

氏名	なかだ しんpei 仲田 慎平
学位(専攻分野)	博士 (工学)
学位記番号	博甲第 460 号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 26 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学位論文題目	歯車のプランジカットシェービングのコンピュータシミュレーションに関する研究 (主査)
審査委員	教授 森脇一郎 教授 秋山雅義 教授 土屋八郎 助教授 森田辰郎

### 論文内容の要旨

本研究は、歯車のシェービング加工の中でも使用頻度が高いプランジカットシェービングを対象とし、加工中のシェービングカッタ歯面と被加工歯車歯面の接触状態を解析し、被加工歯車の仕上り歯形をコンピュータシミュレーションによって計算する方法について論じたものである。本論文では、両歯車歯面の接触状態を正確かつ容易に求めるために、両歯車歯面に歯面修整または歯形誤差を与えて接触させ、歯面に作用する荷重を計算し、シェービングカッタおよび被加工歯車の歯の弾性変形量を求め、カッタ切れ刃の切込み量と被加工歯車歯面の材料除去量を評価する方法を提案している。本論文は、緒論、本論 5 章、結論から構成されている。

緒論では、歯車の製造におけるシェービング加工の位置付けからはじまり、シェービングカッタの設計法およびその歯面形状の計算方法に関する研究の状況について述べている。さらに、研究目的および論文の構成について述べている。

第 2 章では、プランジカットシェービングにおいて、シェービングカッタ歯面と被加工歯車歯面の初期不整量を求め、シェービングカッタ歯面上に設けた切れ刃の被加工歯車歯面への切込み量を評価する方法と、カッタ切れ刃の切込み量から被加工歯車歯面の材料除去量を評価する方法について述べている。そして、これらの評価方法を取り入れたシミュレーションプログラムの作成方法を提案している。

第 3 章では、シェービングカッタと被加工歯車のかみ合いの進行に伴う、両歯車歯面の接触領域の移動について述べている。両歯車の回転角度と両歯車歯面の接触領域の関係について考察し、プランジカットシェービングシミュレーション中には、両歯車歯面の接触領域が創成母線に沿った帯状の領域になることを明らかにしている。

第 4 章では、シェービング加工中の被加工歯車の被動側歯面と従動側歯面に作用する荷重のつりあいについて述べ、被加工歯車をシェービングカッタに連れ回りさせたとき、被加工歯車の回転のシェービングカッタの回転に対する進み、遅れの変化を明らかにしている。

第 5 章では、シェービング加工中のカッタの歯と被加工歯車の歯の曲げたわみの評価方法について述べている。両歯車の歯のたわみを簡易的に評価するために、平板モデルによる計算方法およびスクリューパラメータによるカッタ切れ刃の切れ味の評価方法を提案し、平板のたわみと歯

のたわみの関係を明らかにしている。

第6章では、シェービングカッタの切れ刃の切れ味および被加工歯車の前切り歯形について述べ、シェービング加工後の歯形に及ぼす影響を明らかにしている。シェービングカッタの切れ刃の切れ味は、カッタ切れ刃を走査型電子顕微鏡(SEM)で撮影し、写真からカッタ切れ刃先端の丸み測定および評価し、シミュレーションに導入する方法を紹介している。被加工歯車の前切り歯形は、正規乱数を発生させ、JIS精度等級に応じた形状誤差を与える方法を紹介している。最後に、第7章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の展開および問題点について言及している。

## 論文審査の結果の要旨

熱処理前の歯車歯面の仕上げ加工法であるシェービング加工で用いるシェービングカッタの設計に利用するために、シェービングカッタと被加工歯車の歯の弾性変形およびカッタ歯面上に設けた切れ刃の切れ味の分布を考慮したシミュレーションプログラムを作成し、計算の結果と実加工の結果を比較している。さらに、シミュレーションプログラムの解析精度を向上させるために、シェービングカッタと被加工歯車の位相差、加工中の歯の弾性変形、カッタ切れ刃の切れ味の新しい評価方法を提案している。ここでは、シェービング加工の中でも特に使用頻度が高いプランジカット方式を対象にしている。

作成したシミュレーションプログラムには、新しい特殊要素である歯面膜要素を適用しており、シェービングカッタと被加工歯車の歯面の接触状態を高精度かつ容易に解析できるようにしている。この接触状態の解析結果から、シェービングカッタと被加工歯車のかみ合いの進行に伴う、被加工歯車歯面の接触領域の移動量を明らかにしている。

新たに提案したシェービングカッタと被加工歯車の位相差の評価方法は、シミュレーション中のシェービングカッタ歯面と被加工歯車歯面の初期不整量を求め、ヘルツの接触理論から歯面に作用する荷重を計算し、被加工歯車の被動側および従動側の歯面に作用する荷重のつりあいから両歯車の位相差を評価する方法である。歯の弾性変形の評価方法は、シェービングカッタと被加工歯車の歯を平板にモデル化し、歯面に作用する荷重から簡単にたわみ量を評価する方法である。カッタ切れ刃の切れ味の評価方法は、両歯車のかみ合いにおける瞬間軸の挙動を示す特徴量であるスクリューパラメータを導入し、シェービングカッタ歯面上の切れ刃の切れ味の分布をこのパラメータによって変化させる方法である。

上記の新しい評価方法をシミュレーションプログラムに導入し、実加工の結果とよく一致する被加工歯車の仕上がり歯形を予測することができている。

以上のように、シェービングカッタの設計指針を確立するとともに、その知見はシェービング加工に限らず、軸交差式の加工法全般に対しても応用できるものであり、学術的にも工業的にも高く評価できる。

本論文の内容は、以下に示す7編の学術論文として公表されており、そのうち5編は申請者が筆頭著者である。

- (1) Ichiro Moriwaki, Shimpei Nakada, Yukio Morita, Akihiro Hamano: A NEW METHOD OF

GEAR SHAVING SIMULATION, Proceedings of 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, CD, (2002).

- (2) I. Moriwaki, K. Sugimura, S. Nakada: Tool Wear of Gear Shaving Cutter (Evaluation of Edge Radius from SEM Images), Proceedings of the 2nd International Conference on Tribology in Manufacturing Processes, pp.195-202, (2004).
- (3) 仲田慎平, 森脇一郎, 盛田幸雄, 原田孝, 濱野昭宏: 齒車のプランジカットシェービングのコンピュータシミュレーション, 日本機械学会論文集, C, 71-712, pp.3554-3560, (2005).
- (4) Shimpei Nakada, Ichiro Moriwaki: REDUCTION OF CALCULATION TIME IN GEAR SHAVING SIMULATION, Proceedings of International Technology and Innovation Conference 2006 (ITIC2006), CD, (2006).
- (5) 仲田慎平, 森脇一郎, 盛田幸雄, 濱野昭宏: 齒車のプランジカットシェービングのコンピュータシミュレーション（被加工歯車の伝達誤差の検討）, 日本機械学会論文集, C, 投稿中.
- (6) 仲田慎平, 森脇一郎, 盛田幸雄, 濱野昭宏: 齒車のプランジカットシェービングのコンピュータシミュレーション（歯の曲げたわみ計算への平板曲げモデルの適用）, 日本機械学会論文集, C, 投稿中.
- (7) Shimpei Nakada, Ichiro Moriwaki: Effect of pre-shaved form and cutter performance in plunge cut shaving, 2007 ASME International Design Engineering Technical Conferences (IDETC2007), 投稿予定, Abstract を Accept 済み.