

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究（B）（一般）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360062

研究課題名（和文）面領域の表面性状測定機を対象とした校正・測定標準面の製造と国際標準規格化

研究課題名（英文）Manufacture of calibration and measurement surface standards for areal surface texture measuring instruments and their international standardization

研究代表者

柳 和久 (YANAGI KAZUHISA)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：80108216

研究成果の概要（和文）：三次元の表面性状測定機の校正や測定性能を検証するための測定標準面の設計指針並びに実量器の製造及び複製技術の開発を行った。慣習的な触針式表面粗さ測定機を対象に、二次元及び三次元の不規則凹凸データを新規の数学モデルで生成させ、超精密加工機による除去加工で実量器を製作した。また、電鍍及びナノインプリント技術により金型の複製を試み、実用化のための基礎的技術資料を得た。さらに、光学式表面性状測定機の測定性能を検証するため、最大傾斜を一定とする擬似的なチャープ信号波形を集束イオンビーム加工機で創製した。これらの標準面実量器に対して、不確かさを考慮した値付けを試み、使用法の指針を明らかにした。最終的に、本研究課題で得られた知見を総合して ISO/TC213 WG16 で規格草稿案に新規項目として盛り込む事ができた。

研究成果の概要（英文）：Design guidelines and specifications of surface texture standards for calibrating areal surface texture measuring instruments and also verifying their metrological properties were established. Then, their fabrication processes and reproducing techniques have been developed. Profile and areal random topography data were generated using a novel mathematical model in particular for contact stylus instruments. And some material measures as the molds were manufactured by an ultra-precision machine tool. Their duplications were made by electro plating and nano in-printing techniques. Additionally chirp-like signal waveform with constant maximum slope was fabricated by FIB process. The evaluation values were given to those surface standards by taking uncertainties into account. Finally, analyzing the obtained remarks, we proposed new items as a draft of ISO/TC213 WG16 and accepted.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	8,200,000	2,460,000	10,660,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：ナノ・マイクロ加工、表面性状、国際標準規格、不確かさ

1. 研究開始当初の背景

工業製品とりわけ機械製品の幾何特性仕

様の設定と検証を高水準で的確に実践することが地球規模で推し進められようとして

いる。なかでも表面性状は設計情報の重要な属性として掲げられており、関連する測定機の性能保証は喫緊の技術課題となっている。そのためには、測定機の校正と測定性能を同定するための確かな標準面を開発・供給することが必要である。昨今は光学式を含めた多種多様な測定機器が市場に出回っており、従前の工業標準では的確な対応ができない状況にある。国内・国際を問わず、当該分野のニーズに適合する標準規格化並びに実量器の製品化は非常に遅れている。

2. 研究の目的

面領域の三次元表面性状測定機を対象として、校正及び測定性能の検証を可能とする標準面の設計法と実用的な複製技術を開発し、併せて値付けの方法論を明確にする。また、標準面の実量器を実用化するための不確かさ解析を試み、市販測定機を対象として機能検証及び測定性能評価を行う。

更に、国際標準化機構の規格原案を提案するための技術資料を提示する。

3. 研究の方法

3.1 ISO/TC213 及び JIS における標準規格、草稿準備資料を中心とした技術情報調査と市場の動向調査

3.2 ソフトゲージデータの（決定論的・不規則凹凸）作成及びパッケージ化

3.3 マスター（金型）標準面実量器の製作

- ・超精密5軸制御加工機による金属面の加工；2次元及び3次元

- ・電子描画（EBL）装置によるレジスト面の加工；段差標準及び横周期標準

- ・集束イオンビーム（FIB）装置による固体表面の加工

3.4 測定標準面の複製と実用性の追求

3.5 測定標準面の不確かさ解析

3.6 市販測定機の機能検証及び測定性能評価

3.7 ISO/JIS へ新規規格化の提案

4. 研究成果

矩形面領域で繰返し連結が可能な3次元ランダム表面凹凸データに表面波長レンジを設定できるより汎用的なパッケージソフトウェアを完成させた。入力条件の自己相関関数に付帯条件を付加し、さらに計算時間の大幅な短縮化を図った。また、超精密5軸制御加工機の工具軌跡導出のアルゴリズムを改良し、金型材上のNi-Pめっき層に測定標準面（ランダム表面凹凸）を創製する加工システムの体系化を完了させた。続いて、標準面

実量器を上記の標準面から複製することを前提に、1次電鍍試料を安定かつ高精度に製造する技術開発を行った。実験計画法（タグチメソッド）を適用し、内部応力制御技術、液組成の最適化、離形処理技術、水素ガスの脱離技術などを開発することができた。ただし、電鍍では標準面に損傷を与える危険性があることが判明したため、樹脂材によるナノインプリント複製技術を代替技術とした。同じく実験計画法に基づいて最適な加工条件を導出した。標準面の損傷は皆無であったが複製品に収縮と巨視的なひずみが生じることが分かった。その定量化が可能なことを明らかにし、標準面実量器の値付けに反映させることで解決策とした。一方でEBによるレジストへのランダム面創製を試行したが、不確定要因が多いため高精度の標準面製作が非現実的なものであることを認識した。Si鏡面のFIB加工に際して、表面凹凸データからNC加工データに変換するためのアルゴリズムを開発し、ソフトウェア化を図った。具体的に表面波長スパンが $1\mu\text{m}$ で面領域の二乗平均平方根粗さ Sq が約 $0.1\mu\text{m}$ のランダム標準面（数十 μm 平方）を製作した。また、本標準面にも上記のナノインプリント技術を適用し、樹脂材の複製標準面が容易に製作できること、光学反射膜のスパッタリングも可能であることが分かった。

表面性状測定機の校正や測定性能を定量化するための測定標準面の設計指針を明確にした。すなわち、通常の校正作業にはステップ状の段差形状及び間隔標準面が適用されること、表面波長に対する振幅応答特性には凹凸面の最大傾斜が同一のチャープ信号波形面が合理的であること、表面性状パラメータの校正には表面波長及び傾斜の帯域幅を限定したランダム不規則凹凸面が必要であることを試作例に基づいて実証した。測定標準面の複製品が要求されることから、原型がNi-Pめっき層などの場合は原型の表面損傷を避ける目的から一次複製を樹脂基板とし、二次複製を電気鍍造技術により製造する技術開発を行った。多数の繰返し製造が十分な精度で行えることを確認した。ただし、熱収縮と微細形状部分の転写不完全性があるため表面性状パラメータの値付けには不確かさ値の付記が必須条件となることを提示した。光学式表面性状測定機において高倍率の測定性能を検証するためのチャープ信号波形を集束イオンビーム加工により試作した。加工後の表面凹凸データをフィードバック機能付きのAFMで測定し、設計データと相対比較した結果、適用した集束イオンビーム加工技術が十分な実用性を有していることが分かった。さらに、樹脂基板にナノインプリント技術で安定的に複製するための最適条件を確立することができた。若干の転写不

良箇所も観察されたが、市販の光学式測定機の振幅応答特性を把握する上では支障がないことを確認した。前年度に目的を達成できなかった電子ビーム加工によるレジスト面の凹凸形状創製を放射状の段差創製に変更し、光学式測定機の回折限界付近の測定挙動実験に供することとした。

最大傾斜を一定とした擬似的なチャープ信号波形を集束イオンビーム加工装置で安定的に製作するための設計データ処理と加工条件の選定規範を明確化させた。これにより、傾斜及び波長の範囲をパラメータとする段階的な標準面の工業的供給が可能となり、光学式表面性状測定機の性能検証が一般化する。特に短波長側の振幅応答特性が容易に得られることから、異機種間での測定データの相関性について解析が可能となった。また、急傾斜部において異常測定値となる原因を実験と理論の両面から究明を試みた。光学式測定機を対象とした検証はアスペクト比とデューティ比が一定となる矩形波のスター形標準面を用いて行い、電磁場のベクトル解析により現象を定性的に説明できることが分かった。これらの問題点に対して当面は画像データ処理の技法で異常値補正を行う必要があるに留める。ランダム標準面実量器の値付けはサンプリング条件及びネスティング指標に著しく依存することから、ソフトゲージデータの正当性を再検討した。源波形の生成条件に傾斜範囲を追加する必要性を提示し、計算アルゴリズムの改良並びに演算実験を試みた。マスター標準面は基準面積の繰り返し構造が適していることを再確認し、ネスティング指標の観点から少なくとも4面を要するとした。

ISO/TC213 WG16 での草稿案 (DIS 25178 シリーズ) における測定機の横方向像分解能の用語と定義に一貫性が欠けることを見出し、光学と計測学の両面から新たな定義づけが必要となることを明示した。同じく ISO/TC213 で制定した三次元の表面性状パラメータ (統合パラメータと形体パラメータ) の算出アルゴリズムを本研究課題の最終検討項目に掲げ、市販のソフトウェアと研究代表者らが開発したソフトウェアを対象に前記のソフトゲージデータに基づいて実験解析を行い、JIS 化に際しての問題点を明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

Kentaro Nemoto, Kazuhisa Yanagi, Masato Aketagawa, Ichiro Yoshida, Michimasa Uchidate, Takashi Miyaguchi and Hideki Maruyama : Development of a roughness

measurement standard with irregular surface topography for improving 3D surface texture measurement, *Measurement Science and Technology*, 20 (2009) 084023(7pp).

Tomonori Goto and Kazuhisa Yanagi : An optimal discrete operator for the two-dimensional Spline filter, *Measurement Science and Technology*, (2009) Vol.20 No.12 p.125105-125108doi:10.1088/09-0233/20/12/125105

根本賢太郎、柳 和久、明田川正人、内館道正、吉田一朗：面領域の表面性状測定機を対象とした測定標準に関する研究—第 1 報 粗さ測定用標準面の設計—、*精密工学会誌*、76, 3 (2010) 349-353.

Mohd Fauzi Ismail, Kazuhisa Yanagi and Hiromi Isobe : Characterisation of geometrical properties of electroplated diamond tools and estimation of its grinding performances, *Wear Special Issue*, doi:10.1016/j.wear.2010.04.030 (2010)

M. Uchidate, K. Yanagi, I. Yoshida, T. Shimizu and A. Iwabuchi : Generation of 3-D random topography datasets with periodic boundaries for surface metrology algorithms and measurement standards, *Wear Special Issue*, doi:10.1016/j.wear.2010.04.035 (2010)

Mohd Fauzi Ismail, Kazuhisa Yanagi and Akihiro Fujii : An outlier correction procedure and its application to areal surface data measured by optical instruments, *Measurement Science and Technology*, 21, Doi:10.1088/0957-0233/21/10/105105 (2010)

深津拓也、岡 和彦、柳 和久：焦点検出式輪郭測定センサを対象とした微細凹凸面による回折像解析、*精密工学会誌*、77, 4 (2011) 428-432.

A. Fujii, H. Suzuki and K. Yanagi : Development of measurement standards for verifying functional

performance of surface texture measuring instruments, 13th Int. Conf. on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, Journal of Physics: Conference Series 311, IOP Publishing (2011) 012009 (p.1-7), doi:10.1088/1742-6596/311/012009.

M. Uchidate, K. Yanagi, I. Yoshida, T. Shimizu, A. Iwabuchi : Generation of 3-D random topography datasets with periodic boundaries for surface metrology algorithms and measurement standards, Wear, 271(2011) 565-570.

[学会発表] (計 8 件)

M. Uchidate, K. Yanagi, I. Yoshida, T. Shimizu, and A. Iwabuchi : Generation of 3-D random topography datasets with periodic boundaries for surface metrology algorithms and measurement standards, Proc. of 12th Int. Conf. on Metrology & Properties of Engineering Surfaces, Rzeszow, Poland (2009 July)

山口晋均、柳 和久、田中秀岳、山岡正英 : ナノインプリント技術を用いた表面性状標準の複製、2009年度精密工学会秋季大会講演論文集、A10 (2009-9) .

Tomonori Gotoh and Kazuhisa Yanagi : An optimal discrete operator for the two-dimensional Spline filter, Proc. of Int. Conf. on Surface Metrology at WPI, Worcester, MA (2009 Oct.)

柳 和久、Francois Blateyron : 面領域の表面性状評価—幾何特性のスケール依存と表記法、トライボロジー会議 2010 春 東京予稿集、F28 (2010-May) 365-368

Akihiko Fujii, Hitoshi Suzuki and Kazuhisa Yanagi : A study on response properties of surface texture measuring instruments in terms of surface wavelengths, Proc. of ASPE 2010 Summer Topical Meeting, Ashville, North Carolina, (2010-June) 91-96.

柳 和久 : 【ワークショップ】 テクスチャ

表面のトライボロジー (2) テクスチャ表面の性状評価、日本機械学会2010年度年次大会、W1101(2) (2010-September) 187-188.

山岡正英、田中秀岳、柳 和久 : ナノインプリント技術を用いた表面性状標準の複製、2010年度精密工学会北陸信越支部学術講演会後援論文集、 (2010-Nov.)

A. Fujii, H. Suzuki and K. Yanagi : Development of measurement standards for verifying functional performance of surface texture measuring instruments, 13th Int. Conf. on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, NPL London (2011-April) 161-165.

藤井章弘、柳 和久 : 光学式の表面性状測定機を対象とした短波長測定限界に関する一考察、F61, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会、首都大学東京 (2012, 3)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件) ○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳 和久 (YANAGI KAZUHISA)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号 : 80108216

(2) 研究分担者

明田川正人 (AKETAGAWA MASATO)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号 : 10231854

田中秀岳 (TANAKA HIDETAKE)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号 : 10422651

深津拓也 (FUKATSU HIROYA)
東京都立産業技術高等専門学校
研究者番号 : 80228866

内舘道正 (UCHIDATE MICHIMASA)
岩手大学・工学部・助教
研究者番号 : 30422067