

マイクロマシニング

(IT時代を支える微細・超精密加工技術について)

— 微細加工技術によるモノづくりと能力開発セミナーの展開 —

高度ポリテクセンター 素材・生産システム系 機械加工グループ
(高度職業能力開発促進センター)

土屋重助・多井作和郎・宮下英明

1. はじめに

機械加工の分野において高精密・高精度化は永遠のテーマであるが、特に近年のIT化と相まってマイクロマシニング（微細加工技術）が注目を集めている。高度ポリテクセンター機械加工グループでは、ITと機械加工技術とのかかわりを明らかにし、高度情報化社会が限りなく進展するであろう21世紀を創造するために機械加工技術がどのような役割を果たせるのか、そしてその職業能力開発のあり方はどうあるべきなのかを考察し、能力開発セミナーを企画開発した。

なお、この報告は高度ポリテクセンターにおける平成12年度の研究活動を通してセミナーに結び付いた一例であり、その途中経過である。図1に研究活動による標準的なセミナーの企画フローを示す。

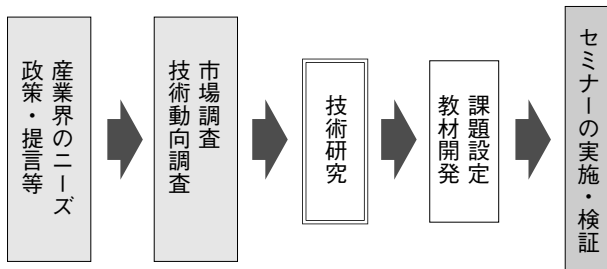


図1 セミナーの企画フロー

2. ITとマイクロマシニング

政府は昨年11月にIT基本法を可決成立し、国をあげて高度情報通信ネットワーク社会の早期形成に

向けて鋭意取り組み中である。また、本年3月には科学技術基本計画を策定し、ナノテクノロジーを含む4つの分野に重点化して資源を集中配分する戦略である。さらに9月に産業構造改革・雇用対策本部が取りまとめた総合雇用対策によると、科学技術基本計画に基づいた新市場・新産業の育成による雇用創出とその人材育成・能力開発が重要であるとされている。

IT社会を形成する通信機器やコンピュータ、そしてそれらを構成する半導体や光学部品など、あらゆる分野で小形・軽量化、高機能・高集積化が進み、将来に向けてマイクロ加工の高度化がより強く求められている。その代表例として半導体製造においては、回路を描く線幅は現在0.2 μ 程度に達しているものの、近い将来には0.1 μ の壁を破る加工技術の確立が求められている。

3. マイクロマシン

マイクロマシンとは微細で複雑な作業を行うために大きさ数mm以下の高度な機能要素から構成された微小な機械である。情報通信機器分野のみならず医療・福祉分野、産業・プラント分野、住宅・環境分野等あらゆる分野で利用が期待されるものである。また、マイクロマシン技術とはマイクロマシンそのものばかりでなく、それを製作するための基盤技術や応用技術も含めて広くとらえられている。

財団法人マイクロマシンセンターでは2015年のマイクロマシン技術による経済効果は5兆円に達すると試算している。また、他の調査でもマイクロマシ

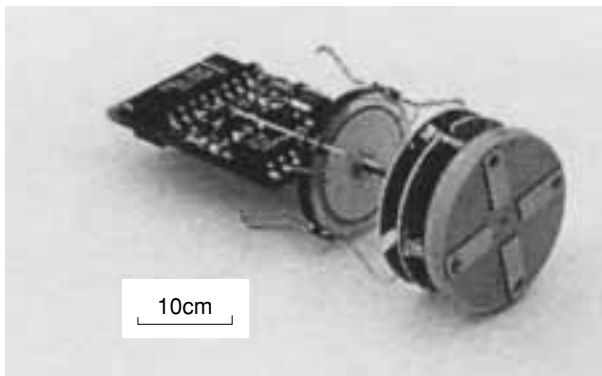


図2 配管内無索移動マイクロマシン

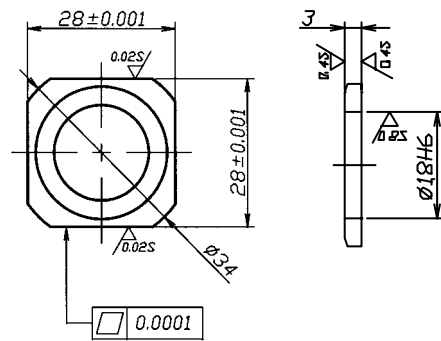


図4 ポリゴンミラーの形状と精度

ンに関連する技術は近い将来大きな市場へと成長するとともに、他産業への貢献も見逃せないとしている。

マイクロマシンの製作には半導体を製造するリソグラフィ技術（LIGAプロセス）などのナノテクノロジーが不可欠となるが、その基盤技術として機械加工やエネルギービームによる微細・超精密加工も重要な役割を果たすものと思われる。

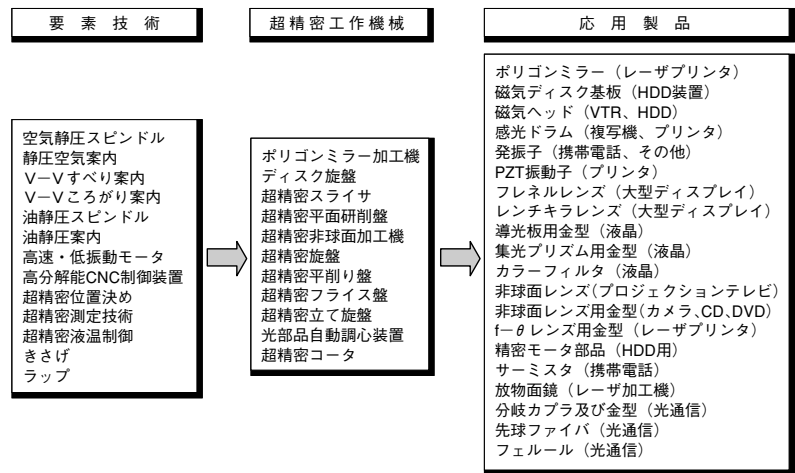


図5 超精密加工機の要素技術と応用製品

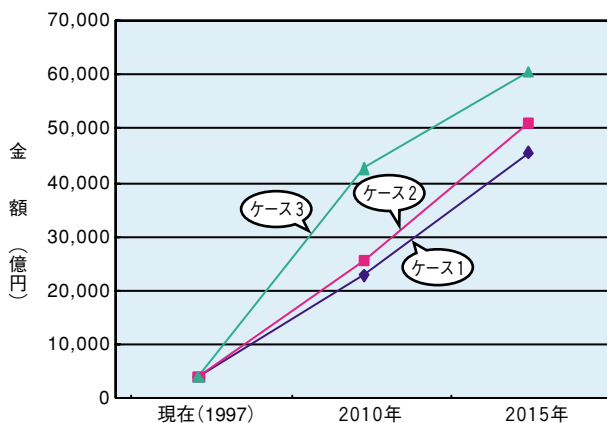


図3 マイクロマシン技術の経済効果

4. 超精密加工

図4はレーザープリンタに使われているポリゴンミラーの一種であるが、レーザーの反射面にはナノオーダーの精度が要求されており、アルミ合金を単結晶ダイヤモンド工具によりフライカットで切削して作られている。

そのほかにも身の回りのIT機器には超精密加工された電子部品や光学部品などが数多く使用されている。そしてそれらの部品加工およびその金型の加工に超精密な工作機械がますます必要とされている。超精密加工を実現するためには多くの高度な技術と安定した環境などが要求されるが、超精密な運動精度を保証する工作機械には熟練したきさげ作業なども重要な役割を果たしている。

5. 微細穴あけ加工実験

マイクロマシニングの1つとして微細な穴を加工することに取り組んだ。微細穴あけ加工法にもいろいろあるが、当センターで実施可能なレーザー加工と機械加工（ドリル加工）によって行った。

5.1 YAGレーザーによる微細穴あけ加工

目的はより小さくて深い穴（高アスペクト）を高

精度にあけるための最適な加工条件を求めることであるが、効率的な加工技術の確立のために加工を大きく左右すると思われる条件として下記の因子を取り上げ、実験計画法を用いて行った。

機械：住友重機械工業製YAGレーザー
固定光学系，LD1モード

材料：SUS304 (t0.5mm)

- ・因子A：パルス幅 W(ms)
- ・因子B：周波数 R(Hz)
- ・因子C：エネルギー E(J)
- ・因子D：アシストガス G

表1の直交配列表による実験のほか、二元配置実験および一元配置実験を繰り返して以下の加工条件を得た。

- ・因子A：パルス幅 W=0.5(ms)
- ・因子B：周波数 R=190(Hz)
- ・因子C：エネルギー E=0.3(J)
- ・因子D：アシストガス G：酸素

表1 YAGレーザー微細穴あけ加工実験 ①
(2ⁿ型直行配列表による実験)

材料：SUS304 板厚：t0.5 2000.12.6									
実験番号	因子A パルス幅 (ms)	因子B 周波数 (Hz)	因子C エネルギー (J)	因子D アシスト ガス	ハイト (%)	出力 (W)	ランプパワー (kw)	測定値 φ d (mm)	
1	0.5	100	0.5	O	52.0	50	2.9/2.9		
2	0.5	100	0.5	N	52.0	50	2.9/2.9		
3	0.5	100	0.8	O	55.0	85	3.2/3.4		
4	0.5	100	0.8	N	55.0	85	3.2/3.4		
5	0.5	130	0.5	O	46.0	70	3.2/3.2		
6	0.5	130	0.5	N	46.0	70	3.2/3.2		
7	0.5	130	0.8	O	49.2	108	3.4/3.4		
8	0.5	130	0.8	N	49.2	108	3.4/3.4		
9	0.7	100	0.5	O	45.0	50	3.0/3.1		
10	0.7	100	0.5	N	45.0	50	3.0/3.1		
11	0.7	100	0.8	O	47.0	80	3.2/3.2		
12	0.7	100	0.8	N	47.0	80	3.2/3.2		
13	0.7	130	0.5	O	38.5	65	3.1/3.2		
14	0.7	130	0.5	N	38.5	65	3.1/3.2		
15	0.7	130	0.8	O	40.2	105	3.3/3.4		
16	0.7	130	0.8	N	40.2	105	3.3/3.4		

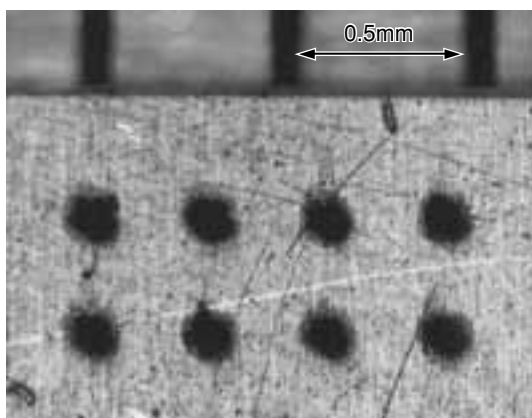


図6 レーザによる微細穴加工

図6が上記条件によりレーザー加工したもので、平均穴径φ0.075mmであった。

5.2 極小径ドリルによる穴あけ加工

図7に示すφ0.1mmのマイクロドリルによる加工実験を行った。下記の切削諸元を因子として実験を計画しているが、まだ途中であるもののアルミに対しては深さ0.5mm、鋼には0.3mmの穴をそれぞれ100穴以上あけることができた。図8はアルミに微細穴加工したもので、80穴目付近の表面と切りくずである。

機械：三井精機工業製横形マシニングセンタ

最高主軸回転数：20000min⁻¹

材料：アルミニウム (A2071)，炭素鋼 (S45C)

- ・因子A：切削速度 (主軸回転数)
- ・因子B：送り速度
- ・因子C：ステップ量
- ・因子D：刃先形状

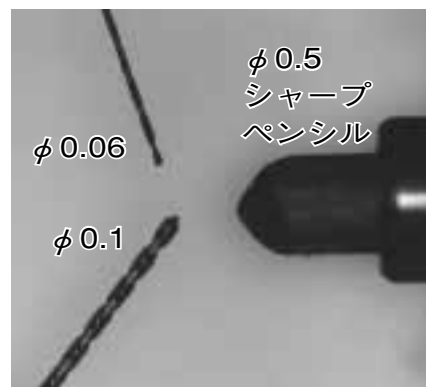


図7 極小径ドリル

- ・主軸回転数：N=10000(min⁻¹)
- ・送り速度：F=10(mm/min)
- ・ステップ量：0.1(mm)
- ・穴深さ：L=0.5(mm)
- ・100穴加工

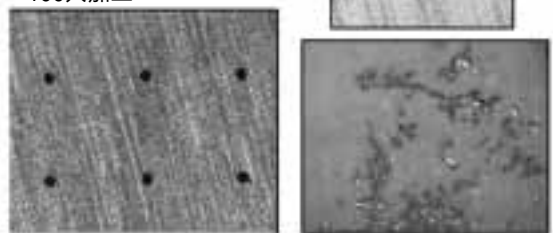


図8 マイクロドリルによる微細穴加工

- ・ 因子E：切削液

来年度には空気静圧スピンドルの高速マシニングセンタが導入される計画であり、その後本格的な実験に取り組む予定である。

6. 実習課題について

能力開発セミナーを実施するに当たっては、効率的な技術習得のために効果的な実習課題の設定が肝要であり、労働行政としての教育訓練においてはモノづくりにこだわる実習課題が重要であると思っている。しかしいまだに適切な課題は見つからないものの、一例としてマイクロ歯車ポンプを検討し、現在試作中である。

図10が試作した現尺モデルと1/5縮尺モデルであり、主な加工要素は以下のとおりである。

- ・ ワイヤカットによるm0.8の歯車加工
- ・ R0.5ボールエンドミルによる3次元加工
- ・ φ2エンドミルによる輪郭加工



図9 課題例（マイクロ歯車ポンプ）

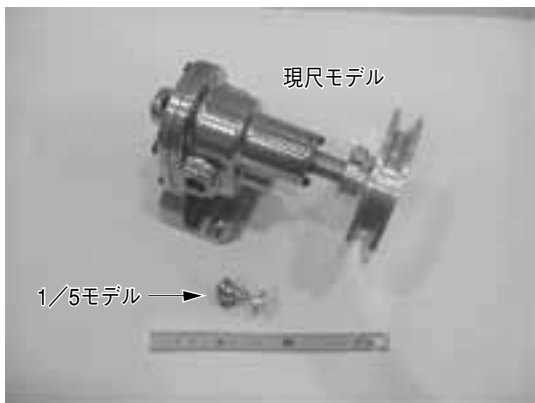


図10 試作した歯車ポンプ

- ・ φ0.7ドリル加工
- ・ M1x0.25タップ加工
- ・ φ3軸加工、穴加工

現尺モデルは外寸で約150mm、1/5モデルは約30mmで毎分80mℓ程度の油送ポンプとして機能する。まだまだマイクロマシニングとは言い難いが、加工条件や工具のほかにワークの取り付けやクランプ力など通常サイズとは異なる難しさがあった。今後1/10モデル、さらに1/20モデルの製作に取り組みたい。

7. 能力開発セミナー

高度ポリテクセンターでは機械加工技術シリーズにおける新規セミナーとして“マイクロマシニング（微細加工技術）”を企画した。内容は研究活動で行ったレーザ加工（エネルギービーム加工）、機械加工（極小径ドリル加工）に放電加工などを加えたものである。

一般的な概念として、マイクロマシニングとはもっと微細で新しい加工プロセスを創造するような内容にすべきかもしれないが、今回はあえて機械加工を中心とした従来型加工プロセスの延長に位置づけた。実施した結果を見て改善を加えていきたい。

超精密加工はすでに昨年度から学科のみのコースとして実施しているが、応募も比較的多く好評を得ている。来年度は機械加工実習システムリース機器

様式1

カリキュラムモデル

			分類番号	M104-404-4
訓練分野	機械系	訓練コース	マイクロマシニング(微細加工技術)	
訓練対象者	精密加工や製品開発等に従事しており、より微細な加工を目指す者			
訓練目標	マイクロマシニングの方法と原理を知り、より高精度で付加価値の高い製品開発のための微細加工技術を習得する。			
教科の細目	内 容			訓練時間(H)
1. 微細加工の基礎	(1) 微細・精密の歴史 (2) 微細加工の種類と方法 (3) 微細加工とマイクロメカニズム			3.0
2. エネルギービーム微細加工	(1) エネルギービーム加工法 (2) YAGレーザによる微細加工 (3) エキシマレーザによる微細加工			3.0
3. 微細放電加工技術	(1) 微細放電加工技術 (2) 精密形彫り放電加工 (3) 微細ワイヤカット加工			3.0
4. 微細機械加工技術	(1) 微細機械加工技術 (2) 小径ドリルによる微細穴あけ加工 (3) 小径エンドミルによる微細形状加工			3.0
				訓練時間合計
				12.0
使用器具等	マイクロドリリングマシン(高速マシニングセンタ)、小径ドリル			

図11 マイクロマシニングカリキュラムモデル

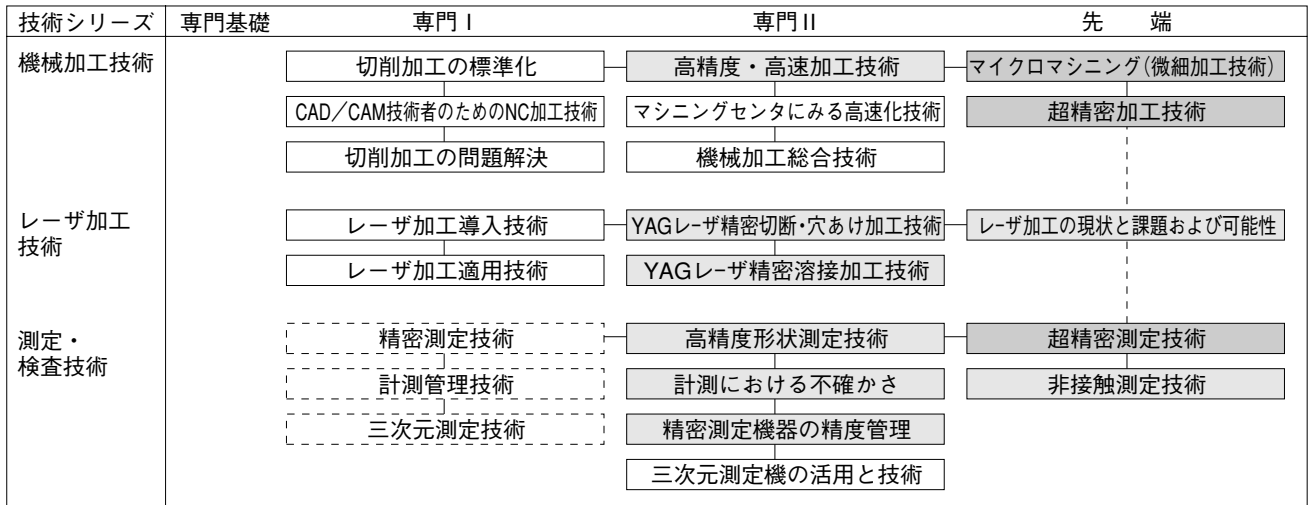


図12 微細・超精密関係コース体系

の更新を控え、実技を含めて展開していく予定である。

また、微細・精密加工を追求するうえで精密な測定技術が確立されていることが絶対条件である。そこで今年度は新たに測定・検査技術シリーズを追加し、精密測定に関する複数のコースを実施している。

8. まとめ

- ・ IT産業をはじめすべての産業の基盤としてマイクロマシニング（微細・超精密加工）は重要な役割を果たしている。
- ・ よってマイクロマシニングに関する教育訓練を推進する必要がある。
- ・ マイクロマシニングは基本的な加工技術の延長上にあり、従来の加工技術の蓄積が重要である。
- ・ 一方、従来の加工方法にとらわれない新しい加工方法の開発が必要である。
- ・ 精密加工技術には精密測定技術が不可欠であり、加工と測定が一体となった展開が必要である。
- ・ 高度な加工技術の習得にこそ実習が必要であり、効果的な実習課題の設定による実践的なモノづくり教育が重要である。

9. おわりに

ITバブルの崩壊といわれる景気の低迷が続いて

いるが、21世紀は20世紀に開花した技術をもとにますます高度で豊かな社会が進展するとともに、新しい技術による革新的な産業も興ることであろう。高度ポリテクセンター機械加工グループは、今後とも高度な社会を支える創造的な基盤人材の育成に微力ながら尽力していきたい。

<参考文献>

- 1) 「平成10年度マイクロマシン技術による新産業創出に関する調査研究報告書」, 社団法人日本機械工業連合会, 財団法人マイクロマシンセンター。
- 2) μ Mフロンティア研究会（編著）：『マイクロマシン革命』, 日刊工業新聞社。
- 3) 日本経済新聞社・三菱総合研究所（編）：『大予測21世紀の技術と産業』, 日本経済新聞社。
- 4) 田中克敏：『超精密加工技術の現状と展望』。
- 5) 田中克敏：『超精密加工を達成するマザーマシンの基本要素』。

