

## 次世代3軸精密ステージ用のサーフェスエンコーダの開発 Development of a surface encoder for next generation three-axis precision stages

清野 慧 (Kiyono Satoshi)

東北大学大学院・大学院工学研究科・教授



### 研究の概要

2次元の角度格子と角度センサの組み合わせで構成するサーフェスエンコーダを提案し、それをサーフェスモータに組み込む形で試作し、その実用性を実証する。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード

工学／機械工学・知能機械学・機械システム／精密機械システム

#### 1. 研究開始当初の背景・動機

「高精度」と「高速」を同時に達成し、案内回転自由度を付与できるものとして、サーフェスモータに次世代精密ステージとしての期待が集まっている。

しかし、種々の点で次世代精密ステージとしての期待が大きいサーフェスモータであるが、その性能を活かす上での最大の障害はそれに適したエンコーダの不在にある。

#### 2. 研究の目的

本研究は、2次元の角度格子と角度センサの組み合わせで構成するサーフェスエンコーダを提案し、それをサーフェスモータに組み込む形で試作し、その実用性を実証することを目的とする。

#### 3. 研究の方法

サーフェスエンコーダはセンサ光学系と角度格子から構成されているが、本研究の目標を達成するためには、多自由度位置を高分解能に検出できるセンサ光学系と検出システムの構築と、計測基準面である角度格子を高精度且つ大面積に加工できる手法の確立が最も重要な研究項目である。それと同時に、サーフェスエンコーダを組み込んだサーフェスモータと制御技術の開発も必要不可欠である。そこで本研究は以上の三つの項目から研究を進めた。

研究遂行のためには、センサ評価用オートコリメータとレーザ干渉計、角度格子評価用走査型電子顕微鏡、制御などの研究設備を購入した。

#### 4. 研究の主な成果

センサ光学系については、当初の計画通りマルチスポット走査型プローブを採用した光学系を開発して、5自由度変位検出を実現した。しかしながら、実用化の観点からマルチスポット走査型の原理を見直し、より高速性に優れた5自由度マルチプローブ型のセンサ光学系を提案した。XY変位の方向弁別を含めて550mm/sの高速検出を実現した。さらに、サーフェスエンコーダの高分解能化のため、その基本原理そのものを改めて解析し、回折光の干渉を用いた全く新しいダブルパスセンサ光学系を提案した。それによって最終目標分解能の2nmを達成した。図1に開発のダブルパスサーフェスエンコーダの光学系及び写真を示す。図2にサーフェスエンコーダによるナノメートル変位検出結果の一例を示す。

角度格子については、加工装置の高精度化を図った上で、まずφ150mmという大面積に渡って、振幅100nm、波長100μmの角度格子を加工した。評価の難しい大面積微細形状の評価方法を確立し、その結果から誤差要因を特定して、角度格子の形状を実際に高精度化した。マイクロダイヤモンド工具を活用することで、最終目標の1/3である10μmまで格子ピッチの短ピッチ化に成功した。また、UV転写法をローラー転写に応用することにより、角度格子を短時間で1m以上の大面積に複製する技術を開発した。このように、ピッチの短小化、形状の高精度化、及び大面積複製技術の開発などにおいて目標以上の成果を得た。

サーフェスマータステージについては、当初の計画であった3自由度位置制御と5自由度位置姿勢検出と制御を達成したばかりではなく、高速性に優れた Sawyer 型サーフェスマータステージのクローズドループ制御も実現した。

以上のように、本研究では多自由度位置決め装置に最適なナノセンサであるサーフェスエンコーダの開発に成功し、高速性に優れるパラレル駆動型ステージ機構であるサーフェスマータの5自由度精密位置決めにも有効なことを実験的に示した。この研究により、精密位置決めシステムのセンサに焦点を当てた開発の重要性が示されたと共に、多自由度位置計測・制御の有効性が明らかとなった。本研究の成果は、次世代3軸精密ステージの実現にとって非常に大きな一歩であると考えられる。

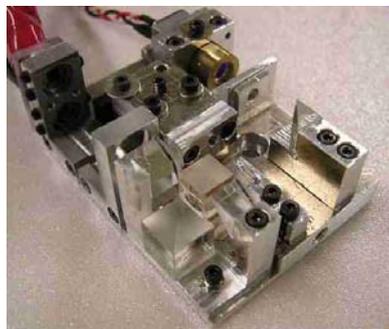
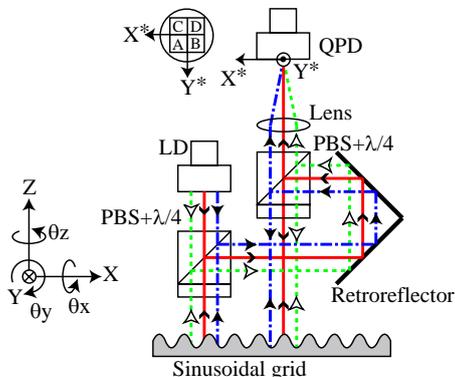


図1 ダブルパスサーフェスエンコーダの概略と写真 (センササイズ: 長さ 70mm、幅 50mm、高さ 27mm)

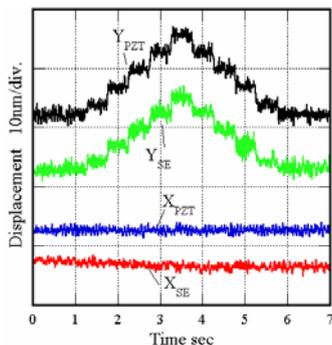


図2 X Y検出分解能 (PZT: 比較用 PZT ナノステージ、SE:サーフェスエンコーダ)

## 5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究の成果によって多自由度の変位をナノメートルの分解能で高速に検出することを世界で初めて実現した。その学術、産業的インパクトが大きい。

## 6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

- 1) A double pass surface encoder for measurement of planar motion, Yoji Watanabe, Wei Gao and **Satoshi Kiyono**, International Journal of Surface Science and Engineering, in press.
- 2) Dual正弦波格子型サーフェスエンコーダに関する研究—測定原理の提案と検証実験—, 高偉, 鶴見直也, 渡辺陽司, 木村彰秀, 清野慧, 精密工学会誌, Vol. 72, No. 3, 382-386, 2006.
- 3) 光干渉型サーフェスエンコーダに関する研究, 渡辺陽司, 高偉, 清水浩貴, 清野慧, 精密工学会誌, Vol. 71, No. 8, 1051-1055, 2005.
- 4) Precision Positioning of a Five Degree-of-Freedom Planar Motion Stage, Shuichi Dejima, Wei Gao, Hiroki Shimizu, **Satoshi Kiyono** and Yoshiyuki Tomita, Mechatronics, Vol. 15, 969-987, 2005.
- 5) A Dual-Mode Surface Encoder for Position Measurement, W. Gao, S. Dejima and **S. Kiyono**, Sensors and Actuators A, Vol. 117, No. 1, 95-102, 2005.
- 6) A Surface Motor-Driven Planar Motion Stage Integrated with an XYθz Surface Encoder for Precision Positioning, Wei Gao, Shuichi Dejima, Hiroaki Yanai, Kei Katakura, **Satoshi Kiyono** and Yoshiyuki Tomita, Precision Engineering, Vol. 28, No. 3, 329-337, 2004.
- 7) Precision Measurement of Two-Axis Positions and Tilt Motions Using a Surface Encoder, W. Gao, S. Dejima, Y. Shimizu, **S. Kiyono**, Annals of CIRP, 52-2, 435-438, 2003.
- 8) Precision Nano-fabrication and evaluation of a large area sinusoidal grid surface for a surface encoder, Wei Gao, Takeshi Araki, **Satoshi Kiyono**, Yuichi Okazaki and Masashi Yamanaka, Precision Engineering, Vol. 27, No. 3, 289-298, 2003.

ホームページ等

<http://nano.mech.tohoku.ac.jp>