

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：11201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760096

研究課題名(和文) 研削面創成メカニズムの解明および超安定超精密研削への応用

研究課題名(英文) Study on the formation mechanism of ground surface and application to fluctuation-free ultra-precision grinding

研究代表者

吉原 信人 (YOSHIHARA, Nobuhito)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号：80374958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、研削面を平滑化・均一化するために最適な研削条件を明らかにすることである。そのために新たな砥粒形状モデルや砥石の振動を考慮した研削面創成モデルを提案し、研削条件と研削面の粗さおよびうねりの関係を明らかにした。またその関係を基に研削面のシミュレーションを可能とし、最適な研削条件を選定する指針を示すことを可能とした。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this study is to reveal the optimum grinding condition in order to obtain the smooth and uniform ground surface. To achieve this purpose, shape of abrasive grain and vibrating grinding wheel is newly proposed. As a result, relationship between grinding condition and waviness and roughness of ground surface is revealed theoretically. And based on this result, it is enabled to suggest the optimum grinding condition.

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：超精密超安定研削 ナノトポグラフィー 統計的研削理論 研削面粗さ 研削面うねり

1. 研究開始当初の背景

工作機械の高精度化によりナノメートルオーダーの位置決め精度が得られるようになってきている。しかしその高精度な工作機械を用いて加工される工作物の形状精度は数十ナノメートルオーダーである。さらなる高精度化を実現するためには研削面創成メカニズムを解明し、研削条件がそれぞれ研削面創成において、どのような役割を果たしているのか明らかにする必要がある。本研究では超精密研削のさらなる高精度化を目的として、理論的な解析および研削実験による研削面創成メカニズムの解明し研削条件の最適化の指針を明らかにする。

2. 研究の目的

本研究は、研削面を平滑化・均一化するために最適な研削条件を明らかにすることを目的とする。そのために、砥石作業面の状態と研削点の振動を考慮したモデルを基に、研削面創成メカニズムの理論的な解析を行う。そして理論的な検討と研削実験の結果から研削面創成メカニズム明らかにし、最適な研削条件を選定する指針を得る。また得られた研削条件の選定指針に基づいて超精密研削を実施できる超安定超精密研削システムを構築する。

3. 研究の方法

研削面創成メカニズムを明らかにするためには、まず研削条件の正確な把握が必要である。これまでの研究から、砥石周速や工作物送り速度には揺らぎが存在することが明らかになっている。また砥石の振動により砥石半径切り込み深さは常に変化する。さらに集中度や砥粒突き出し量など砥石作業面の状態によっても、研削条件は変化すると考えられる。本研究では研削面創成のメカニズムを明らかにし、超精密研削のさらなる高精度化に応用する。ここで研究期間内に明らかにしなくてはならない点、および開発しなくてはならない技術は以下の通りである。

(1) 研削条件の把握

砥石周速(砥石回転数)、工作物送り速度、砥石半径切り込み深さを測定する。また砥粒突き出し量や砥粒の分布といった砥石作業面の状態、砥石のアンバランスなどに起因する研削点の振動を測定する。そしてこれらの研削条件と研削面の状態の関係を調べる。

(2) 研削面粗さの解析(統計的研削理論の確立)

研削面の粗さを解析する考え方として、統計的研削理論がある。応募者らはこの統計的研削理論の考え方を基に、トラバース研削面の粗さの解析を進めている。これまで統計的研削理論には砥石半径切り込み深さの影響が考慮されていなかった。そこで統計的研削理論の研削モデルに砥石半径切り込み深さ

の影響を加える。これにより砥石振動による砥石半径切り込み深さ変動も考慮して、研削条件と研削面粗さの関係を解析できるようにする。

(3) 研削面うねりの解析(ナノトポグラフィー創成理論の確立)

研削面のうねりを解析する考え方としてナノトポグラフィー創成理論がある。この理論は応募者らが発案したものであり、砥石の振動が工作物に転写され、うねりを形成していく過程を解析したものである。研削面創成メカニズムを解明するために、この理論に研削条件の変動および砥石作業面の状態を反映させる。そして研削条件とうねりの関係の解析を可能にする。

(4) 超精密研削を実現するための研削条件選定指針を得る(統計的研削理論とナノトポグラフィー創成理論の統合、最適研削条件の導出)

超精密研削をさらに高精度化するためには、粗さ・うねりの両者ともに良好な研削面が得られる研削条件を見出す必要がある。そのために統計的研削理論とナノトポグラフィー創成理論を統合し、最適な研削条件の選定指針を算出する。また得られた最適研削条件を実施するために、研削盤に対して求められる仕様を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 研削条件の把握

研削面断面プロファイルの周期性が研削条件によって変化することを明らかにした(図1)。この結果から断面プロファイルと研削条件の関係を明らかにし、断面プロファイルの測定結果を基に研削条件を算出する手法を提案した。

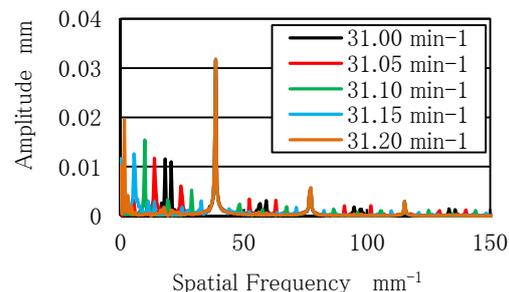
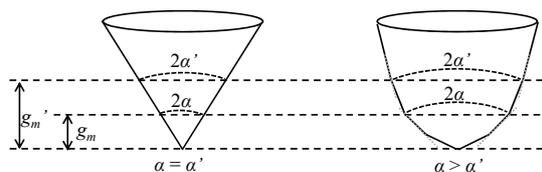


図1 研削条件が断面プロファイルのFFT解析結果に及ぼす影響

(2) 研削面粗さの解析

砥粒形状の影響を考慮し、統計的研削理論を再構築した。砥粒を半頂角が一定ではない形状として仮定し(図2)、実際の研削面から砥粒切込深さと半頂角の関係を調べた。その結果、半頂角は一定ではなく、先端にいくほど鈍化する砥粒形状が確認された。この砥粒半頂角の分布を統計的研削理論における砥

粒半頂角の項に反映させることにより，正確な研削面粗さの解析が可能になることを明らかにした。



(a) 従来モデル (b) 提案モデル

図2 砥粒形状モデル

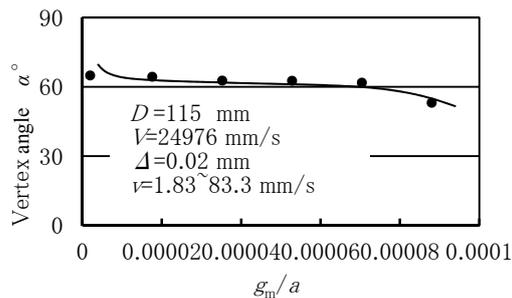
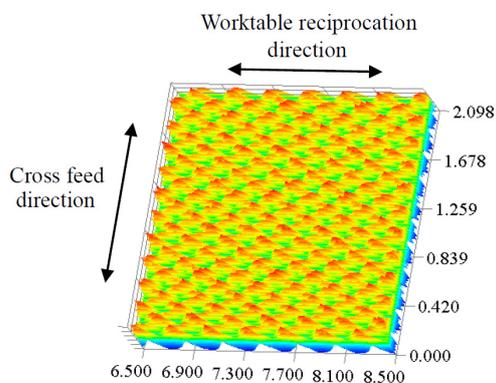


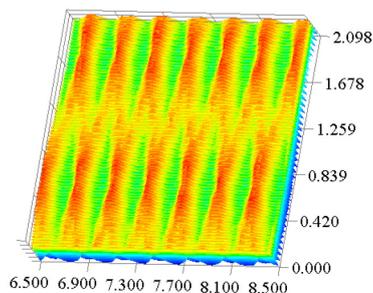
図3 砥粒半頂角の分布

(3) 研削面うねりの解析

研削面うねりと研削条件の関係をナフトポグラフィー創成理論に基づき解析した。研削条件を指定することにより，研削面うねりがシミュレートすることが可能になった(図4)。



(a) 41.00min^{-1}



(b) 41.10min^{-1}

図4 研削面うねりのシミュレーション結果例

これらのシミュレーション結果から，うねりの振幅が研削条件に対して周期的に変化することが明らかになった(図5)。この結果から，研削面うねりの振幅が極小値をとる最適な研削条件が存在することが明らかとなった。

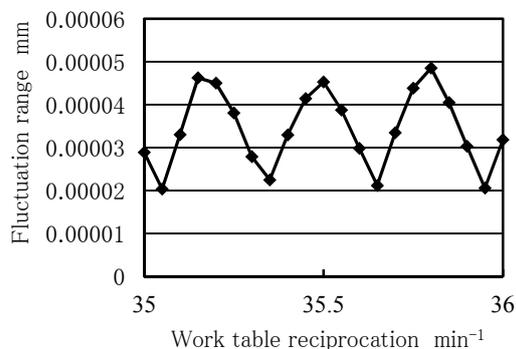


図5 研削条件とうねり振幅の関係

(4) 研削条件の選定指針について

図5に示したように，研削面うねりの振幅は周期的に変化し，極小値をとる研削条件を選定する必要がある。この解析を幅広い研削条件で行った結果を図6，図7に示す。

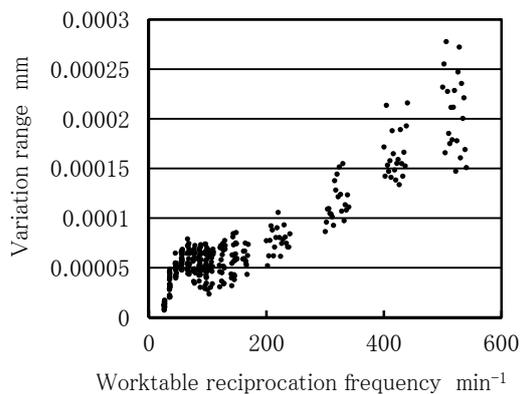


図6 工作物送り周波数がうねり振幅に与える影響

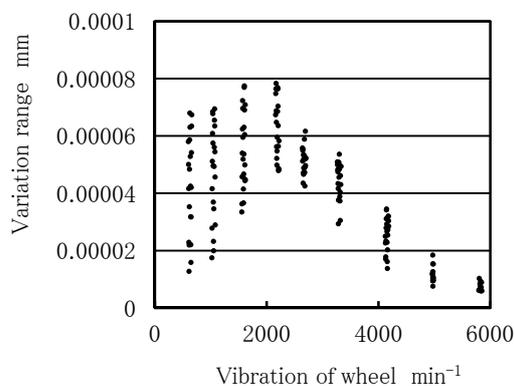


図7 砥石軸の振動数がうねり振幅に与える影響

これらの結果から研削面うねりの極小値自体が研削条件の影響により大きく変化することがわかる。このように巨視的な観点からも研削条件の選定指針を得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

① Nobuhito Yoshihara, Kyohei Horoya, Naohiro Nishikawa, Masahiro Mizuno and Toshiro Iyama, Grinding characteristics of high-speed reciprocation profile grinding, Proceedings of the International conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century, 査読有, 7, 2013, pp. 519-522.

② Nobuhito Yoshihara, Hiroaki Murakami, Naohiro Nishikawa, Masahiro Mizuno and Toshiro Iyama, Effect of the grain depth of cut on cross sectional profile-Theoretical analysis of ground surface roughness-, Advanced Materials Research, 査読有, 565, 2012, pp. 28-33.

〔学会発表〕(計4件)

① 中川智晴, 吉原信人, 西川尚宏, 水野雅裕, 井山俊郎, 統計的研削理論による研削面粗さの解析, 2013年度精密工学会東北支部学術講演会, 2013. 12. 07, たざわこ芸術村(秋田県)

② 吉原信人, 袈屋恭平, 西川尚宏, 水野雅裕, 井山俊郎, ハイレスプロ研削に関する研究, 2013年度砥粒加工学会学術講演会, 2013. 08. 28-29, 日本大学(東京)

③ 吉原信人, 村上拓明, 西川尚宏, 水野雅裕, 井山俊郎, 砥粒切込み深さが断面プロファイルに与える影響(研削面粗さの理論解析に関する研究), 第9回生産加工・工作機械部門講演会, 2012. 10. 27-28, 秋田県立大学(秋田県)

④ Nobuhito Yoshihara, Kyohei Horoya, Naohiro Nishikawa, Masahiro Mizuno, Toshiro Iyama, Study on high-speed reciprocation grinding, International Symposium on Micro/Nano Mechanical Machining and Manufacturing, 2012. 04. 18-20, 松島一の坊(宮城県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉原 信人 (YOSHIHARA, Nobuhito)

岩手大学・工学部・准教授

研究者番号: 80374958