

## 論文審査の結果の要旨

氏名：内 田 元

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名： 砥石表面の定量的評価と研削仕上面の予測に関する研究

審査委員：（主査） 教授 山 田 高 三

（副査） 教授 星 野 倫 彦 特任教授 李 和 樹

短期大学部教授 三 浦 浩 一

研削加工とは、砥粒を結合剤で結合した砥石を工具として用いて、工作物の表面を除去する加工法である。主な加工対象物として、エンジンのクランクシャフトやパワー半導体素子に用いる硬脆材料、天体望遠鏡のミラーが挙げられ、それらの鏡面仕上げに用いられる。工作物表面には砥粒形状および通過軌跡が転写されるため、仕上げ面粗さは砥石表面形状が重要となる。用いる砥石でどの程度の仕上げ面粗さになるかを予測できれば良いが、実際の砥石を用いて研削し、仕上げ面粗さを測定し確認しているのが現状である。これでは生産効率を上げることができないため、砥石表面形状から研削後の仕上げ面粗さを予測する技術が望まれている。

そのような観点から、砥石と工作物の相対的な運動軌跡によるシミュレーションから研削仕上げ面粗さを予測する研究が多くなされている。しかし、これらの研究に用いている砥石表面は幾何学的に定義されたものであり、実際の表面形状とは異なっている。そのため、得られる仕上げ面形状は実際のものと同じとは言えない。また、シミュレーション手法においては、砥粒と工作物の弾塑性挙動を正しく加味したものは少なく、加味していてもパラメータに予測値を用いているなどしており、実用的に研削仕上げ面を予測するには至っていない。

本研究は、砥石の表面形状を正確に測定する装置を試作し、得られた砥石表面形状を定量的に評価し、評価した値と研削仕上げ面粗さや研削抵抗が密接に関係していることを明らかにしており独創性の高い成果を挙げている。さらに砥石表面形状から研削仕上げ面を予測する研削シミュレータを試作し、実際の砥石表面から研削仕上げ面を定量的に予測できることも実証しており、工学的寄与の高い成果を挙げている。

本論文は6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

「第1章 序論」では、学位論文の序論として、本研究の背景にある研削加工における研削仕上げ面の予測の難しさについて述べている。従来から多くの研究者によってなされてきた研削仕上げ面粗さの予測手法の課題について明らかにし、それらの課題点を解決するために、まず新たな砥石表面測定法の提案が必要であることを挙げている。そして本研究では、測定した結果から砥石表面状態を定量的に評価し、さらに砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮した研削仕上げ面の予測を目的としていることについて述べている。

「第2章 点合焦輪郭曲線法を応用した測定後焦点位置検出法の提案」では、砥石表面を高精度かつ高能率に測定するために、新たな測定法を提案している。これまでの測定法として、微細表面を高精度に測定できる点合焦輪郭曲線法と呼ばれるレーザを用いたものがあるが、本研究では、これを応用した測定後焦点位置検出法と呼ぶ測定法を考案している。点合焦輪郭曲線法では、レーザの焦点が測定対象物に合うように対物レンズを自動で移動させながら測定していた。しかし、提案した測定法では測定中に対物レンズを移動させずに固定して測定を行うため、焦点を合わせる制御が必要なくなるため測定効率が上げられる利点がある。この測定原理と装置の構成について述べている。

「第3章 測定後焦点位置検出法の測定精度の検証」では、試作した砥石表面測定装置の測定精度を検証するために、鋼球と遊離砥粒、ビトリファイド砥石の測定を行っている。鋼球を測定した結果より、提案した本測定法では傾斜角  $60^\circ$  以下であれば高精度に測定できることを述べており、砥石表面上に分布している砥粒形状においては、この傾斜角であれば十分に測定できることを明らかにしている。また遊離砥粒を測定した結果より、材質や屈折率などが異なる遊離砥粒 WA60, A60, GC60 に対して、どれも高精度に測定できることを明らかにしている。ビトリファイド砥石 WA60J7V を測定した結果より、ビ

トリファイド砥石は一般的に砥石表面に光沢が多くレーザ測定が困難であるが、実画像と比べても高精度に測定できることを明らかにしている。

「第4章 砥石表面状態の定量的評価と砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響」では、ドレッシング条件としてドレッシンググリードやドレッサ先端形状を変えた際の、砥石表面状態の違いを定量的に評価している。さらに、砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響について検討している。その結果として、測定した砥石表面結果から砥粒切れ刃密度や砥粒接触面積率、連続切れ刃間隔、1刃当たりの接触面積を算出することが可能であることを明らかにしている。さらにドレッシンググリードに対して、算出した連続切れ刃間隔は研削仕上面粗さと関係性があり、さらに1刃当たりの接触面積は法線抵抗と関係性があることがわかった。これより、砥石表面を測定することで、研削仕上面粗さや法線抵抗を予測することが可能であることを明らかにしている。

「第5章 仕上面創成シミュレータによる研削仕上面の予測」では、研削時における砥粒の弾性変位量、工作物の弾性回復量、そして工作物の塑性変形による掘り起こしを考慮した仕上面創成シミュレータの試作について述べている。砥石表面の測定結果を用いて上記を考慮したシミュレーションを行い、実研削とシミュレーションの断面形状および研削仕上面粗さを比較した。その結果、実研削結果とシミュレーション結果は、工作物断面形状および研削仕上面粗さともに大変よく再現できていることが確認できた。さらに、研削パス回数が増加するに従い、研削仕上面粗さが収束する様子も確認できた。これは所望の研削仕上面粗さを得るためにはどのくらいの研削パス回数が必要であるかを研削前に予測できることを示しており、研削加工の高能率化が達成できている。最後に、ドレッシンググリードの異なる砥石で研削した結果、各ドレッシンググリードにおいて実研削とシミュレーションの研削仕上面粗さが一致したことから、異なる砥石表面状態の砥石においても、本シミュレータにより研削仕上面粗さを予測できることを明らかにした。

「第6章 結論」は、本論文の成果と今後の展望について整理し、結論としている。本論文では、砥石表面状態の違いを定量的に評価し、砥石表面状態の違いが研削特性に及ぼす影響を明らかにしている。また、砥粒および工作物の弾塑性挙動を考慮したシミュレータにより、研削仕上面を高精度に予測できることを明らかにしており、今後の加工現場での生産効率の向上への寄与が期待される。

以上、本論文に記載されている研究は、執筆者である内田元氏が主体的に行ったものであり、また、その成果は、内田氏を筆頭著者とする4編の学術論文として既に出版、または受理されている。このことは、本論文の提出者が自立して研究活動を行い、又はその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示すものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

令和3年10月14日