



Title	歯車歯形成形研削加工のインプロセス誤差補正に関する研究
Author(s)	原田, 孝
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/42102
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	はら だ たかし 原 田 孝
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 5 4 3 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成12年 3 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科機械システム工学専攻
学 位 論 文 名	歯車歯形成形研削加工のインプロセス誤差補正に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三好 隆志 (副査) 教 授 花崎 伸作 教 授 城野 政弘 助教授 高谷 裕浩

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、機上で整形された総形砥石を用いた平歯車およびヘリカル歯車歯形の成形研削加工において、高精度の歯形研削加工を無人で行わせることを目的とし、砥石整形誤差、歯形成形研削誤差（以下、加工誤差と略す）に対し、形状測定誤差にロバストなインプロセス計測アルゴリズムを提案し、計測された誤差を加工機械にフィードバックする研究成果をまとめたものであり、以下の8章から構成されている。

第1章では、本研究の背景、従来の研究をまとめ、本論文の目的および本論文の構成について述べている。

第2章では、歯形の形状計測の基本的な幾何学関係式および、ヘリカル歯車を成形研削加工するための総形砥石の輪郭計算方法についてまとめている。

第3章では、本研究の計測モデルでは、直接測定量である形状測定誤差と、間接測定量である歯形加工パラメータの推定誤差との関係が、陰関数で表現されることを示し、陰関数で表現される計測モデルの誤差伝播解析と、特異値分解を用いた計測のロバスト性の評価方法を提案している。

第4章では、平歯車歯形の成形研削加工において、加工誤差が存在する場合の歯形曲線と、形状測定データとの距離を表現する幾何学モデルを導出している。非線形の最小二乗法を用いて、加工誤差を求めるアルゴリズムを提案すると共に、数値シミュレーションを用いて加工誤差が推定されることを示している。

第5章では、第4章の計測方法に対して、第3章で示した誤差伝播解析を適用し、最小二乗法の計算に、歯形モデルの構造的な特徴を利用することにより、測定誤差にロバストな計測アルゴリズムを提案している。このアルゴリズムを実機に適用し、高精度の歯形加工誤差補正を実現している。

第6章では、ヘリカル歯形の成形研削加工において、歯形計算に用いる非線形方程式の高次の陰関数微分から、加工誤差推定の最小二乗法に用いるヤコビ行列を導出し、加工誤差を厳密に推定するアルゴリズムを提案すると共に、数値シミュレーションを用いて加工誤差が推定されることを示している。

第7章では、第6章の計測方法に対して、第3章で示した誤差伝播解析を適用し、従属性が強いパラメータを除去すると共に、歯形部だけでなく歯底部の形状測定データを用いることにより、形状測定誤差にロバストな計測アルゴリズムを提案している。この計測アルゴリズムを実機に適用した結果の評価と課題に関してまとめている。

第8章では、本研究で得られた結論を総括している。

論文審査の結果の要旨

近年、駆動装置の低騒音化や燃費向上のために、乗用車や一般の産業用機械の歯車装置においても、研削仕上げを行った歯車が用いられるようになってきた。中でも、本研究で対象とする成形研削加工は、歯面修正や無人化の容易な歯車研削方法として、近い将来、多品種少量生産の分野で中心的な存在になるものと予想されている。しかし、NC工作機械の熱変形やリンクアラインメント誤差などの影響で、砥石整形や歯形研削に加工誤差が生じ、従来は、熟練作業者の経験に基づいて加工誤差の補正が行われているため、加工に時間がかかり、それに従い、加工コストがかさむという問題がある。このような背景のもとに、本研究では、歯形の成形研削における加工誤差を、機上でインプロセス計測し補正する手法を提案し、実験により有効性を検証するものであり、その成果を要約すると以下のようになる。

- (1) インポリュート平歯車の成形研削加工に対して、加工された歯形形状を測定し、最小二乗法を用いて砥石整形誤差および成形研削誤差を推定し補正するアルゴリズムを提案している。形状測定誤差のない理想状況では、推定誤差ゼロで加工誤差が計測されることと、形状測定誤差がある場合には、片側の歯形のみを用いた計測方法では、加工誤差の推定値に大きな誤差がのることを明らかにしている。
- (2) ヘリカル歯形の成形研削加工に対して、歯形計算における包絡線の条件および、形状測定データと歯面の法線の条件を陰関数の拘束条件と見なし、歯形計算に用いる非線形方程式の高次の陰関数微分から歯形誤差推定のためのヤコビ行列を導出し、形状測定に基づいた加工誤差のモデル化方法と推定方法を提案している。ヤコビ行列の計算のために、砥石輪郭形状の4階微分あるいは、正規歯形形状の5階微分を用いる必要があることを明らかにしている。
- (3) 本研究の形状測定が多入力多出力の非線形陰関数モデルを用いた間接測定であることを示し、このモデルに対する誤差伝播解析と、誤差伝播行列の特異値分解を用いたロバスト性の評価方法を提案している。直接測定量誤差領域を外包する超球を間接測定量空間に射影した円体を、誤差円体として提案している。誤差円体の主軸方向が長い方向の間接測定量は、直接測定量の誤差に対してセンシティブになることを明らかにしている。
- (4) (1)の平歯車歯形の成形研削加工誤差計測方法に対して、(3)の計測のロバスト性の評価方法を適用し、形状測定誤差にロバストな加工誤差推定方法を提案し、実機実験により有効性を確認している。左右の歯形測定データを利用し、かつ、左右の歯形のオフセット角度誤差が同じで、ドレッサ回転軸心誤差が小さいという加工モデルの構造的な特徴を最小二乗計算に拘束条件として与えることにより、形状測定誤差にロバストな加工誤差計測アルゴリズムが構築できることを明らかにしている。
- (5) (2)のヘリカル歯形の成形研削加工誤差計測に対して、(3)の計測のロバスト性の評価方法を適用し、形状測定誤差にロバストなヘリカル歯形の加工誤差計測アルゴリズムを提案し、実機実験により有効性を確認している。砥石整形時のドレッサ位置パラメータと、研削加工時のワークと砥石の軸間距離パラメータは独立性が低い関係にあるので、砥石外径を直接測定し、推定するパラメータから除外すると共に、歯形部分だけでなく、歯底部分の形状測定データを用いることで、形状測定誤差にロバストな計測を行えることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、高階の微分方程式を用いた微分幾何学的手法を用いて、歯車歯形の成形研削加工誤差計測アルゴリズムを構築するという理論的な提案を行うと共に、実際の計測における測定誤差まで考慮することで現実の加工機械へ適用することを可能にしておき、生産システム工学ならびに機械工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。