長機器周辺のコスト負担増となっていた。そのため簡単で実装可能でかつ外乱に強い測長器が必要とされている。

このような背景の中、我々は新しく液晶電気光学効果を導入した光学方式を提案し、アブソリュート型アナログ光学分割によって非常に簡便、高速、かつ外乱に強い測長スケールを製作できることを見出し、その開発を進めた。

すなわち、平成13年10月より科学技術振興事業団プレベンチャー事業に参加し、液晶の電気光学特性を利用した測長器技術とそれを応用した三次元計測装置の開発を行った。

2. 計測原理 —サーボ機構、光センサ、液晶スケールの構成

図1は液晶電気光学効果を用いた測長センサとサーボモータ機構を組み合わせた構成図である。液晶駆動により任意にパターンを測長器内で変更することにより、絶対値が認識できる。絶対位置検出では、あらかじめメモリされた場所を認識するために、パターンニングされた各格子スケールのそれぞれにアドレスを付加し、必要なアドレスの液晶パターンを駆動することで、他の格子との識別が可能である。それによ

って、複雑なアブソリュートパターンを刻印することなく絶対位置検出を行える。即ち、ソフトウェアの信号処理の負担が少なく、保守時間や起動時間が短縮でき高速移動も可能な非常にシンプルで高性能なアブソリュートエンコーダを実現することが出来る。

図2はこの計測原理を説明するものである。

液晶スケールと対に光源と光センサを配置する。光源としては発光ダイオードLEDを光センサとしてはフォトダイオードPDを用いている。

サーボ駆動で目標アドレス（ n アドレス）まで動作させる場合、まず $n-1$ アドレスまで高速動作させ、 $n-1$ から n まで中速動作、 n アドレス目の最終目標位置を低速で制御する。 N アドレス内では動作中の液晶画素をセンサが通過すると距離に応じて挿入図のように出力が変化する。直線性の良い量子化したセンサ信号をA/D変換し目標値と比較することにより位置が決められる。液晶窓の幅が $50\mu\text{m}$ の場合、 $25\mu\text{m}$ を16ビットのA/D変換を行うと分解能約 0.4nm が可能となる。液晶窓は5ミクロン程度まで容易に作製できるので、A/D変換の分解能を12,16ビット

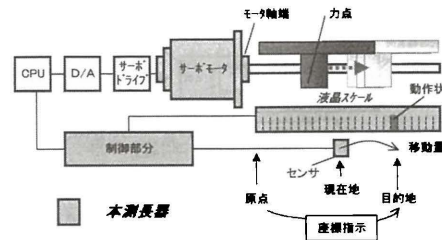


図1 液晶測長器とサーボモータによる構成
Fig 1. Servo system consisting of liquid crystal position sensor and actuator.

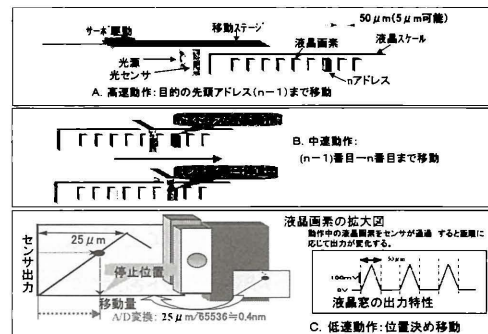


図2 液晶測長器の計測原理
Fig 2. Schematic mechanism of sensing position to move for the address of liquid crystal absolute linear scale

とするとより高精度で高速な測長器が可能となる。

このような液晶窓列が一行である限り半分の距離の領域がカバーできないので、実際には図3のように液晶窓は平行2列として全領域をカバーする。

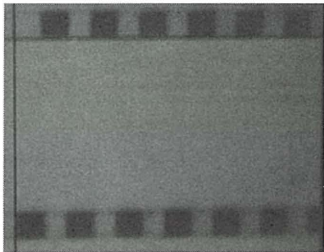


図3 液晶窓の配置
Fig 3. Formation of liquid crystal window.

3. 液晶測長器の開発

まず表1に示す開発目標のもと開発を進めた。

表1 液晶測長器の開発目標
Table 1. Specification of liquid crystal position sensor.

開発内容	開発目標
1.分解能	± 0.5 nm
2.再現性精度	±20 nm
3.動作速度	10 mm/sec
4.測定長	25 mm
5.設置の簡便性	設置治具の開発

また、従来方式のリニアモータ向けに用いる場合の(1)正・逆動作切り替え時に測長誤差が発生、(2)チャタリングにより測長誤差が発生、(3)リニアモータ取り付けに習熟度が必要などの欠点を解決するため、液晶による電気光学効果によって得られるアナログ信号変換処理によって、これら従来方式の問題を解決したが、特に図4に示すようにA相、B相信号の二つを用いることにより移動方向などの判定も可能とした。即ち、これらにより振動や電気ノイズの影響によるパルスカウントミスなどが無いので、高速でかつ高精度読み取りが外乱を受けても可能となった。

実際に作製した測長器の構造写真を図5に示す。LCD 駆動基板、PD 基板、LED 基板、液晶

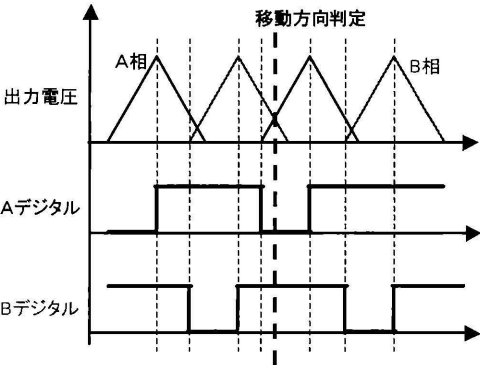


図4 本方式による移動方向判定
Fig 4. Detection of direction to move by the positioning sensor.

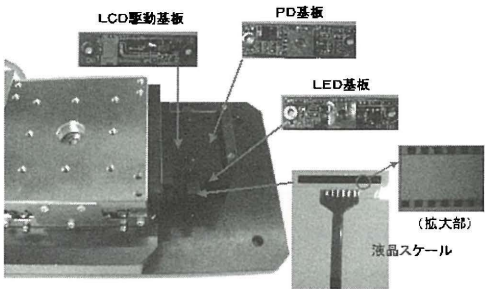


図5 液晶測長器の構造
Fig 5. Setup of liquid crystal position sensor applied to linear stage system.

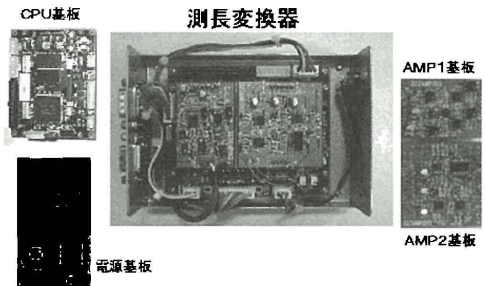


図6 液晶変換器の構造
Fig 6. Converter transforming to control signal in the position sensing device.

スケール部などの拡大写真も示している。

図6には測長変換器の構成、即ち、CPU 基板、電源基板、AMP 基板を含めて測長変換器の写真を示す。

4. 開発成果 —性能、特性—

4. 1. 測長器

開発した測長器をリニアステージに実装し、フルクロード制御にて±100nmの再現性精度を調べた。

レーザー測長にて2mmステップ動作の実動作動トレースを実施した結果のデータを図7に示

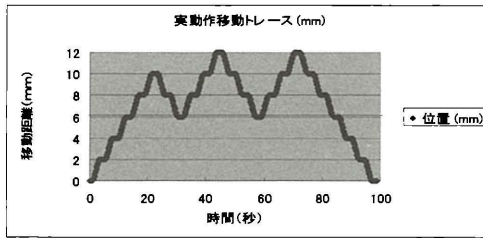


図7 実動作移動トレース測定結果

Fig 7. Result of experiments of measuring moving position.

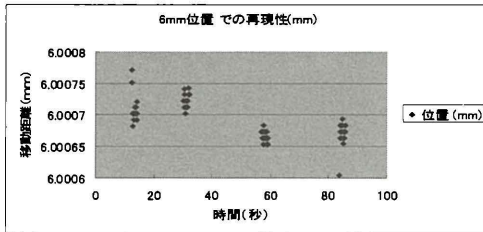


図8 6 mm位置での再現性結果

Fig 8. Evaluation of the reproductively of sensing position at 6mm point.

す。期待通り作動していることが明らかである。

また、その中で6 mm位置の再現性データを図8に示す。この図から $\pm 100\text{nm}$ の再現性精度が実現されていることがわかる。

次に温度、建物などの揺らぎなどによるノイズが $\pm 10\text{nm}$ の環境下でレーザー測長検証装置に測長器を実装しフルクロード制御にて再現性精度の実測を行った。結果を図9に示す。

評価用測長器2台を移動距離5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mmを各10回づつ動作させ、その平均値との差をグラフ化したものである。すべてにおいて $\pm 20\text{nm}$ の再現性精度があることが明らかである。

この他、搬送ロボットに実装した場合に必要なとされる以下の環境試験を行った。

- (1) 100万回連続動作試験
- (2) 環境温度：0～40℃
- (3) 車両運搬振動試験
- (4) 飛行機輸送気圧変動試験

これらすべての試験に対し全く問題なく性能を維持することが示された。

以上の結果本研究で開発された測長器は表1に示した目標性能をすべて満たすことが明らかとなった。

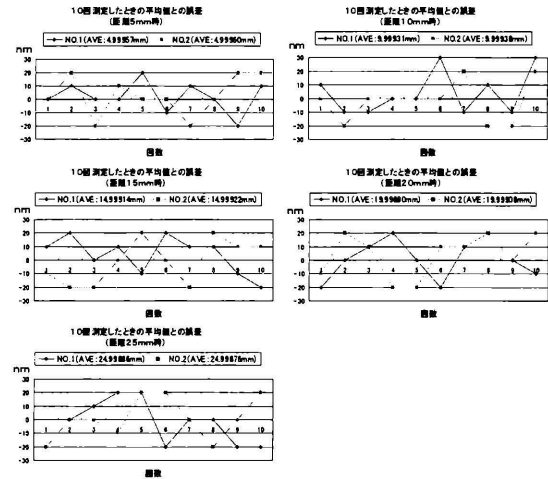


図9 各移動距離における再現性結果

Fig 9. Evaluation of the reproductively of sensing each position.

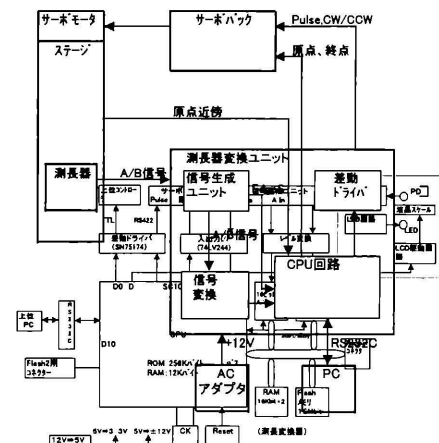


図10 測長器ユニットブロック図

Fig 10. Block diagram of electronics of the position sensor unit.

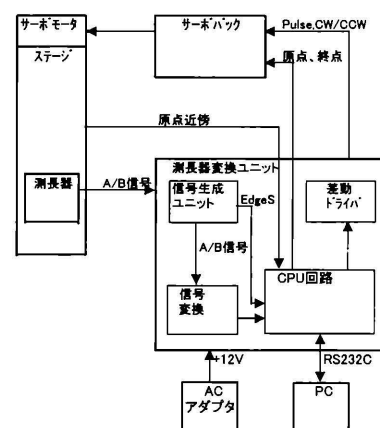


図11 測長器のシステム構成図

Fig 11. Servo system of consisting of position sensing unit.

今回開発した測長器ユニットのブロック図を図10に示し、測長器のシステム構成を図11に示す。さらに、現在市販されている測長器、ハイデ

ンハイン (独)、レニショウ (英国)、マイクロ e (米) などの機器と比べてローノイズ性、対振動性、設置の簡便性などにおいていずれも勝っており、価格的にも大幅に低くなることが明らかとなった。

4. 2. 微小3次元計測装置

液晶を使ったナノスケールの測長器が実現できたことから、これらの技術を立て、横、高さの3次元に適用し、これに画像認識技術を生かすことによってナノスケールまで計測可能な3次元計測装置を開発した。

これにより10ナノ繰り返し精度の段差・面

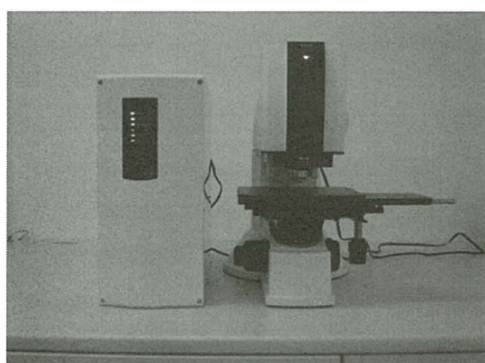


図12 微小3次元計測装置

Fig 12. Application to the device of measuring micro structure of industrial material.

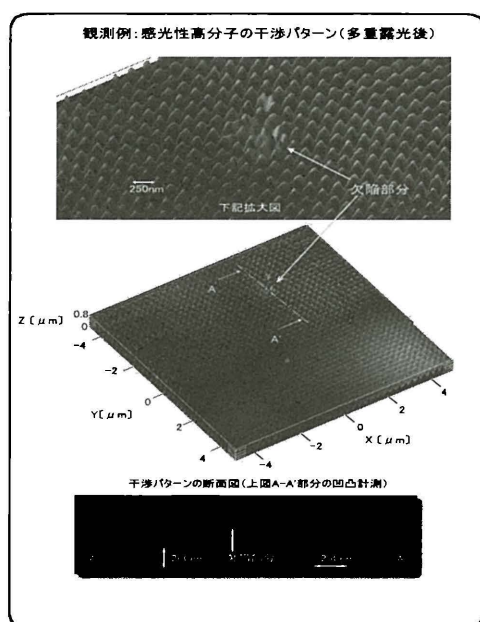


図13 微小3次元計測装置による観察結果

Fig 13. 3D-image of result of application to measurement of shape after doubly-exposed on the surface of photo sensitive polymer by optical interference.

積・体積などの解析が可能であることを実証した。

図12は開発した微小3次元計測装置である。また、図13はアゾポリマーフィルム表面に干渉光を多重露光した場合に形成される表面レリーフの観測結果(b)とその一部に見られる欠陥部の拡大像(a)と(b)の欠陥部を通る A—A' 部分に沿っての凸凹計測の結果である。

これらの結果、本装置を用いてナノスケールで高精度の観察、計測が僅か数秒と云う短時間に出来ることが明らかとなった。

5. まとめ

ネマチック液晶の電気光学効果を用いた高速でナノメートルオーダーの高い精度で測長できる精密測長器の開発に成功した。

この技術をリニアサーボモーターなどの制御機構へ適用した場合、再現性精度 $\pm 20\text{nm}$ 、分解能 $\pm 0.5\text{nm}$ が達成でき、更に、サーボ機構制御時の原点復帰の不要、チャタリング頻度が軽減される、リニアモーター取り付け時の設置が簡便で習熟度が要求されない、低コストである、などの特徴を有しており、多方面への応用が期待される。

更に、この技術を3次元計測に適用し、二次元面内計測、高さ計測における高速化、ナノスケール計測精度の効上を実現し、3次元計測顕微鏡、化学産業用画像計測装置などの開発に成功し、優れた性能を有することを示した。

本研究は独立行政法人科学技術振興機構のプレベンチャー事業として支援を受け、行ったもので、その成果を下に(株)大阪電子科学技術研究所、(株)大阪光科学技術研究所を2005年1月に起業した。

参 考 文 献

- (1) 吉野勝美、小林潤也、大藁敏雄；電気材料技術雑誌 9(2000)288

(2005年3月8日受理)

吉 野 勝 美



昭和16年12月10日生まれ。昭和39年3月大阪大学工学部電気工学科卒業、昭和44年3月大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程終了、同年4月大阪大学

助手、同講師、助教授を経て昭和63年2月大阪大学工学部電子工学科教授。平成13年～平成16年科学技術振興事業団（現在：科学技術振興機構）プレベンチャー事業プロジェクトリーダー兼務、電気電子材料、導電性高分子、液晶、フォトニック結晶、光機能材料、レーザーなどの研究に従事。日本液晶学会会長、電気学会元副会長など歴任。応用物理学会賞、大阪科学賞、電気学会業績賞、日本液晶学会業績賞、電子情報通信学会フェロー、IEEE フェローなど受賞。

小 林 潤 也



1957年12月14日生まれ 大阪大学基礎工学部卒 昭和57年 島津製作所入社（中央研究所） 昭和63年 カルフォルニア工科大学研究員 平成2年 島津製作所（技術研究本部）

平成7年 強誘電性液晶デバイアス研究にて工学博士（大阪大学）の学位取得、平成14年～平成16年科学技術振興事業団（現在：科学技術振興機構）プレベンチャー事業研究員、平成17年（株）大阪光科学技術研究所 代表取締役

大 園 敏 雄



昭和25年4月5日生まれ。昭和44年福岡県立小倉工業高等学校電気科卒。昭和52年関西大学経済学部卒、(有)ダイゼン工業などで、赤外線センサ等の各種センサ類を開発、又

そのセンサの応用製品の開発に従事、平成13年～平成16年科学技術振興事業団（現在：科学技術振興機構）プレベンチャー事業研究員、平成17年（株）大阪電子科学技術研究所 代表取締役

桑 原 定 明



昭和35年9月15日生まれ。昭和59年山梨大学工学部応用化学科卒。昭和59年河口湖精密(株)外装製造部開発課、平成10年ミズホ精密(株)技術、平成13年より科学技術振興事業団

（現在：科学技術振興機構）プレベンチャー事業研究員、平成15年1月11日逝去