

超精密加工技術

「超精密加工技術」刊行の趣旨

従来加工技術は主として機械部品を対象としており、このため加工工学は金属を主な加工対象として発展してきた。しかし、最近高度情報化社会に向って産業構造の変化が著しく、マイクロエレクトロニクス産業、情報機器産業およびそれらの関連産業の比重が増大してきている。したがって、これらの産業が必要とする新素材、すなわち各種の単結晶、多結晶および非晶質の非金属材料、その他の機能材料が金属材料に加わり、かつ、これまでの加工の常識では考えられなかったほどの超精密あるいは超微細な精度、さらには材料機能を保証する加工技術の開発が強く要請されている。

このような要請は、「加工精度」の従来の考え方に大きな変革を求めている。「部品機能」を目的関数として最適な加工法を求める極めてフレキシブルな加工の発想が必要とされるため、「部品機能」の表現は従来の幾何学的精度の範囲にとどまらず、「材料機能」の表現も含めて「加工精度」の新しい概念とその評価技術の展開が求められている。

上述の時代の要請は、加工工学を従来の加工技術者の守備範囲にとどめず、材料物性、光・電子、化学など幅広い関連工学の分野の総合化による技術体系として新しく誕生することを促しているというべきであろう。

このように、加工工学が境界領域の技術としての性格を強めてくると同時に、上述の新しい需要分野では従来の形状寸法機能に重点をおいた「加工精度」においてさえ、これまでの水準をはるかに超えるなどいわゆる「超精密加工」技術の展開が望まれている。

ここで、「超精密加工」とは、具体的にはマイクロエレクトロニクス産業、情報機器産業および関連機器産業などの各分野で要請している従来の加工技術では対応しきれない「加工精度」を実現するための先端加工技術であるというのが無難な理解といえよう。しかし、これを加工システムの立場から加工入力指令に応じて加工システムが指令通りに忠実に機能し、指定の「部品精度」を創成する関係として表現するならば、加工入力指令が要求する「幾何学的機能」と「材料機能」の水準が従来のそれを超えた超精密加工のための「入力指令」であり、これを実現できる加工系を「超精密加工システム」と呼ぶこともできよう。このような「超精密加工システム」を、「加工入力指令という情報を出力

情報としての「部品機能」に変換・伝達するシステム」と考えるならば、このシステムに要請される特性としては、高感度、低雑音、高分解能であり、高いS/N比、高信頼性、安定性などの属性が当然考えられるであろう。

このような概念を加工法、工具、工作機械、計測制御技術などに適用し、問題点の所在を明らかにできれば、従来の加工技術が超精密加工技術に発展するための一里塚とならないであろうか。この意味で、いま「超精密加工」の概念自体の検討も併せて重要な意義をもつともいえよう。

現在、先端技術として、これら超精密加工技術の実施例が種々の分野で数多くみられるが、これらの新技術に対するニーズの展望と、またこれに結びつける橋渡しとしての従来技術の再評価、および超精密加工技術を支える精密加工工学の新分野の展望は、80年代に新しい希望を与えるものとして強く望まれているといえよう。

そこで本書は来たるべき超精密加工工学への展開の一助たるべく、いわゆる先端技術と呼ばれる超精密加工の実施例を広く集めて境界領域にまたがる関係技術者にこれらを知っていただき、時代の求める技術討論の土俵を用意するとともに、従来の加工技術の見直しおよび今日いくつか見られる超精密機械もしくはその関連機器についての解説を試みることを目的に企画したものである。

さらに、砥粒加工研究会は、昭和40年故熊谷博士の提唱の下に、当時の砥粒加工技術を集大成し、高度成長の時代要請に応え『砥粒加工技術便覧』を刊行し、現在も基礎技術の役割りを果たしている。爾来20年、いま再び情報化社会を目指して時代が求める「超精密加工技術」を刊行するに際し、故熊谷博士の志を思うことしきりである。

上記の企画の立場から以下本書の構成を概説する。

第Ⅰ章は本書が「超精密加工」に立向う姿勢であり、第Ⅱ章はこの分野の今後の展開の方向と期待を各分野それぞれの立場から検討いただいたものである。

第Ⅲ章および第Ⅳ章は、精密機械工業、電子機器工業、電子部品工業などの各分野で、すでに先端技術の名で呼ばれるべき具体的部品加工技術を列挙、解説していただき、今後の「超精密加工」の加工工学としての発展の方向を探ろうとするものである。とくに、「加工精度」の概念が「部品機能」として各工業分野において極めて多様な表現で要請されている現状を考え、加工技術とその評価方法を分離せず、むしろ「部品機能」に合わせた加工法としての先端技術の期待することとした。

第Ⅴ章は、その冒頭で超精密加工技術の位置づけ、展望と切削加工工学における超精密切削の領域の概念を明らかにしたのち、従来の砥粒加工技術を「加工精度」の立場を中心にして要約、再構成していただき、「超精密加工」への道すじとしての位置づけを期待している。

第Ⅵ章は、超精密運動のできる機械が実現されはじめて、広い意味での各種超精密加工システムが可能であるとの立場から、超精密加工機械に加えて半導体関係精密機器の解説をいただき、超精密加工システムの全体像の把握ができる一助となることも期待している。

昭和59年7月1日

編集委員会

編集委員

委員長	竹	中	規	雄
委員	遠	藤	幸	雄
(五十音順)	貴	志	浩	三
	木	下	直	治
	小	林		昭
	津	和	秀	夫
	宮	下	政	和
	横	川	和	彦

目 次

第Ⅰ章 総 論

1. 超精密加工とは〈竹中 規雄〉.....21
2. 超精密加工の考え方〈小林 昭〉.....24

第Ⅱ章 超精密加工技術への道

1. 超精密加工技術の基本概念〈貴志 浩三・江田 弘〉.....29
 - 1.1 物質構造の基本的概念と法則29
 - 1.2 物質のミクロ的・マクロ的立場30
2. 時代とともに変遷する材料、それに対応する超精密加工
.....〈小林 昭〉.....33
3. 超精密加工技術への道〈谷口 紀男〉.....37
 - 3.1 到達加工精度の進歩と年代37
 - 3.2 超精密加工とナノテクノロジー37
 - 3.3 超精密加工と生産加工システム39
 - 3.4 超精密加工の技術目標42
4. 超精密加工の精神〈津和 秀夫〉.....45
 - 4.1 はじめに45
 - 4.2 技 能45
 - 4.2.1 真理の円45
 - 4.2.2 技能の力46
 - 4.2.3 修行と神仏域46
 - 4.3 入魂の生産47
 - 4.3.1 日本刀47
 - 4.3.2 入魂の実例48

4.4 新しい工場管理	49
5. 「高付加価値加工」と「新材料」と「超精密工作機械」	
.....〈宮下 政和〉.....	51

第Ⅲ章 精密機械工業における超精密加工

1. 精密加工から超精密加工へ	〈津和 秀夫〉.....	57
1.1 米国で		57
1.2 超精密加工の展開		58
1.3 超精密加工の理念		59
1.3.1 超精密加工の基本原則		59
1.3.2 超微少量除去		60
1.3.3 超安定加工		62
1.3.4 超精密計測		62
1.3.5 技能力		63
1.3.6 超精密加工の拡張		63
1.4 超精密加工の現状		64
1.5 超精密加工における日本人の適性		67
2. 時計部品	〈大出 貞男〉.....	69
2.1 時計部品の微細旋削加工		69
2.2 時計部品のプレス加工における微細加工		73
3. サファイヤ部品	〈廣瀬 三夫〉.....	78
3.1 カッティング・スタイラス		78
3.2 音響再生用サファイヤ針		79
3.3 コンピュータ用機器部品——磁器テープクリーナ		79
3.4 コンピュータ機器部品——ドットプリンタ用、ルビーガイド および、ルビー・ジェット・ノズル		79
3.5 医療機器用宝石		80
3.6 ICボンディング用ルビー・キャピラリ		80
3.7 ルビー・ボール		81
3.8 超大型サファイヤ製品		81
3.8.1 IC用サファイヤ基板について		81

3.8.2 その他の超大型サファイヤ製品	83
4. ダイヤモンド部品の加工	＜近山 晶＞85
4.1 ダイヤモンドの特性とその利用	85
4.2 ダイヤモンドの成形加工	85
4.3 ダイヤモンド加工の基本工程	85
4.3.1 加工のオリエンテーション	85
4.3.2 クリービング（へき開加工）	87
4.3.3 ソーイング（切断加工）	87
4.3.4 ブルティング（荒削り加工）	88
4.3.5 カットとポリッシング（研摩加工）	88
4.4 ダイヤ工具などの成形研摩	90
4.5 ダイヤモンド・ダイスの加工	91
5. 超精密ころがり軸受、ねじ	＜藤田由利夫＞93
5.1 超精密ころがり軸受	93
5.2 ね じ	96
5.2.1 ボールねじ	96
5.2.2 台形ねじ	96
5.2.3 静圧送りねじ	98
6. ロータリ・コンプレッサ部品	＜山本 義彦＞100
6.1 精度の必要性	100
6.2 量産加工技術	101
6.3 選別・組合せシステム	103
6.4 精度を支える周辺技術	105
7. 航空機用部品	＜西 良正＞107
7.1 Ti 合金部品の加工	107
7.1.1 Ti 合金の性質	107
7.1.2 Ti 合金部品の加工例	109
7.2 Ni 合金部品の加工	112
7.2.1 Ni 合金の性質、加工の概説	112
7.2.2 Ni 合金部品の加工例	112

8. 人工衛星機器	116
8.1 人工衛星機器の概要	116
8.1.1 人工衛星機器の特殊性	116
8.1.2 人工衛星機器の構成	117
8.2 人工衛星機器の製作	118
8.2.1 通信用機器	118
8.2.2 電源系	122
8.2.3 トラッキング・テレメトリ・コマンド (TT&C) 系	124
8.2.4 姿勢制御系	126
8.2.5 推進系	129
8.2.6 構造および熱制御系	131
8.3 人工衛星姿勢制御シミュレータ用高精度球面空気軸受	132
8.3.1 姿勢制御シミュレータに要求される性能と軸受として 必要な性能	134
8.3.2 球面空気軸受の性能に対する製作上の要求精度	135
8.3.3 球面空気軸受の加工	135
8.3.4 真球度、球面半径の測定	139
8.3.5 製作した球面空気軸受の精度と性能	139
9. 計測機器部品	143
10. 油圧部品	149
10.1 概 説	149
10.2 貫通穴のダイヤモンドリーマー加工	150
10.2.1 概要	150
10.2.2 ダイヤモンドリーマー工具	151
10.2.3 前加工用パニシングガンリーマー	152
10.2.4 その他のダイヤモンド工具	154

第Ⅳ章 電子機器工業、電子部品工業における超精密加工

1. 電子機械工業で超精密加工が必要とされる製品	157
1.1 ロボットにおける産業規模	157

1.2 電子・半導体工業の位置づけ	162
2. 半導体部品（シリコン素子，砒化ガリウム素子等）<佐藤 幸雄・片山 茂>.....	176
2.1 半導体部品の製造における超精密加工の重要性	176
2.1.1 半導体部品の種類と構造	176
2.1.2 半導体部品の基本構造と製造プロセス	176
2.2 半導体材料の超精密加工	180
2.2.1 スライシング	180
2.2.2 ラッピング，ポリッシング	181
2.2.3 ウェハの平行度と反り	182
2.2.4 ダイシング	183
2.2.5 SOS用サファイヤ基板の加工	183
2.2.6 GaAs 基板の加工	184
2.3 超微細加工技術の現状と動向	184
2.3.1 光リソグラフィ技術	184
2.3.2 電子ビーム露光技術	188
2.3.3 ドライエッチング技術	191
2.3.4 超微細加工技術の応用	193
2.4 組立て・実装技術の現状と動向	199
2.4.1 ワイヤボンディング	199
2.4.2 テープキャリア式ボンディング	203
2.4.3 チップキャリア	205
2.4.4 ハイブリッド IC 回路のレーザトリミング	206
3. 磁気ヘッド.....<小宮 昇>.....	208
3.1 磁気ヘッドの構成材料	208
3.2 磁気ヘッドの加工方法	209
3.3 フェライト磁気ヘッド	210
3.3.1 加工工程と加工方法	211
3.3.2 加工による特性劣化	212
3.3.3 磁気間隙部の加工	214
3.3.4 テープ接触面の加工	215

3.4	アモルファス磁気ヘッド	216
4.	磁気ドラム, 磁気ディスク	218
4.1	磁気ドラム装置の構造	218
4.2	磁気ディスク装置の構造	218
4.3	磁気ドラム, 磁気ディスクに超精密加工を必要とする理由	219
4.4	磁気ドラムの加工	221
4.5	磁気ディスクの加工	222
5.	水晶振動子	228
5.1	まえがき	228
5.2	水晶振動子の原理・機能	229
5.3	水晶振動子の加工技術	231
5.3.1	原石加工	232
5.3.2	水晶板研磨加工	232
5.3.3	フォトリソグラフィによる音叉加工	233
5.4	フォトリソグラフィ加工法の応用	235
6.	レーザ用光学部品	240
6.1	CO ₂ レーザ用光学部品	240
6.1.1	全反射ミラーおよび伝送用ミラー	240
6.1.2	出力側ミラーと集光レンズ	243
6.2	YAGレーザ用光学部品	244
6.2.1	YAGロッド	244
6.2.2	楕円筒鏡	245
7.	テープレコーダ	247
7.1	まえがき	247
7.2	モータ	247
7.3	テープの定速駆動要素	251
8.	電子線リソグラフィ	255
8.1	走査型電子ビーム露光技術の発展	255
8.2	可変面積型露光システムの構成および機能	256
8.3	高密度描画の応用例	259

9. 電気標準機器	<小林 昭>.....	262
9.1 標準インダクタ		262
9.2 微小電気容量絶対標準器群		265

第V章 超精密加工のための砥粒加工技術各論と周辺技術

1. 超精密加工技術の位置づけと今後の展望	<小林 昭>.....	275
1.1 加工法の選択		275
1.2 ダイヤモンド切削		280
1.3 今後の展望		287
2. 超精密切削	<井川 直哉>.....	289
2.1 序		289
2.1.1 歴史と位置づけ		289
2.1.2 サブミクロン切削と工作機械		290
2.2 超精密切削の実例		290
2.2.1 各種材料の被削性		290
2.2.2 加工条件		291
2.2.3 面粗さと精度		292
2.2.4 工具寿命		292
2.3 サブミクロンの精度とその要因		293
2.3.1 工作機械		293
2.3.2 工作物		293
2.3.3 切削工具		295
2.3.4 切削現象		297
2.4 微小切削現象の特徴		297
2.4.1 切込み(切取り厚さ)微細化に伴う諸現象		297
2.4.2 工具刃先での加工面形成現象		299
2.4.3 工具からの工作物への輪郭の転写		300
2.4.4 精密切れ刃の設計パラメータ		301
2.5 超精密切削工具としてのダイヤモンド		304
2.5.1 刃先の鋭さ		304

2.5.2	切刃後の粗さ	305
2.5.3	切刃輪郭の転写性	305
2.5.4	強度特性	306
2.5.5	耐久損性	306
3.	研削加工	311
3.1	研削加工理論	〈岡村健二郎〉 311
3.1.1	概 説	311
3.1.2	研削加工における切りくず形状	311
3.1.3	砥粒の切削作用と加工面創成曲線	317
3.1.4	寸法生成過程	323
3.2	研削加工技術	331
3.2.1	超精密加工の表面品位と創成	〈黄志 浩三〉 331
3.2.2	砥石および砥粒の研削作用	〈越智 忠〉 345
3.2.3	円筒研削作業	〈和田 龍児〉 351
3.2.4	内面研削作業	〈寺谷 忠郎〉 372
3.2.5	平面研削作業	〈酒井 保男〉 378
3.2.6	心なし研削作業	〈宮下 政和〉 385
3.2.7	工具の刃付研削作業	〈小林 達宣〉 396
3.2.8	歯車研削作業	〈桜本 捷一〉 404
3.2.9	特殊研削作業 (カムおよびクランクピン研削)	〈相沢 一男〉 411
4.	ホーニング, 超仕上	● 研井 堅 421
4.1	ホーニング	421
4.1.1	ホーニングの基本要素	421
4.1.2	ホーニング条件の決め方	423
4.1.3	ホーニングの実例	426
4.2	超仕上	429
4.2.1	超仕上の原理	429
4.2.2	超仕上機械	430
4.2.3	超仕上作業条件	430
5.	バリ・テクノロジー	〈高沢 孝哉〉 434
5.1	精度設計とエッジ品質	435

5.1.1 精度設計の考え方	435
5.1.2 エッジ品質を論じる意味	437
5.2 バリに関する基本的事項	437
5.2.1 バリの定義	437
5.2.2 バリの種類と分類	438
5.2.3 バリの表現と測定法	440
5.2.4 バリの存在によるトラブル	442
5.3 バリの生成機構と抑制原則	442
5.3.1 切削バリの生成機構と形態	443
5.3.2 切削バリの抑制原則	444
5.4 バリ取り法の種類と選択	445
5.4.1 バリ取り法の種類	445
5.4.2 精密バリ取りと選択	447
6. ラッピング, ポリシング	449
6.1 ラッピングの特徴	449
6.1.1 脆性材料のラッピング	450
6.1.2 金属材料のラッピング	452
6.2 ポリシングの特徴	454
6.2.1 光学ポリシング	454
6.2.2 金相学的ポリシング	455
6.3 超精密研磨のためのポリシングの改善	455
6.3.1 加工品質向上のための改善	456
6.3.2 加工精度向上のための改善	460
6.4 各種超精密研磨法	470

第VI章 超精密機械

1. 超精密加工機械	483
1.1.1 無人化最適応制御 NC 高速研削盤	483
1.1.2 自動NCターボ補正円筒研削盤	493
2. 超精密切削機械	496

2.1 超精密切削機械	＜和田 龍児＞	496
2.1.1 主 軸		497
2.1.2 案内面		498
2.1.3 送り機構		499
2.1.4 超精密切削機械		499
2.2 円筒研削盤	＜外山 昌男＞	502
2.2.1 真円度に影響する諸要素		502
2.2.2 円筒度に影響する諸要素		504
2.2.3 仕上面粗さに影響する諸要素		505
2.2.4 間接寸精度に影響する諸要素		507
2.2.5 直接寸精度に影響する諸要素		508
2.2.6 作業環境と予備運転		508
2.3 内面研削盤	＜守友 貞雄＞	509
2.3.1 超精密内面研削盤に要求されること		509
2.3.2 構成ユニット		512
2.3.3 超精密研削盤		519
2.4 心なし研削盤	＜小島 利一＞	522
2.4.1 緒 言		522
2.4.2 心なし研削盤の特徴		523
2.4.3 心なし研削盤の造円作用		524
2.4.4 心なし研削盤の機能		524
2.5 平面研削盤	＜吉岡 潤一・小泉 孝一＞	532
2.5.1 はじめに		532
2.5.2 脆性材料の微細切込み加工を実現する超精密工作機械の技術的課題		533
2.5.3 微細切込み研削を可能にする平面研削盤の開発		534
2.5.4 ダイヤモンド砥石のツルーイング・ドレッシング		539
2.5.5 研削結果		542
2.6 ねじ研削盤	＜柳下 龍三＞	545
2.6.1 研削加工ねじ		545
2.6.2 ねじリード創成機構		547
2.6.3 数値制御ねじ研削盤		552

2.6.4	ねじ内面研削盤	553
2.6.5	ねじ研削の精度	555
2.7	ルーリングエンジン	559
	<原田 達男>.....	
2.7.1	ルーリングエンジン機構	560
2.7.2	ルーリングエンジンの光波干渉制御	561
2.7.3	光波干渉制御間欠送りルーリングエンジン	562
2.7.4	収差補正凹面回折格子用数値制御ルーリングエンジン	563
3.	半導体工業と超精密加工技術	566
	<橋本 誠也>.....	
3.1	素子の微細化と加工上の問題点	567
3.2	シリコンウェハの加工	570
3.2.1	インゴットの切断	570
3.2.2	ラップ加工, ポリッシング加工	571
3.2.3	シリコンの研削	572
3.3	ホトマスク	574
3.4	転写装置	577
3.4.1	密着転写装置	577
3.4.2	1:1 投影転写装置	577
3.4.3	1/10縮小投影露光装置	578
3.4.4	電子ビーム露光装置	581
3.4.5	温度, 塵埃の管理	583
3.5	ドライエッチング	583

第Ⅶ章 参考資料

1.	熊谷記念賞受賞業績概要	587
2.	関係内外規格	598

執筆者一覧 (執筆分担順)

竹中 規雄	日本大学理工学部
小林 昭	埼玉大学工学部
貴志 浩三	宇都宮大学工学部
江田 弘	宇都宮大学工学部
谷口 紀男	東京理科大学理工学部
津和 秀夫	大阪大学名誉教授
宮下 政和	シチズン時計㈱
大出 貞男	シチズン時計㈱
廣瀬 三夫	㈱信光社
近山 晶	近山晶宝石研究所
藤田由利夫	㈱不二越
山本 義彦	東京芝浦電気㈱
西 良正	大同特殊鋼㈱
池上駅一郎	三菱電機㈱
塚田 為康	東京芝浦電気㈱
江川 満	㈱東京精密
土橋 政信	㈱不二越
佐藤 幸雄	日本電気㈱
片山 茂	日本電気㈱
小宮 昇	九州松下電気㈱
金子 礼三	日本電信電話公社
安川 英昭	㈱諏訪精工舎
住谷 充夫	東京芝浦電気㈱
等々力 亮	オリンパス精機㈱
染谷 輝夫	日本電子㈱
井川 直哉	大阪大学工学部
岡村健二郎	京都大学工学部
越智 忠	㈱ノリタケカンパニーリミテッド
和田 龍児	豊田工機㈱
寺谷 忠郎	広島工業大学工学部
酒井 保男	東芝機械㈱
小林 達宜	三菱金属㈱