

生産加工技術の知能化, 高度化を目指して

兵庫県立大学大学院工学研究科 機械系工学専攻 生産知能工学研究室
 Laboratory for Intelligent Manufacturing System, Department of Mechanical and System Engineering
 Graduate School of Engineering, University of Hyogo
 〒 671-2280 姫路市書写 2167

TEL: 079-267-4977
 URL: <http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/mse/mse11/piejp.html>

FAX: 079-267-4977
 E-mail: okuda@eng.u-hyogo.ac.jp

1. 研究室の概要

本学は、姫路工業大学、神戸商科大学、兵庫県立看護大学の3つの県立大学を母体とし、新たに大学院応用情報科学研究科などを加えて2004年4月に発足したばかりの公立総合大学です。6つの学部（工学、理学、経済、経営、環境人間、看護）と8つの大学院研究科、4つの附置研究所（高度産業科学技術、経済経営、自然・環境科学、地域ケア開発の各研究所）、附属高等学校などからなっています。従って、各学部、研究所は兵庫県全域に広がり、北は豊岡市（コウノトリを代表とする田園生態系の研究）から南は淡路島、東は神戸、西は赤穂郡（理学部、1.5 GeV放射光施設を用いた研究）にわたっております。私どものキャンパスは、姫路市の書写山（西の比叡山と称される円教寺で有名、最近では映画ラストサムライで登場）のふもとに位置し、自然豊かな環境にあります。世界遺産の姫路城にも近く、春は観桜会、秋は観月会と地酒を楽しみながら研究室学生との親睦をはかる機会にも恵まれています。

さて、本研究室は旧姫路工業大学工学部機械知能工学科の研究室として出発しましたが、現在は学部改組により機械システム工学科（旧の機械知能工学科、機械工学科、産業機械工学科が1つになる）の研究室となり、大学院工学研究科に所属しております。生産知能工学研究室は、文字通り生産加工技術の知能化、高度化を目指した研究テーマ、特に超精密切削技術、レーザー加工技術を中心に研究を行っています。

2. 研究室のメンバー構成

兵庫県立大学工学部は、いわゆる講座制度をとっておりませんが、研究室単位で研究グループを構成しており講座制的な運用も一部取り入れております。2006年度現在の生産知



図1 集合写真

能工学研究室の構成メンバーは、奥田孝一教授、布引雅之助教授を教員として大学院生9名（前期課程2年—7名、同1年—2名）、学部4回生8名、研究生1名（中国からの留学生）の総勢20名で運営されています（図1）。

3. 研究紹介

生産知能工学研究室では、超精密切削加工機（図2）とCO₂レーザー加工機（図3）を主要実験装置として関連分野の研究テーマに取り組んでいます。また、多関節ロボットの強化学習に関しても研究を行っています。

3.1 超精密切削加工のMEMS技術への応用

近年、IT、バイオ、医療、環境などの幅広い分野で3次元微細構造からなるマイクロデバイス開発への要求が高まっています。それらの主要な製造プロセスとしてリソグラフィ技術が適用されていますが、生産性やコスト、製作形状などの点で問題もあります。そこで、高精度な機械加工技術である



図2 超精密切削加工機（東芝機械、ULC-100A）

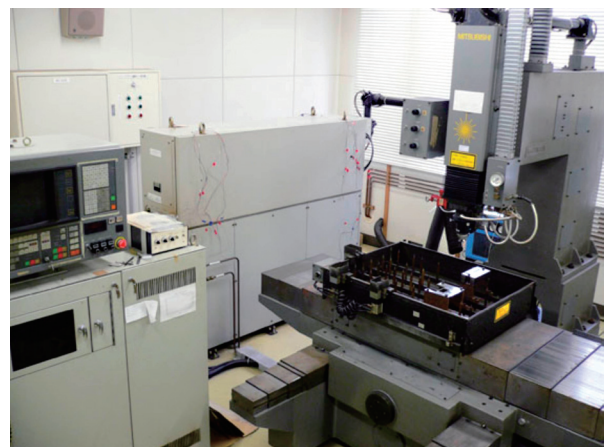


図3 CO₂レーザー加工機（三菱電機、ML806T）

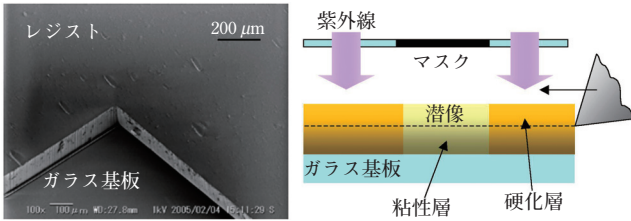


図4 厚膜フォトリソ層の切削

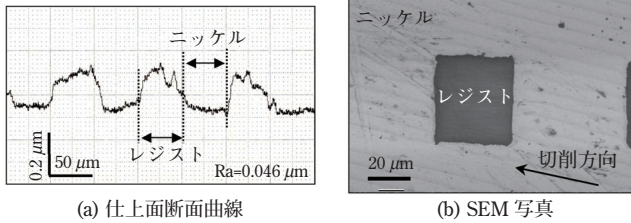


図5 レジスト-Ni 微細構造体の切削仕上面

超精密切削加工をリソグラフィプロセスにうまく組み合わせることにより、これまでにない良いものが製作できる可能性があります。まず、ガラス基板上に塗布したフォトリソ層を直接切削し、その仕上面特性を調べました。次に、リソグラフィにより作製した $50\ \mu\text{m}$ 角の柱状構造レジストに Ni をメッキし、それらの複合体の切削を試みました。

図4は、マスクパターンの潜像を残した状態で露光後の硬化したレジスト層を切削し、その後現像を行った結果を示します。レジスト表面は Ra で $0.015\ \mu\text{m}$ 程度の仕上面が得られ、深さの均一なマイクロ構造体の作製が行える可能性を示しました。また、レジスト-Ni 複合体の切削においても、良好な仕上面が得られることを示しましたが、弾性回復と考えられるレジスト部の盛り上がりという問題も明らかとなりました(図5)。このほかに、直径 $1\ \text{mm}$ 程度のマイクロコイル製作のために、微細棒に施した PMMA (広義の亚克力樹脂) と銅メッキ複合体の切削仕上げを試みております。

3.2 微細形状部品の精密切削

半導体回路の通電検査に用いられるコンタクトプローブ(直径 $0.1 \sim 0.2\ \text{mm}$ のものが主流)に代表されるように、微細形状部品を高精度高効率に加工することが望まれています。このような比較的単純な丸棒形状であっても、良好な仕上面性状や加工精度を得るのは困難となっています。私どもは、その原因の1つとして、微小切込み切削における切削現象が仕上面性状、工具摩耗、切削力などの点で十分明らかにされていないことが挙げられると考え、炭素工具鋼やベリリウム銅を被削材として、その微小切削特性を明らかにすることを目指し、適切な加工工具設計、高効率高精度加工実現に寄与できればと考えています。

さらに、エンドミルによるマイクロチャネルの切削加工に取り組んでいます。例えば遺伝子解析用デバイスのマイクロ回路の製作において、従来のリソグラフィではなく小径エンドミルにより直接切削することを試みています。PMMAなどの樹脂切削では金属切削とは異なる種々の問題が現れるの

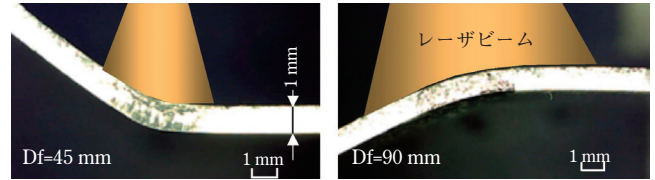


図6 デフォーカス (Df) の大きさによる曲がり方向の相違

で、その解決に向けて取り組みを始めようとしています。

3.3 レーザによる曲げ加工と多数個取り加工

近年、AZ31 に代表される圧延あるいは押出 Mg 合金の曲げ加工や絞り加工が試みられていますが、常温ではすべり系が底面に限定されているため冷間における成形加工は困難となっています。そこで Mg 合金板の CO_2 レーザによる曲げ加工を試みてきました。一般的には温度勾配メカニズムにより板はレーザ照射側に曲げを生じ、その反対側に曲げるのは困難であります。しかし、レーザスポット径を大きくするとレーザ照射と反対側に曲がることを示しました(図6)、これは、板厚方向の温度勾配が小さくなることにより、座屈メカニズムが支配的になってくるためと考えられますが、そのため曲がる方向が一定しないという問題点があります。曲がり方向と曲げ変形量を制御し、実用に供することを目指して研究しています。Mg 合金のほかに、曲げ加工が困難なチタンやシリコンに対してレーザ曲げを試みています。

レーザによる多数個取り加工中に被加工母材が熱変形すると、加工が中断して時間と費用を浪費する可能性があります。本研究では、レーザ出力などの加工条件を調整しなくとも、製品の加工順序を適切に設定することによって母材の変形を抑制できることを示しました。厚さ $1\ \text{mm}$ のステンレス板に複数の切れ目を入れる加工実験を行った場合、中心から外向きに加工した場合は下方に、外周から内向きに加工した場合は上方に母材が反ることが確認されました。

3.4 多リンクロボットの強化学習

現実問題を扱う強化学習では過去に遭遇した状態と完全に一致する状態に遭遇することはないため、類似した状態を集めたカテゴリー単位で学習を進める必要があります。そのため状態空間をどう分割するのかによって学習能力に大きな差が生じます。状態空間を適切に構築する手法として、Fuzzy-ART がありますが、これは状態の価値を考慮しておらず、カテゴリーが単調増加するという問題があります。そこで状態価値に基づいて状態空間を整理できるように Fuzzy-ART を改良した結果、2リンクアームの経路探索問題では、従来法より少ないカテゴリー数で高速に学習でき、状態空間を適切に分割できていることがわかりました。

4. おわりに

本研究室では、産学連携に積極的に関わっていきたくと考えています。技術相談、共同研究、研究員の受け入れなどお役に立てることがあればと思っています。気軽に連絡いただければと思います。