

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山本正樹

本論文はハイアスペクト比マイクロ部品用形状測定技術の開発と題し、8章からなる。

第1章「緒言」では本研究の背景と目的について述べている。機械部品の小型化は近年あらゆる産業分野において重要性が高まっている。液体噴射ノズル、微細金型、マイクロ歯車、微細穴に代表される部品は、最小寸法が数十 μm ～数百 μm で、高さ方向に大きな寸法を持ち、本研究ではハイアスペクト比マイクロ部品と呼ぶ。これら部品の形状測定においては、従来の機械測定装置は構造の細かさのため測定不能となり、光学顕微鏡・電子顕微鏡・AFMも3次元構造に十分対処できないという課題がある。これより、ハイアスペクト比マイクロ部品に特化した測定手法の開発は急務であり、これを本研究の目的とすることを述べている。

第2章「微細放電加工機用オンマシン計測の提案」では、微細放電加工の加工物に適用可能なオンマシン計測技術について提案している。微細放電加工はハイアスペクト比マイクロ部品の試作に適し、加工機もすでに市販されている。本論文においては、増沢らの開発したパイプロスキャンニング(VS)法を微細放電加工機に搭載している。VS法は電気導通を検出原理としているが、放電加工の加工物はこの条件を満たしているので問題がない。実験により、放電加工特有の加工液・加工屑の存在に対してVS法の測定が影響されにくいことを明らかにしている。直径100 μm の微細穴の繰り返し測定より、 $\pm 0.5\mu\text{m}$ の再現性を確認している。

第3章「汎用微細形状測定システムの開発」では、VS法オンマシン計測における問題点を、測定速度・測定精度・任意形状測定・使い勝手の観点から整理している。これら問題点を、制御系の工夫を行った新型VS測定ヘッドと、システム化に工夫を行った汎用測定装置の開発により解決することを提案している。新型VS測定ヘッドは、市販の真円度測定装置との比較測定実験において、触針サイズ・接触圧の違いにもかかわらず、最大0.4 μm の誤差で測定結果の一致を見ることを示している。この汎用測定装置は顕微鏡下での測定点教示を可能とし、異形状を容易に測定できることを示している。

第4章「共振型センサの小型化検討」では、VS法が非導電体や厚い酸化膜をもつ測定対象を計測できないという課題を、共振型センシング方式の導入により解決する方法について提案している。まず、近年技術進展の著しい水晶振動子を用いたAFM技術について調査を行い、この技術とVS法を融合する提案をおこなっている。VS法の触針を水晶振動子の先端に接着固定する手法を考案し、新型のセンサを試作している(TVSセンサ)。測定実験の結果、測定対象として用意

したブロックゲージ表面を $\pm 0.2 \mu\text{m}$ の再現性で測定が可能であることを明らかにしている。

第5章「共振型VS法の検討」では、水晶振動子を用いたTVSセンサが、水晶振動子の共振エネルギーが大きいため応答速度が遅いこと、また、微細組立て作業が要されるため製作歩留まりが悪いこと、に注目し改善方法について提案している。つまり、応答速度を高めるために微細触針のみを共振させる構造（RVSセンサ）を考案し、また、平面基板を用いた新加工プロセスの導入により微細組立てを不要にしている。RVSセンサを用いたブロックゲージの測定で、再現性 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ を明らかにしている。また、同時開発した専用測定装置を用いて、ポリイミドフィルム上の微細穴や、マイクロ歯車の歯面計測実験を行いその有用性を確認している。

第6章「共振型VS法の実用化」では、RVSセンサを産業界に導入する上で既存の3次元測定機と組み合わせることが導入・維持コストを最小化するために有効であることを述べている。さらに、この組み合わせにおける課題が3次元測定機のオーバートラベルによるRVSセンサの座屈破壊であることを明らかにしている。本研究では、RVSセンサを接触検出と同時にZ方向に引き上げる制御を導入し、RVSセンサにZ方向の選択的コンプライアンスを与えることでこの課題を解決している。開発したシステムはXYZ全軸において繰り返し精度 $\sigma = 0.02 \mu\text{m}$ を達成している。なお、本開発システムはユーザ先に納品され、実稼働に至っている。

第7章「新しい知見と産業へのインパクト」では、実際のハイアスペクト比マイクロ部品のRVSセンサによる測定結果を示し、明らかになった知見について述べている。また、ハイアスペクト比マイクロ部品の測定技術に関する他の研究動向の調査結果を述べ、RVSセンサが測定対象に応じて最適な触針形状を提供出来る点で優れていると結論している。

第8章「結論」では、提案した各方法について、この研究であきらかになった知見についての結論がまとめられている。

以上、本論文は、導電検出を利用したVS法から研究を開始し、共振現象を利用したTVSセンサ・RVSセンサを開発することで、ハイアスペクト比マイクロ部品の測定技術の開発に成功している。また、RVSセンサを既存の3次元測定機と組み合わせることにより、産業界における実用化の路を開くことにも成功している。これらの結果は工学、工業の両面においてその発展に寄与するところ大である。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。