

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：11301  
研究種目：基盤研究(A) (一般)  
研究期間：2020～2023  
課題番号：20H00211  
研究課題名(和文) 光コム次元変換光学とその場自律校正法の創出によるサブアトム級3次元超精密計測  
研究課題名(英文) Subatomic 3D Ultra-Precision Measurement by Creation of Optical Comb Dimensional Conversion Optics and In-Situ Autonomous Calibration Method  
研究代表者  
高 偉 (Gao, Wei)  
東北大学・工学研究科・教授  
研究者番号：70270816  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：次世代「つながる」超精密ものづくり実現に必須となるサブアトム級(10pm)3次元超精密「絶対」形状計測基盤の確立を目的として、不等ピッチ絶対グリッドおよび色収差レンズの分光作用を用いて計測点のXY軸、Z軸絶対位置情報をそれぞれ光周波数スケールに次元変換して検出する、極高感度絶対型XYZ位置計測を提案するとともに、それに必要な大面積不等ピッチ絶対グリッドを生成する波面分割光干渉光学系を構築する。さらに、XYZ位置計測の光周波数光源をGPS衛星経由で「時間」の国家標準に直結することで信頼性保証を同時に実現する新概念の「その場自律校正体系」確立を遂げる。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
光周波数域における独創的な差動型検出手法で、高感度かつ広大な極高精度XYZ絶対位置計測を世界に先駆けて実現できる。これは超精密光計測の学術分野を格段に発展させるもので、生産工学のみならず機械工学の幅広い分野への波及効果が高い。また絶対型XYZ位置計測により、次世代「つながる工場」のコンセプトを超精密ものづくりに適用しIoT社会に波及させる。あらゆる計測量の中で一番高確度な「時間」の国家標準と直結した最高精度の信頼性保証サービスを、どこでも、いつでも必要な人に提供できる社会的インフラ基盤が実現し、国家標準を社会全体で容易に共有できることになり、今までにない価値を生み出すことができる。

研究成果の概要(英文)：An ultra-sensitive absolute XYZ position comb that uses an unequal-pitch absolute grid and the spectral action of a chromatic aberration lens to detect the XY-axis and Z-axis absolute position information of measurement points by converting it into an optical frequency scale comb have been proposed. An ultra-sensitive absolute XYZ position comb that detects the XY-axis and Z-axis absolute position information of a measurement point by converting it into an optical frequency scale comb has been newly proposed, a wavefront-division optical interference optics system to generate the large-area unequal-pitch absolute grid required for this system has been constructed. Furthermore, a new concept of "in-situ autonomous calibration system" that integrates measurement and calibration to simultaneously realize reliability assurance by directly connecting the optical frequency comb light source of the XYZ position comb to the national standard for "time" via GPS satellites have established.

研究分野：生産工学・加工学

キーワード：精密位置決め 加工計測 超精密計測

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 申請者らは、次世代 XYZ3 軸超精密平面テジなどの計測制御のために、等ピッチ 2 軸微細計測グリッドを用いる 3 軸変位スケール、3 軸角度スケール (図 1) を提案してきた。また、これらを組み合わせたナノメートル級多軸精密光スケールを世界で初めて開発し、高価なレーザ干渉測長機を複数組み合わせる従来の煩雑な多軸計測系に代わる次世代多軸変位角度光計測技術の道を切り拓いた。さらに、等ピッチグリッドの多軸相対分光機能を利用して、高精度光周波数コムを多軸角度スケールコムに変換する新理論を構築 (特許 6391155 号) するとともに、それに必須となる等ピッチ光ナグリッド作成に向け、マルチ波長干渉と光偏光制御法に立脚した全く新しい 2 軸光干渉グリッド定在波一括転写による等ピッチ光ナグリッド創成手法を開発し、その大面積化・高精度化を実現してきた。この過程において、物理量 (角度) をグリッド分光で光周波数に次元変換すると、その計測精度向上に極めて有効なことを見出している。

(2) この手法を XYZ3 軸位置測定に展開できれば 3 次元形状計測の極高精度化が期待できるが、上述の角度コムでは、グリッド分光限界の制約から高感度化ができていない。また、グリッド角度の相対変化しか測れておらず、絶対計測の実現も課題として残っていた。この光周波数次元変換に立脚した角度検出原理を XYZ3 軸位置検出原理に展開し、かつ相対検出から絶対検出の原理に転換する方法論の確立が課題となっていた。

(3) 申請者らは、不等ピッチ絶対グリッドによる分光機能をもとに XY 絶対位置情報を ±1 次光のテジ外光周波数に次元変換し光周波数領域で検出する新たな絶対型 XY 位置コムの着想を得た。また、色収差レンズの軸方向分光機能をもとに Z 絶対位置情報をテジ外光周波数に次元変換する、独創的な絶対型 Z 位置コムの着想も得た。さらに、2 枚の非球面ミラーを用いる不等ピッチ 2 軸光干渉絶対グリッド創生手法も考案するとともに、フェムト秒レーザ光源についてもその自作および GPS 基準信号との同期実現に目途が立ち、準備が整ったことから、今回の研究計画立案に至った。

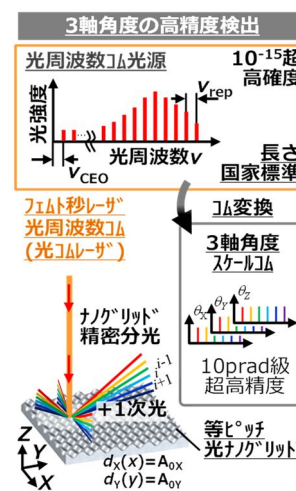


図 1 相対型 3 軸角度コム(従来)

### 2. 研究の目的

(1) 不等ピッチ絶対グリッドの分光作用で計測点の XY 軸絶対位置を ±1 次反射回折光テジ外光周波数コムに次元変換し、その差動型検出と光干渉内挿の適用でワンストップかつ極高感度な 2 軸絶対計測を実現する、絶対型 XY 位置コムを提案すること 【目的1】。

(2) 色収差レンズの軸上分光作用で計測点の Z 軸絶対位置を反射光テジ外光周波数コムに次元変換し、独創的な差動型共焦点光学系での検出でワンストップかつ極高感度な Z 位置絶対計測を実現する、絶対型 Z 位置コムを提案すること 【目的2】。

(3) XY 位置コムと Z 位置コムを融合し、かつ光コム光源を GPS 衛星経由で時間標準に直結して国家標準に匹敵する限界精度までの信頼性保証を実現する、その場自律校正体系に立脚したナノメートル級 3 次元絶対形状計測手法を確立すること 【目的3】。

### 3. 研究の方法

(1) 上記【目的1】の実現に向け、非球面反射鏡による新たな波面制御光学系と、独自の偏光制御法との融合で、マルチ波長を連続転写する従来手法では困難な不等ピッチ絶対グリッドの大面積転写を実現する。さらに、製作した多軸変位スケールとしてフェムト秒光コムと融合する。グリッドの分光作用で得られる ±1 次回折光コムのテジ外光周波数は、グリッドの不等ピッチと回折角を含む回折格子方程式で絶対位置とリンクするため、検出光周波数から XY 軸絶対位置が得られる (次元変換)。さらに、±1 次回折光双方の光周波数を検出し差分を得ることで (差動型検出)、グリッド姿勢角などの影響を除去できる。かつ、±1 次光を重ねて生成した光干渉信号を利用すると (光干渉内挿)、XY 2 軸絶対位置検出の極高感度化も図る。

(2) 上記【目的2】の実現に向け、光周波数毎に焦点位置が変わる色収差レンズの性質 (軸上分光作用) を多軸変位スケールに導入すると、Z 軸絶対焦点位置を反射光コムのテジ外光周波数に「次元変換」して極高感度検出できる。2 検出器を有する差動型共焦点光学系で反射光コムを取得し差分を

得ることで、測定面の加工液などに影響されないZ軸絶対位置計測が実現する。

(3) 上記【目的3】の実現に向け、光コムをGPS衛星経由で時間の国家標準に直結すると、XYZ絶対計測とその信頼性保証を、一括して同時に（自律的に）、遠隔地の生産現場においても常に実現できる。光周波数を物理量の中で最も確度高く測れる「時間」の国家標準と直結し、計測と校正を一括同時に行う「その場自律校正」による計測結果の全く新しい信頼性保証（校正）体系を実現すること。

#### 4. 研究成果

(1) 【目的1】の実現に向けて、まずレーザ波面を分割制御した後に重ね合わせ、光の干渉により不等ピッチ干渉絶対グリッド定在波を生成する1軸光学系を作製した。平面基板、および非球面ミラー1枚からなる波面分割制御・定在波生成光学系に入射するレーザ光は直接ビームおよび斜めビームに分割された後、基板上で重なり合い、不等ピッチ正弦波状グリッド定在波を生成となる。その後構築した波面分割型干渉計光学系に非球面ミラーを1枚追加して2軸化することを試みた。2軸化に伴い発生するXYビーム間の干渉に伴う絶対グリッド定在波の歪み成分を抑制するため、先行研究で開発した偏光制御光学系を導入した(図2)。高速軸方位が45度の半波長板を斜めビーム光路に設置してその偏光方位を90度回転させることで斜めビームとの干渉を抑制するとともに、直接ビーム光路に高速軸方位が22.5度の半波長板を設置し、直接ビームの偏光方位がXYビームに対して対称になるようにすることで、歪み成分がない高精度不等ピッチ2軸干渉絶対グリッド定在波を生成させる。構築した定在波一括転写システムを用いて露光実験を行い、面積100mm×100mm、ピッチ変動範囲2nm～3nm不等ピッチ2軸絶対グリッドを作製するとともに、原子間力顕微鏡(AFM)、電子顕微鏡(SEM)でグリッドのピッチおよび振幅などを評価した。なお、本検討を通して得られた結果及び知見は学術誌への投稿に向け、準備が進められている。

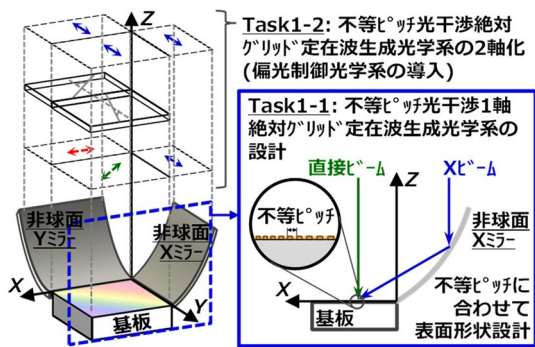


図 2: 2 枚の非球面反射鏡を配置した 3 分割波面制御光学系

(2) さらに【目的1】の実現に向けて、光学読み取りヘッドの光源として用いるフェムト秒レーザのスペクトル帯域、および不等ピッチ絶対グリッドのピッチ変動幅を考慮して、回折理論に基づいた数値シミュレーションを実施した。数値理論計算結果を光源中心周波数の回折角度が45度になるように+1次反射回折光を捕捉するファイバ受光光学系を設計・構築した(図3)。モード同期フェムト秒レーザ発生装置から射出されたレーザはコリメータを用いて平行光とされ不等ピッチ絶対グリッドへ照射される。射出された光は不等ピッチ絶対グリッドの分光作用で計測点のXY軸絶対位置を+1次反射回折光の光周波数コムに次元変換される。+1次回折光コム束は対物レンズを用いてシングルモードファイバ端面へ集光され、光スペクトルアナライザを用いた解析された。解析された中心周波数と不等ピッチグリッドの絶対位置は一対一に対応した。測定範囲は光源周波数帯域全体に渡って±6mmを達成した。本検討は、不等ピッチ絶対グリッドの分光作用を用いて絶対値を光周波数へ次元変換する新学理の実現可能性を示す極めて重要な研究成果である[論文⑳, 学会発表㉑]。

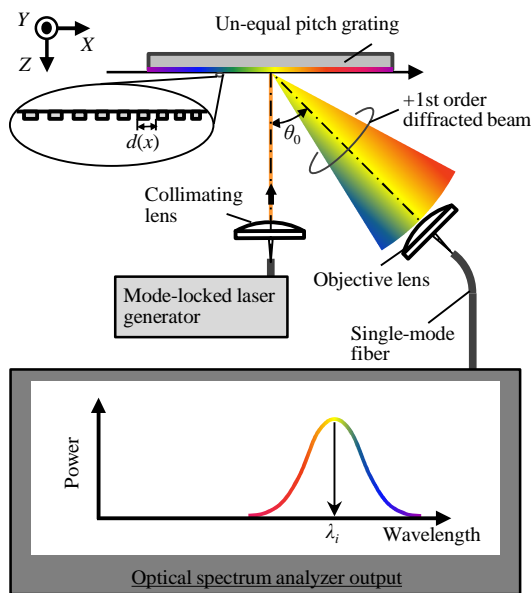
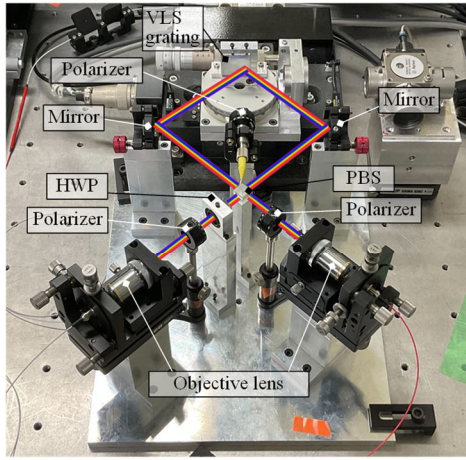


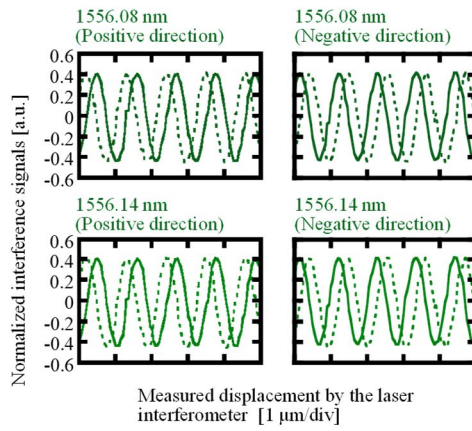
図 3: +1 次反射回折光を捕捉するファイバ受光光学系

(3) さらに、移動方向分別のため位相の異なる2つの干渉信号を取得する光学系へと変更を行った。新たに空間上で回折光を干渉させる光学系を構築した(図4(a))。まず、コリメータを用いて平行光としたフェムト秒レーザを直線偏光子に通し、入射面に対して電場が平行な偏光(p偏光)と垂直な偏光(s偏光)に分割する。その後、VLS格子に垂直に入射し回折させ、ミラーを用いて偏光ビームスプリッタ(PBS)に入射させた。PBSはp偏光を透過し、s偏光を反射する性質を持つため、ディテクタA側には+1次回折s偏光と-1次回折p偏光、ディテクタB側には+1次回折p偏光と-1次回折s偏光が入射する。垂直に交わっているp偏光とs偏光は干渉しないため、干渉信号を得るためには直線偏光子を用いて変更の向きをそろえる必要がある。ディテクタ側ではPBSから出た光を直接、直線偏光子を通して干





(a) A photograph of the sensor head



Measured displacement by the laser interferometer [1  $\mu\text{m}/\text{div}$ ]

(b) Interference signal outputs  $I_A$  and  $I_B$

図 4:  $\pm 1$  次反射回折光を捕捉する空間干渉型光学系

渉させその強度を検出した(図4(b))。捕捉した $\pm 1$ 次回折光のスペクトルから絶対位置を差動検出する信号処理システムを構築するとともに、 $\pm 1$ 次回折光を重ね合わせる干渉光学系を光ファイバベースで構築し、その干渉信号をもとに絶対位置検出を内挿して極高感度化する信号処理アルゴリズムを検討した[論文 ]。

(4) 【目的2】の実現に向けて、色収差レンズの軸上分光機能をもとに、計測点のZ軸絶対位置情報を反射光の光周波数に次元変換し、これを差動型共焦点光学系で検出することでコストかつ極高感度でのZ位置絶対計測を実現する絶対型Z位置生成光学系を構築した。この際、光源に用いるフェムト秒レーザーのスペクトル帯域を勘案して色収差レンズの選定・設計を行い、光周波数コレクタの光軸上分光を試みた。また、この色収差レンズを対物レンズとして用いる共焦点光学系をベースとした。光ファイバデュアル共焦点光学系を採用し、光の不均一スペクトルおよび測定対象面反射率の影響を除去し、その影響を受けずに極高感度絶対Z位置検出が可能であることを実証した。光源波長帯域1.1 $\mu\text{m}$ ~1.7 $\mu\text{m}$ において、Z絶対位置計測範囲200 $\mu\text{m}$ を達成した(図5)。さらに、構築を行った光ファイバデュアル共焦点光学系を用いて公称値1.8を有する測定対象物の段差測定を実施し、それを高精度に測定可能であることを実証した[論文 ]。

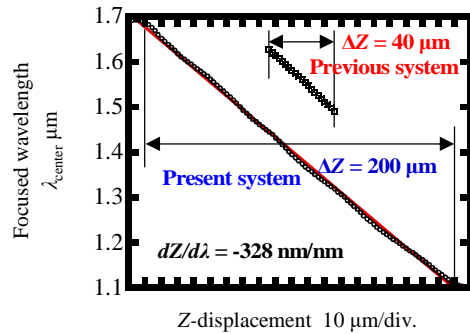


図 5: Z位置コムを用いたZ位置測定範囲

(5) また【目的2】に関連して、測定対象物表面に傾斜角が有する場合は、絶対型Z位置生成測定に生じる影響について理論的・実験的に検討を実施した。対象物Z位置を色収差レンズの分光作用で光の次元変換をする際、Z位置に対応した共焦点応答が測定対象物表面のチルト角によって変化することを明らかにした。図6は光源中心波長において得られる共焦点応答への影響を実験的に解析した結果を示す。本検討により、測定対象物表面が傾斜角を2度有する場合、最大絶対Z位置生成検出精度が最大で30 $\mu\text{m}$ 変化する結果となった。これは、Z絶対位置生成を生成する学術基盤を創出するにあたり重要な発見であった。加えて、本検討結果は研究成果(6)にある新たな原理創出に必要な基礎となる研究であり、学術的に重要な成果である[論文 ]。

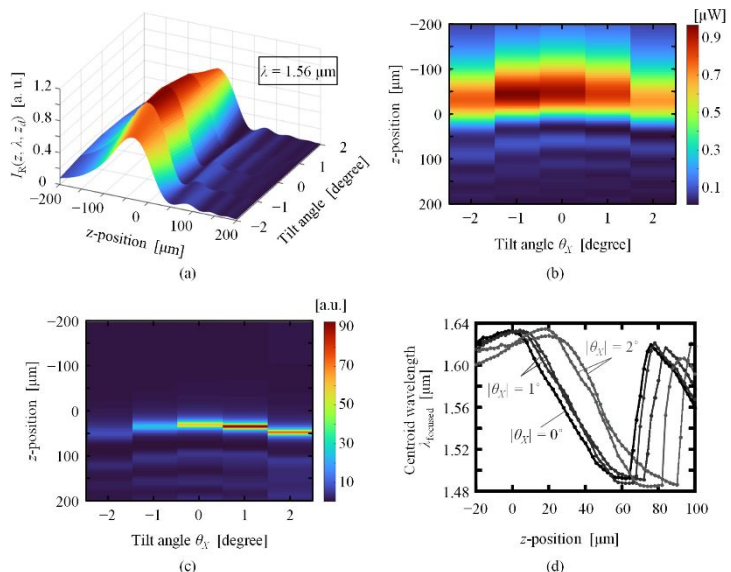


図 6: 測定対象物傾斜角がZ絶対位置生成へ与える影響

(6) 【目的 2】に関連して、フェムト秒レーザーが超短パルスレーザーでありフェムト秒オーダーにおいて非線形光学現象を発生させるために十分な強度を有することに着目し、研究成果(4)で構築したデュアル共焦点光学系の光フィルタとして用いていた光ファイバを第二高調波発生媒質であるBBO( $\text{-BaB}_2\text{O}_4$ )結晶を新たに用いた第二調波共焦点光学系(図 7)を提案した。測定対象物表面から反射されたフェムト秒レーザーは検出器前に設置されたBBO結晶へ集光される。この際、従来型共焦点光学系同様にBBO結晶への集光位置は対象物Z位置に伴い変化する。加えて、BBO結晶へ入射角は測定対象物表面傾斜角に応じて変化する。第二高調波発生現象は結晶集光位置と入射角それぞれに独立した応答を示すことを理論的・実験的に明らかにした。これまでの測定対象物のZ位置(光軸方向)を計測することに加えて、測定対象物表面のチルト角を同時に測定することを可能となり、研究成果(5)で明らかにした対象物表面傾斜角がZ位置に測定へ与える影響を解決する新たな基礎原理となり、得られたZ位置に共焦点光学系を実現するためには重要な成果である[論文 ]。

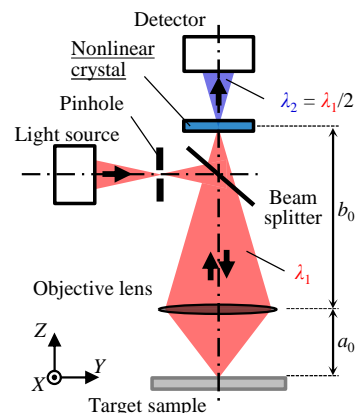


図 7: 第二高調波発生を用いた Z 絶対位置と傾斜角を計測可能な共焦点光学系

(7) さらに【目的 1】と【目的 2】のために構築したフェムト秒レーザー光共装置をGPS同期化シウム周波数基準器経由で時間標準にリンクした。これにより光共周波数に加えて、光源強度が安定することに着目して、ステップの姿勢運動誤差測定のために(3)で用いた第二高調波発生を用いた新たな角度センサを開発した。さらに、第二高調波発生のためにはレーザー光をレンズで集光し、集光部における面内パワーを十分に高める必要があるが、これは角度センサの差動距離確保に問題となっていた。そこで、用いて第二高調波発生が可能となるコメット光の創成を新たに可能とし、ステップ姿勢運動誤差測定のために十分な差動距離を確保した。また、角度を第二高調波発生原理に立脚して光共へ次元変換する際に、マーカーリングが発生することに直目し、その光共スペクトル形状を機械学習(図 8)し、高精度な角度計測を維持したまま角度測定範囲の拡大に繋がる新たなニューラルネットワークモデルを構築した[論文 , , ]。

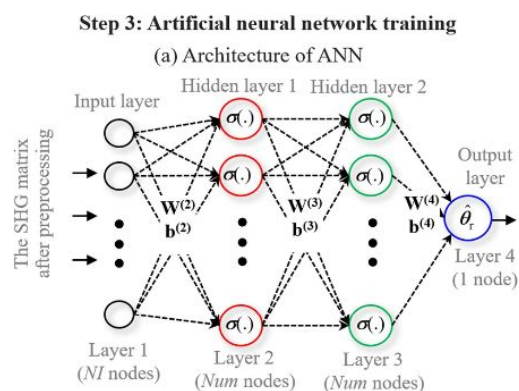


図 8: 第二高調波発生を用いた角度計測原理と畳み込みニューラルネットワークを用いた角度計測原理

(8) 一連の研究は当該分野に大きなイパクトを与えており、作製した不等ピッチグリット評価法に関連して国際会議で発表した論文がBest Paper Award(2023, ISMTII2023)を受賞している。また、XY位置にに関連して発表した論文は2021年精密工学会論文賞、FA財団論文賞(2022年)を得ており、Z位置にに関連して国内会議で発表した論文は2021年に精密工学会ベストプレゼンテーション賞を得ている。さらに、第二高調波角度センサに関連して発表した論文は国際会議においてBest paper award(2022, nanoMAN2022)を得ている。これら一連の研究業績に関連して文部科学大臣表彰科学技術賞若手科学者賞(研究分担者、R5)受賞されるなど、その学術水準が高く評価され、その場自律校正体系に立脚した3次元絶対形状計測手法の基礎を固める重要な成果である。

< 引用文献 >

X. Li, W. Gao, et al., "A six-degree-of-freedom surface encoder for precision positioning of a planar motion stage", *Precis. Eng.*, Vol. 37, 771-781 (2013)

X. Li, W. Gao, Y. Shimizu, S. Ito, "A two-axis Lloyd's mirror interferometer for fabrication of two-dimensional diffraction gratings", *Annals of the CIRP*, Vol. 63, 461-464 (2014).

Y. Shimizu, R. Aihara, K. Mano, C. Chen, Y.L. Chen, X. Chen, W. Gao, "Design and testing of a compact non-orthogonal two-axis Lloyd's mirror interferometer for fabrication of large-area two-dimensional scale grating", *Precis. Eng.*, Vol. 52, 138-151 (2018).

Y.L. Chen, Y. Shimizu, J. Tamada, Y. Kudo, S. Madokoro, K. Nakamura, W. Gao, "Optical frequency domain angle measurement in a femtosecond laser autocollimator", *Opt. Express*, Vol. 25, 16725 (2017).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計40件（うち査読付論文 38件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 23件）

1. 著者名 Sato Ryo, Liu Tao, Maehara Satoru, Okimura Ryota, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 18
2. 論文標題 Design of an Optical Head with Two Phase-Shifted Interference Signals for Direction Detection of Small Displacement in an Absolute Surface Encoder	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 249 ~ 256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2024.p0249	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Liu Tao, Matsukuma Hiraku, Suzuki Amane, Sato Ryo, Gao Wei	4. 巻 24
2. 論文標題 Enhanced Data-Processing Algorithms for Dispersive Interferometry Using a Femtosecond Laser	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 370 ~ 370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s24020370	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Wu Jiucheng, Hong Yifang, Shin Dong Wook, Sato Ryo, Quan Lue, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 18
2. 論文標題 On-Machine Calibration of Pitch Deviations of a Linear Scale Grating by Using a Differential Angle Sensor	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 4 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2024.p0004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Shin Dong Wook, Matsukuma Hiraku, Sato Ryo, Manske Eberhard, Gao Wei	4. 巻 31
2. 論文標題 Improved peak-to-peak method for cavity length measurement of a Fabry-Perot etalon using a mode-locked femtosecond laser	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 25797 ~ 25797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.493507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Kuangyi, Zhang Zhiyang, Lin Jiahui, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 6
2. 論文標題 Angle Measurement Based on Second Harmonic Generation Using Artificial Neural Network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nanomanufacturing and Metrology	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41871-023-00206-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato Ryo, Li Xinghui, Fischer Andreas, Chen Liang-Chia, Chen Chong, Shimomura Rintaro, Gao Wei	4. 巻 25
2. 論文標題 Signal Processing and Artificial Intelligence for Dual-Detection Confocal Probes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Precision Engineering and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 199 ~ 223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12541-023-00842-3	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Tao, Wu Jiucheng, Suzuki Amane, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 23
2. 論文標題 Improved Algorithms of Data Processing for Dispersive Interferometry Using a Femtosecond Laser	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 4953 ~ 4953
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s23104953	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Ryo, Shimizu Yuki, Shimizu Hiroki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 31
2. 論文標題 Confocal probe based on the second harmonic generation for measurement of linear and angular displacements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 11982 ~ 11982
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.486421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Li Kuangyi, Lin Jiahui, Zhang Zhiyang, Sato Ryo, Shimizu Hiroki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 13
2. 論文標題 Investigation of Angle Measurement Based on Direct Third Harmonic Generation in Centrosymmetric Crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 996 ~ 996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app13020996	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xiong Xin, Yin Chenguang, Quan Lue, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Shimizu Yuki, Tamiya Hideaki, Gao Wei	4. 巻 22
2. 論文標題 Self-Calibration of a Large-Scale Variable-Line-Spacing Grating for an Absolute Optical Encoder by Differencing Spatially Shifted Phase Maps from a Fizeau Interferometer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 9348 ~ 9348
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22239348	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hong Yifan, Sato Ryo, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Shimizu Hiroki, Gao Wei	4. 巻 22
2. 論文標題 Reduction of Crosstalk Errors in a Surface Encoder Having a Long Z-Directional Measuring Range	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 9563 ~ 9563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22239563	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shin Dong Wook, Matsukuma Hiraku, Sato Ryo, Gao Wei	4. 巻 30
2. 論文標題 Fabry-Pérot angle sensor using a mode-locked femtosecond laser source	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 46366 ~ 46366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.477435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Quan Lue, Shimizu Yuki, Sato Ryo, Shin Dong Wook, Matsukuma Hiraku, Archenti Andreas, Gao Wei	4. 巻 16
2. 論文標題 Design and Testing of a Compact Optical Angle Sensor for Pitch Deviation Measurement of a Scale Grating with a Small Angle of Diffraction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 572 ~ 581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2022.p0572	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Astuti Wijayanti Dwi, Li Kuangyi, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Shimizu Yuki, Gao Wei	4. 巻 12
2. 論文標題 A Second Harmonic Wave Angle Sensor with a Collimated Beam of Femtosecond Laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 5211 ~ 5211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12105211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato Ryo, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 12
2. 論文標題 Influence of Surface Tilt Angle on a Chromatic Confocal Probe with a Femtosecond Laser	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4736 ~ 4736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12094736	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hong Yifan, Sato Ryo, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 22
2. 論文標題 A New Optical Configuration for the Surface Encoder with an Expanded Z-Directional Measuring Range	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3010 ~ 3010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22083010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Li Kuangyi, Astuti Wijayanti Dwi, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 12
2. 論文標題 Theoretical Investigation for Angle Measurement Based on Femtosecond Maker Fringe	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3702 ~ 3702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12073702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Li Kuangyi, Astuti Wijayanti Dwi, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 12
2. 論文標題 Theoretical Investigation for Angle Measurement Based on Femtosecond Maker Fringe	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 3702 ~ 3702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app12073702	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xiong Xin, Quan Lue, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 32
2. 論文標題 Self-calibration of a variable-line-spacing grating for an absolute optical encoder with a Fizeau interferometer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 064005 ~ 064005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6501/abe9de	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Xiong Xin, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 21
2. 論文標題 A Self-Calibration Stitching Method for Pitch Deviation Evaluation of a Long-Range Linear Scale by Using a Fizeau Interferometer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 7412 ~ 7412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21217412	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wen Bo, Sekine Sho, Osawa Shinichi, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Archenti Andreas, Gao Wei	4. 巻 9
2. 論文標題 A Comparison of the Probes with a Cantilever Beam and a Double-Sided Beam in the Tool Edge Profiler for On-Machine Measurement of a Precision Cutting Tool	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Machines	6. 最初と最後の頁 271 ~ 271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/machines9110271	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shimizu Yuki, Quan Lue, Shin Dong Wook, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 18
2. 論文標題 Design of the optical sensor head for the evaluation of pitch deviation of a diffraction grating based on the laser autocollimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement: Sensors	6. 最初と最後の頁 100135 ~ 100135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.measen.2021.100135	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Kai, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Cai Yindi, Gao Wei	4. 巻 117
2. 論文標題 An application of the edge reversal method for accurate reconstruction of the three-dimensional profile of a single-point diamond tool obtained by an atomic force microscope	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The International Journal of Advanced Manufacturing Technology	6. 最初と最後の頁 2883 ~ 2893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00170-021-07879-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Matsukuma Hiraku, Department of Finemechanics, Tohoku University 6-6-01 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8579, Japan, Sato Ryo, Shimizu Yuki, Gao Wei	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement Range Expansion of Chromatic Confocal Probe with Supercontinuum Light Source	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Automation Technology	6. 最初と最後の頁 529 ~ 536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/ijat.2021.p0529	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Dwi Astuti Wijayanti、Matsukuma Hiraku、Nakao Masaru、Li Kuangyi、Shimizu Yuki、Gao Wei	4. 巻 21
2. 論文標題 An Optical Frequency Domain Angle Measurement Method Based on Second Harmonic Generation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 670 ~ 670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s21020670	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Laser Interference Lithography for Fabrication of Planar Scale Gratings for Optical Metrology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomanufacturing and Metrology	6. 最初と最後の頁 3 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41871-020-00083-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki、Ishizuka Ryo、Mano Kazuki、Kanda Yuri、Matsukuma Hiraku、Gao Wei	4. 巻 67
2. 論文標題 An absolute surface encoder with a planar scale grating of variable periods	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 36 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2020.09.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki、Chen Liang Chia、Kim Dae Wook、Chen Xiuguo、Li Xinghui、Matsukuma Hiraku	4. 巻 32
2. 論文標題 An insight on optical metrology in manufacturing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 1-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6501/abc578	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する



1. 著者名 Yague-Fabra Jose A., Gao Wei, Archenti Andreas, Morse Edward, Donmez Alkan	4. 巻 70
2. 論文標題 Scalability of precision design principles for machines and instruments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 659 ~ 680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2021.05.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhang Kai, Cai Yindi, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 10
2. 論文標題 High-Precision Cutting Edge Radius Measurement of Single Point Diamond Tools Using an Atomic Force Microscope and a Reverse Cutting Edge Artifact	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4799 ~ 4799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10144799	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Qiaolin, Shimizu Yuki, Saito Toshiki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 10
2. 論文標題 Measurement Uncertainty Analysis of a Stitching Linear-Scan Method for the Evaluation of Roundness of Small Cylinders	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4750 ~ 4750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10144750	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki, Gao Wei, Matsukuma Hiraku, Szipka Karoly, Archenti Andreas	4. 巻 69
2. 論文標題 On-machine angle measurement of a precision V-groove on a ceramic workpiece	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CIRP Annals	6. 最初と最後の頁 469 ~ 472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cirp.2020.03.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chen Chong, Shimizu Yuki, Sato Ryo, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 10
2. 論文標題 An Off-Axis Differential Method for Improvement of a Femtosecond Laser Differential Chromatic Confocal Probe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 7235 ~ 7235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10207235	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Matsukuma Hiraku, Wen Bo, Osawa Shinichi, Sekine Sho, Shimizu Yuki, Gao Wei	4. 巻 3
2. 論文標題 Design and Construction of a Low-Force Stylus Probe for On-machine Tool Cutting Edge Measurement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanomanufacturing and Metrology	6. 最初と最後の頁 282 ~ 291
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41871-020-00084-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Quan Lue, Shimizu Yuki, Xiong Xin, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 67
2. 論文標題 A new method for evaluation of the pitch deviation of a linear scale grating by an optical angle sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2020.09.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki, Kanda Yuri, Ma Xu, Ikeda Kakeru, Matsukuma Hiraku, Nagaike Yasunari, Hojo Masaki, Tomita Keita, Gao Wei	4. 巻 67
2. 論文標題 Measurement of the apex angle of a small prism by an oblique-incidence mode-locked femtosecond laser autocollimator	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 339 ~ 349
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.precisioneng.2020.10.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsukuma Hiraku, Adachi Keisuke, Sugawara Takuma, Shimizu Yuki, Gao Wei, Niwa Eiji, Sasaki Yoshihiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Closed-Loop Control of an XYZ Micro-Stage and Designing of Mechanical Structure for Reduction in Motion Errors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanomanufacturing and Metrology	6. 最初と最後の頁 53 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s41871-020-00091-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki, Ma Xu, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 32
2. 論文標題 A technique for measurement of a prism apex angle by optical angle sensors with a reference artefact	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 054007 ~ 054007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6501/abd8a6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 10
2. 論文標題 Optical Angle Sensor Technology Based on the Optical Frequency Comb Laser	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4047 ~ 4047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app10114047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sato Ryo, Shimizu Yuki, Matsukuma Hiraku, Gao Wei	4. 巻 -
2. 論文標題 Profile Measurement by Using a Femtosecond Laser Chromatic Confocal Probe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the JSME 2020 Conference on Leading Edge Manufacturing/Materials and Processing (LEMP2020)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1115/LEMP2020-8626	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計55件(うち招待講演 10件/うち国際学会 35件)

1. 発表者名 Ryo Sato, Yuki Shimiz, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Investigation of angle measurement based on confocal probe employing second harmonic generation
3. 学会等名 The 15th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTI12023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Zhiyang Zhang, Kuangyi Li, Jiahui Lin, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 The application of neural network for angle measurement based on second harmonic generation
3. 学会等名 The 15th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTI12023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tao Liu, Jiucheng Wu, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Absolute distance measurement based on Radio-frequency Interferometer using the method of Excess Fraction
3. 学会等名 The 15th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTI12023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yifan Hong, Yuki Shimizu, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 A Surface Encoder with an Improved Z-range and Reduced Crosstalk Errors
3. 学会等名 15th International Symposium of Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTI12023) (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Tao Liu, Jiucheng Wu, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Theoretical analysis on gauge block length measurement by a modulated synthetic wavelength method
3. 学会等名 15th International Symposium of Measurement Technology and Intelligent Instruments (ISMTII2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 Holographic lithography of scale gratings for ultra-precision positioning
3. 学会等名 The Third International Conference on Free-form Optics and Application technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 On-machine measurement technologies for ultraprecision machining
3. 学会等名 The CHINA-JAPAN International Conference on Ultra-Precision Machining Process (CJUMP2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 Multi-axis measurement by using diffraction gratings
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Optical Imaging and Measurement (ICOIM 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 Measurement Technologies for ACSM
3. 学会等名 The 20th International Manufacturing Conference in China (IMCC 2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 Fast self-calibration of diffraction gratings
3. 学会等名 International Scientific Symposium on the occasion of World Interferometry Day 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 Micro/nano-metrology for nanomanufacturing
3. 学会等名 The International Conference IEEE 3M-NANO 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wei gao
2. 発表標題 Laser interference lithography for nanomanufacturing of scale gratings
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tao Liu, Jiucheng Wu, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Theoretical analysis on gauge block length measurement by a modulated synthetic wavelength method
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kuangyi Li, Jiahui Lin, Wijayanti Dwi Astuti, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Theoretical investigation of angle measurement based on third-harmonic generation (THG) with a femtosecond laser
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yifan Hong, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Eberhard Manske, Wei Gao
2. 発表標題 Design and testing of a Fizeau-type two-axis surface encoder
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jiucheng Wu, Lue Quan, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Development of a wide-range differential angle sensor for calibration of image-scanning linear scale
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao, Andreas Fischer
2. 発表標題 Feasibility study of precise angle measurements with a dual-differential confocal probe
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chenguang Yin, Wei Gao, Xin Xiong, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma
2. 発表標題 Self-calibration for variable line spacing gratings by a lateral distance with Fizeau interferometer
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dong Wook Shin, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Yuki shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Uncertainty analysis of ultra-precision grating pitch calibration by using optical frequency comb
3. 学会等名 The 8th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 遼, 清水 裕樹, 清水 浩貴, 松隈 啓, 高 偉
2. 発表標題 第二次高調波共焦点プローブに関する研究 -角度計測に関する検討-
3. 学会等名 2023年度精密工学会春季大会学術講演会論文集
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 辛東昱, 松隈啓, 高偉
2. 発表標題 フェムト秒レーザーを用いたキャピティ間隔の検出方法
3. 学会等名 2022年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 LiuTao, Jiucheng Wu, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Simulation analysis on gauge block length calibration by the method of Excess Fraction
3. 学会等名 2022年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 洪一帆, 清水 裕樹, 松隈 啓, 松岡 良太, 高 偉
2. 発表標題 フィゾー型2軸サーフェスエンコーダに関する研究
3. 学会等名 2022年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jiahui Lin, Kuangyi Li, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 An angle sensor based on second harmonic generation with a collimated femtosecond laser beam
3. 学会等名 2022年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤遼, 松隈啓, 高偉
2. 発表標題 モード同期フェムト秒レーザー共焦点プローブに関する研究 -測定対象物チルト角が極小点追跡法へ与える影響の調査-
3. 学会等名 2022年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Li Kuangyi, Lin Jiahui, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 The theoretical investigation of angle measurement based on the third harmonic generation (THG) using focused beam
3. 学会等名 2022年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuki Shimizu, Lue Quan, Dong Wook Shin, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Design of the optical sensor head for the evaluation of pitch deviation of a diffraction grating based on the laser autocollimation
3. 学会等名 XXIII IMEKO World Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shusaku Endo, Kai Zhang, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Fabrication of a variable-line-spacing grating based on the non-orthogonal Lloyd's interferometer
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kakeru Ikeda, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Measurement of the angle of a small prism by a mode-locked femtosecond laser autocollimator
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoru Maehara, Ryo Sato, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 An absolute surface encoder with a femtosecond laser and a planar scale grating of variable periods
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wen Bo, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Andreas Archenti, Wei Gao
2. 発表標題 Development of a probe type profiler for measurement of a micro cutting edge
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qiaolin Li, Hiraku Matukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Uncertainty analysis of roundness measurement of a small cylinder based on the stitching linear-scan method
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wijayanti Dwi Astuti, Hiraku Matsukuma, Li Kuangyi, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Angular Measurement Method Utilizing Second Harmonic Generation
3. 学会等名 The 7th International Conference on Nanomanufacturing (nanoMan2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lue Quan, Yuki Shimizu, Hiraku Matsukuma, Wei Gao, Eberhard Manske
2. 発表標題 Evaluation of pitch deviation of a scale linear grating based on the laser autocollimation
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kai ZHANG, Yuki Shimizu, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 3D profile measurement of a diamond tool without the effect of AFM probe tip radius
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiraku Matsukuma, Masanori Matsunaga, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Fabrication of a two-dimensional diffraction grating with reduction of the effect of thermal expansion
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Ryo SATO, Hiraku MATSUKUMA, Yuki SHIMIZU, Wei GAO, Andreas FISCHER
2. 発表標題 Investigation of Measurement Range of a Differential Chromatic Confocal Probe employing a Mode-Locked Femtosecond Laser
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yifan Hong, Yuki Shimizu, Hiraku Matsukuma, Ryota Matsuoka, Wei Gao, Eberhard Manske
2. 発表標題 Design of a small-sized surface encoder with short-period planar gratings for stage motion measurement
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dong Wook Shin, Lue Quan, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao and Eberhard Manske
2. 発表標題 Calibration of grating periods based on laser diffraction method using optical frequency comb
3. 学会等名 The 10th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century(LEM21) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前原 智, 佐藤 遼, 松隈 啓, 清水 裕樹, 高 偉
2. 発表標題 フェムト秒レーザーを用いた絶対位置計測に関する研究
3. 学会等名 2021年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集(A03) 2021/11/6
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田 翔, 松隈 啓, 清水 裕樹, 高 偉
2. 発表標題 マイクロ光学素子の角度計測に関する研究
3. 学会等名 2021年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集(A05) 2021/11/6
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 遠藤 秀作, 村上 裕記, 松隈 啓, 清水 裕樹, 高 偉
2. 発表標題 非直交型ロイドミラー干渉計によるVLS格子の製作に関する研究
3. 学会等名 2021年度精密工学会東北支部学術講演会講演論文集(A06) 2021/11/6
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 遼, 松隈 啓, 清水 裕樹, 高 偉
2. 発表標題 モード同期フェムト秒レーザー共焦点プローブに関する研究-極小点追跡法を用いた合焦波長検出に関する検討-
3. 学会等名 2021年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集(講演番号 H31) 2021/9/21-23
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 洪 一帆, 清水 裕樹, 松隈 啓, 松岡 良太, 高 偉
2. 発表標題 短ピッチ格子を用いた平面ステージ計測用小型サーフェスエンコーダの設計
3. 学会等名 2021年度砥粒加工学会学術講演会論文集(C14) 2021/9/1
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shin Dong Wook, Quan Lue, 松隈 啓, 清水 裕樹, 高 偉, Manske Eberhard
2. 発表標題 モード同期フェムト秒レーザーを利用した回折格子の校正方法
3. 学会等名 2021年度砥粒加工学会学術講演会論文集 2021/9/1
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水 裕樹
2. 発表標題 モード同期フェムト秒レーザーを用いた「つながる」高精度角度計測
3. 学会等名 日本機械学会 IIP2021 情報・知能・精密機器部門(IIP部門)講演会 若手研究者招待講演(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wei Gao
2. 発表標題 Measurement technologies for future smart manufacturing
3. 学会等名 International Conference on Future Technologies (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yague-Fabra Jose A., Gao Wei, Archenti Andreas, Morse Edward, Donmez Alkan
2. 発表標題 Scalability of precision design principles for machines and instruments
3. 学会等名 2021 CIRP General Assembly (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuki Shimizu, Wei Gao, Hiraku Matsukuma, Karoly Szipka, Andreas Archenti
2. 発表標題 On-machine angle measurement of a precision V-groove on a ceramic workpiece
3. 学会等名 CIRP Video paper sessions 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Sato, Yuki Shimizu, Hiraku Matsukuma, Wei Gao
2. 発表標題 Profile Measurement by Using a Femtosecond Laser Chromatic Confocal Probe
3. 学会等名 The International Conference on Leading Edge Manufacturing/Materials and Processing (LEMP2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 権略, 松隈啓, 清水裕樹, 高偉
2. 発表標題 Development of an optical angle sensor unit for the evaluation of pitch deviations
3. 学会等名 2020年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 洪一帆, 清水裕樹, 松隈啓, 松岡良太, 高偉
2. 発表標題 Design of a small-sized surface encoder for stage motion measurement
3. 学会等名 2020年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kai Zhang, Yindi Cai, Hiraku Matsukuma, Yuki Shimizu, Wei Gao
2. 発表標題 Three-dimensional profile measurement of a single point diamond tool without the influence of the tip radius of an AFM probe
3. 学会等名 2020年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上裕記, 張凱, 松隈啓, 清水裕樹, 高偉
2. 発表標題 ロイドミラー干渉計による微細格子製作に関する研究
3. 学会等名 2020年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 李橋林, 齋藤俊樹, 町田裕貴, 松隈啓, 清水裕樹, 高偉
2. 発表標題 Uncertainty analysis of roundness measurement of a small cylinder based on the stitching linear-scan method
3. 学会等名 2020年度精密工学会東北支部学術講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Wei Gao and Yuki Shimizu	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Walter de Gruyter GmbH 2022	5. 総ページ数 644
3. 書名 Unlicensed Published by De Gruyter 2022 Optical Metrology for Precision Engineering	

1. 著者名 Wei Gao	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 448
3. 書名 Surface Metrology for Micro- and Nanofabrication	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 特許出願	発明者 清水裕樹, 高偉, 松隈啓, 洪一帆	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2021-21406	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

東北大学 大学院工学研究科 ファインメカニクス専攻 高・清水・松隈研究室 <a href="http://web.tohoku.ac.jp/nanometrology/index.html">http://web.tohoku.ac.jp/nanometrology/index.html</a>
---

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	清水 裕樹 (Shimizu Yuki)  (70606384)	北海道大学・工学研究院・教授  (10101)	
研究分担者	松隈 啓 (Matsukuma Hiraku)  (90728370)	東北大学・工学研究科・准教授  (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------