

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	切込み量制御および加工力検出を実現した回転形工具サーボによる微細表面構造の創成
Title(English)	
著者(和文)	田村勇樹
Author(English)	Yuuki Tamura
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10537号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉岡 勇人,新野 秀憲,初澤 毅,進士 忠彦,松村 茂樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10537号, Conferred date:2017/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	田村 勇樹	
論文審査 審査員		氏名		職名	氏名	職名
	主査	吉岡 勇人		准教授	松村 茂樹	准教授
	審査員	新野 秀憲		教授		
		初澤 毅		教授		
進士 忠彦			教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「切込み量制御および加工力検出を実現した回転形工具サーボによる微細表面構造の創成」と題し、緒論および結論を含む全6章から構成されている。

第1章「緒論」では、機能表面およびマイクロレンズアレイなど微細表面構造部品の需要が高まっていることを指摘し、このような微細表面構造の創成に対して工具近傍のみを局所的なアクチュエータを用いて高速で駆動する高速工具サーボが開発され、加工時間の短縮が実現されていることを述べている。また従来の高速工具サーボは旋削加工を対象としており複雑形状に対する微細表面構造創成は難しいため、今後はフライス加工における高速工具サーボを実現する必要があることを指摘している。しかし、回転工具に対応する工具サーボにより微細構造を加工するためには、回転軸に対して局所的なアクチュエータの組み込みにおける配線の問題、長時間を要する微細加工における熱変形、ならびに工具損耗およびびり振動に代表される異常加工状態の監視について解決する必要がある。以上の背景より、本研究では複雑形状部品に対する高精度かつ高能率な微細表面構造の創成を目的とし、フライス加工に適用可能な回転形工具サーボを新たに開発し、微細構造創成における切込み量制御および加工力検出の実現について研究を行っている。

第2章「自己冷却機能を有する熱変形抑制スピンドル」では、高速回転、コンパクト構造、ならびに熱変形抑制を同時に満たすスピンドルの実現のために、エアタービンの有する冷却効果に着目し、タービンを回転主軸内に直接組み込むことによって、熱変形を広い回転速度領域で抑制する自己冷却機能を有するスピンドルを提案している。タービン構造は、溝形状と、トルクまたは冷却効果との相関を実験的に明らかにすることで、高トルクかつ高い冷却効果を有するエアタービンを実現している。次に、開発したエアタービンを組み込んだ直径20mmのスピンドルの熱的特性について評価を行い、提案する自己冷却機能によって $50000\text{min}^{-1}$ の高速回転においても、外部機器を用いて冷却することなくハウジングの温度上昇を約1K、主軸端熱変位を $0.6\mu\text{m}$ 以下に抑制することが可能であることを確認している。

第3章「自己検知機能を備えた超磁歪素子駆動位置決め機構」では、外部より磁場を印加することで無接点駆動可能な超磁歪素子をアクチュエータとして用いることにより、回転体に適用可能な微小位置決め機構を提案している。さらに、超磁歪素子における逆磁歪効果に着目し、超磁歪素子をアクチュエータとして用いると同時に変位センサとして用いる自己検知機能

を提案している。自己検知機能では、磁場印加のための駆動コイルに対して、素子の透磁率を推定する検知コイルを新たに設置することで、超磁歪素子の状態変化について推定する。提案した自己検知機能によって推定した素子端面の変位をフィードバック信号として用いる微細位置決め機構を構築し、実際に位置決め特性評価実験を行うことで、駆動ストローク  $2.5\mu\text{m}$  および駆動分解能  $10\text{nm}$  を同時に実現可能であることを確認している。

第4章「フライス加工に適用可能な回転形工具サーボ」では、第3章で構築した超磁歪素子駆動微小位置決め機構を回転軸に展開し、回転工具の切込み量制御を高精度かつ高応答に実現する回転形工具サーボを提案している。実際に開発した回転形工具サーボ機構をスピンドルに取り付け、主軸回転中の位置決め特性を評価している。実験により、回転中は軸の振れ回りに起因する振動成分が重畳するものの、非回転時と同等のステップ位置決めが可能であることを確認している。また自己検知機能による変位推定を用いることで、非回転時および  $2500\text{min}^{-1}$  回転時で  $250\text{nm}$  の位置決め分解能を達成している。

第5章「回転形工具サーボによる微細表面構造創成と加工力検出」では第4章で構築した回転形工具サーボを用い、2軸直動送り機構と組み合わせた微細表面構造加工機を構築し、その加工特性を評価している。フライス加工中に素子変位を制御し工具切込み量を変化させることで、 $0.2\mu\text{m}$  の段差加工が可能であることを確認している。また、第3章の自己検知機能で変位推定に用いた超磁歪素子の逆磁歪効果を加工力検出に適用し、検出コイルに生じる電圧変化を測定することで  $0.5\text{N}$  の加工力検出を実現し、加工精度を低下させる工具損耗およびびびり振動の検出が可能であることを確認している。

第6章「結論」では本論文で得られた結論を総括し、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は従来困難であったフライス加工による微細表面構造の創成を目的として研究を行い、超磁歪素子を用いた回転形工具サーボ、スピンドルの熱変形抑制、フライス加工の微細切込み量制御および加工力検出法を新たに提案し、実際にその有用性を示したものであり、工学上および工業上寄与するところ大である。よって本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。