機械系コアテキストシリーズ E-1

機械加工学基礎

松村　隆・笹原 弘之
共著

コロナ社

機械系コアテキストシリーズ
編集委員会

編集委員長

工学博士　金子 成彦（東京大学）

〔B：運動と振動分野 担当〕

編 集 委 員

博士（工学）　渋谷 陽二（大阪大学）

〔A：材料と構造分野 担当〕

博士（工学）　鹿園 直毅（東京大学）

〔C：エネルギーと流れ分野 担当〕

工学博士　大森 浩充（慶應義塾大学）

〔D：情報と計測・制御分野 担当〕

工学博士　村上 存（東京大学）

〔E：設計と生産・管理（設計）分野 担当〕

工学博士　新野 秀憲（東京工業大学）

〔E：設計と生産・管理（生産・管理）分野 担当〕

2017 年 3 月現在

刊行のことば

このたび，新たに機械系の教科書シリーズを刊行することになった。

シリーズ名称は，機械系の学生にとって必要不可欠な内容を含む標準的な大学の教科書作りを目指すとの編集方針を表現する意図で「機械系コアテキストシリーズ」とした。本シリーズの読者対象は我が国の大学の学部生レベルを想定しているが，高等専門学校における機械系の専門教育にも使用していただけるものとなっている。

機械工学は，技術立国を目指してきた明治から昭和初期にかけては力学を中心とした知識体系であったが，高度成長期以降は，コンピュータや情報にも範囲を広げた知識体系となった。その後，地球温暖化対策に代表される環境保全やサステイナビリティに関連する分野が加わることになった。

今日，機械工学には，個別領域における知識基盤の充実に加えて，個別領域をつなぎ，領域融合型イノベーションを生むことが強く求められている。本シリーズは，このような社会からの要請に応えられるような人材育成に資する企画である。

本シリーズは，以下の 5 分野で構成され，学部教育カリキュラムを構成している科目をほぼ網羅できるように刊行を予定している。

A：「材料と構造」分野
B：「運動と振動」分野
C：「エネルギーと流れ」分野
D：「情報と計測・制御」分野
E：「設計と生産・管理」分野

また，各教科書の構成内容および分量は，半期 2 単位，15 週間の 90 分授業を想定し，自己学習支援のための演習問題も各章に配置している。

工学分野の学問内容は，時代とともにつねに深化と拡大を遂げる。その深化と拡大する内容を，社会からの要請を反映しつつ高等教育機関において一定期間内で効率的に教授するには，周期的に教育項目の取捨選択と教育順序の再構成が必要であり，それを反映した教科書作りが必要である。そこで本シリーズでは，各巻の基本となる内容はしっかりと押さえたうえで，将来的な方向性も見据えることを執筆・編集方針とし，時代の流れを反映させるため，目下，教育・研究の第一線で活躍しておられる先生方を執筆者に選び，執筆をお願いしている。

「機械系コアテキストシリーズ」が，多くの機械系の学科で採用され，将来のものづくりやシステム開発にかかわる有為な人材育成に貢献できることを編集委員一同願っている。

2017 年 3 月

編集委員長　金子 成彦

まえがき

機械加工は素材を機械的または力学的に成形するものであり，除去加工や塑性加工がある。近年では，輸送機械をはじめ，医療，エネルギー，情報などのさまざまな産業における製造工程に対する要求が厳しくなり，機械加工でも高能率化や高品位化に向けた作業の改善や最適化が求められている。これまで，このような作業改善は多くの試験を通じて事例的に検討されていた。しかし，年々，軽量・高強度となる素材，寿命特性が向上する工具，機能や性能が進歩する工作機械に応じて，試行錯誤によって作業の改善を図ることは難しい状況にある。そのため，最近の生産技術の開発では，部品の短納期化や省資源などの観点から，加工に関する理論的な背景と，これに基づくシミュレーション技術などに対する関心が高い。このような製造プロセスの技術的な要求を踏まえ，本書では，除去加工における切削，研削，研磨加工を対象とし，加工作業に関する実践的な説明と加工現象の理論的な背景を解説するものである。

1章は，総論として多くの加工法を紹介し，その加工原理を簡単に要約している。本書で取り扱う切削，研削，研磨以外の加工の詳細は他書に譲るが，ここでは，基本的な違いを明確にし，それぞれの特徴について述べている。

2章では，まず種々の切削作業を取り上げ，それぞれの切削機構や用途について説明する。つぎに，切削のメカニズムとそのモデル化を取り上げ，切削に関する基本的な内容を述べている。さらに，切削における評価は工作機械とともに工具の性能に影響する。そこで，工具の寿命に対する考え方として，切削温度，工具材料，工具の摩耗について解説する。ここでは，基礎的な概要とともに，切削温度の数値解析手法，工具摩耗モデル，切削条件の最適化など，近

年のコンピュータの進歩を踏まえて，シミュレーションへの発展についてもふれている。本章最後では，切削過程が製品の仕上りに及ぼす影響を精度，仕上げ面粗さ，残留応力と加工変質層の観点から説明している。

3章では研削加工を対象とし，まずそのメカニズムに関する概要について解説し，砥石の性能とそれが研削過程に及ぼす影響について述べる。つぎに，種々の研削作業とそれを実施する工作機械を紹介している。研削仕上げ面の制御においては，砥石作用面の調整技術，研削条件による除去量やそれが表面や表層部に及ぼす影響が重要となる，この章の後半では，それらの理論的な背景を示し，それと実際における研削状態とを関連づける。

4章では，研磨加工の特徴，種類，加工機構を説明する。圧力制御による研磨加工では，一般に研削加工よりも良好な仕上げ面が得られ，非常に高い平坦度を達成できる。ここでは研磨加工を固定砥粒研磨法，遊離砥粒研磨法，自由砥粒研磨法に分類し，それぞれの加工方法と実用例を示す。また，それらの特徴と優位性について述べている。

本書は，ある程度の数学や物理の知識が必要であるため，機械工学系大学生の専門教育，または企業における生産技術の導入用として著したものである。本書ではあまり多くの事例を載せず，素材や工具などの加工環境の今後の変化にも対応できるように，加工現象に関する考え方や因果関係を中心に解説している。また，章末の演習問題に対する解説も，読者にさらなる理解を深められるように記述した。読者の研究開発への発展に寄与できたら幸いである。

最後に，金子成彦（東京大学教授）委員長をはじめ本シリーズ編修委員会委員の先生方，本書執筆の機会を与えて頂きました新野秀憲先生（東京工業大学教授），そしてコロナ社には大変お世話になりました。ここに深く感謝いたします。

2018年4月

松村　隆・笹原弘之

目　次

1章　機械加工学

1.1　材料加工　*2*

1.2　機械加工　*5*

1.3　除去加工の現象　*7*

1.4　除去加工の産業応用とその課題　*8*

1.5　工作機械技術の課題　*10*

演習問題　*11*

2章　切削加工

2.1　切削加工法　*14*

2.1.1　旋削　*14*

2.1.2　フライス・エンドミル切削　*16*

2.1.3　ドリル・リーマ・タップ切削　*20*

2.1.4　平削り・形削り　*24*

2.1.5　ブローチ切削　*25*

2.1.6　歯車切削　*26*

2.2　切削メカニズムと切削力　*28*

2.2.1　切削現象　*28*

2.2.2　切削メカニズム　*29*

2.2.3　切りくず生成　*32*

2.2.4 構 成 刃 先 *34*
2.2.5 切 削 力 *35*
2.2.6 切削力の変化 *40*
2.2.7 旋削における切削力 *46*
2.2.8 フライス・エンドミルにおける切削力 *49*
2.2.9 ドリルにおける切削力 *51*
2.2.10 切削力の解析的予測手法 *52*
2.2.11 工具面の応力分布 *57*
2.3 切 削 温 度 *58*
2.3.1 切削エネルギーと切削熱 *58*
2.3.2 切削温度の測定 *59*
2.3.3 切削温度の解析 *61*
2.3.4 切削温度の数値解析 *67*
2.4 工 具 摩 耗 *72*
2.4.1 工 具 材 料 *72*
2.4.2 工 具 損 傷 *74*
2.4.3 工 具 摩 耗 *76*
2.4.4 工 具 寿 命 *78*
2.4.5 工具摩耗モデル *80*
2.4.6 切削条件の最適化 *84*
2.5 加 工 品 位 *86*
2.5.1 加 工 精 度 *86*
2.5.2 仕上げ面粗さ *88*
2.5.3 加 工 変 質 層 *91*
2.6 切 削 油 剤 *95*
2.6.1 切削油剤の機能 *95*
2.6.2 切削油剤供給の低減 *96*
2.6.3 切削油の廃液処理 *97*

演習問題　97

3章 研削加工

3.1 研削加工の特徴と種類　100
3.1.1 研削加工の特徴　100
3.1.2 研削加工の種類　102
3.2 研削砥石　103
3.2.1 砥粒の種類　104
3.2.2 粒度　106
3.2.3 結合剤の種類　106
3.2.4 結合度　106
3.2.5 組織　108
3.2.6 研削砥石の形状　109
3.2.7 研削砥石の表示　109
3.3 研削加工と工作機械　111
3.3.1 平面研削　111
3.3.2 円筒研削　112
3.3.3 内面研削　113
3.3.4 心なし研削　115
3.3.5 心なし内面研削　116
3.3.6 ねじ研削　116
3.3.7 歯車研削　117
3.3.8 その他の研削　118
3.4 砥石表面の調整技術　119
3.4.1 砥石の自生作用　119
3.4.2 砥石表面状態の変化　120
3.4.3 ツルーイングとドレッシング　121
3.5 研削条件と加工状態　123

3.5.1 研削状態のモデル化 123
3.5.2 研削状態と加工面層への影響 125
演 習 問 題 127

4章 研 磨 加 工

4.1 研磨加工の特徴と種類 130
4.1.1 研磨加工の特徴 130
4.1.2 研磨加工の種類 130
4.2 固定砥粒研磨法 131
4.2.1 超仕上げとホーニング 131
4.2.2 ベルト研削とテープ研磨 132
4.3 遊離砥粒研磨法 134
4.3.1 ラッピングとポリシング 134
4.3.2 CMP 136
4.3.3 超 音 波 加 工 137
4.4 自由砥粒研磨法 139
4.4.1 噴射加工，アブレシブウォータジェット加工 139
4.4.2 バレル研磨と粘弾性流動研磨 140
4.4.3 磁 気 研 磨 142
演 習 問 題 142

引用・参考文献 143
演習問題解答 146
索 引 153

1章 機械加工学

◆本章のテーマ

機械製作における材料加工を総括し，機械的な除去加工の位置づけを示す。また，機械加工における構成要素と材料除去の原理について述べる。そして，本書で学ぶ切削加工，研削加工，砥粒加工の違いと，その適用について理解する。さらに，これらの加工現象を理解するための物理的な因果関係と関連分野を明らかにする。最後に，除去加工が応用されている分野とその技術的課題，除去加工を担う工作機械技術の課題について説明する。

◆本章の構成（キーワード）

1.1 材料加工
　除去加工，非除去加工
1.2 機械加工
　強制切込み加工，圧力切込み加工，母性原理，浮動原理
1.3 除去加工の現象
　加工力，加工エネルギー，加工温度，摩耗，精度，表面粗さ，加工変質
1.4 除去加工の産業応用とその課題
　難削化，（材料の）複合化，硬脆化，微細化
1.5 工作機械技術の課題
　高速化，多軸化，高精度化，加工の複合化，知能化

◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

- ☞ 機械製作における材料加工の体系
- ☞ 機械加工の分類と原理
- ☞ 除去加工に対する理論的な考え方
- ☞ 除去加工が応用されている分野とその課題
- ☞ 除去加工を実施する工作機械技術の課題

1.1 材 料 加 工

われわれの身の回りの機械製品のほとんどは，その構成要素である部品を加工し，それを組み立てることによって製造されている。これらの部品に対する材料加工は，現在，産業製品において不可欠な製造工程であり，これを制御することで，高品質な製品を能率よく，低コストで製作できる。

材料加工（material processing）は，それを実施する加工機，使用工具，加工条件によって制御されるが，単なる加工事例でデータベースを構築しても，新しい材料や作業には柔軟に対応できない。近年，製造業では生産の立上げ期間の短縮化に対する要求が高まり，また環境対応の観点からは，省資源，省エネルギーの指向が強い。そのため，試験材と試験時間の節約が望まれている。このような要求に対して，材料加工を柔軟かつ適切に制御するためには，加工原理とともに，その理論的な背景を知る必要がある。本書は，このような背景に基づき，加工現象を物理的および化学的な観点から解説するものである。

材料加工は，**表 1.1** のように所定の部品寸法と形状に対して不要な材料部分を取り除く**除去加工**（removal process）と，接合，付着，変形させる**非除去加工**（non-removal process）に分類される。

除去加工には，機械的に材料を除去する**機械加工**（machining）と熱的，電気化学的，化学的に除去する特殊加工がある。機械加工には本書で対象とする切削（cutting），研削（grinding），研磨（polishing）があり，工具または砥粒を材料に干渉させ，相対運動させることで，材料を除去するものである。これらは比較的大きな面積を効率よく加工し，部品の形状を精度よく仕上げられる。

特殊加工（non-conventional process）には，放電加工，レーザ加工，電子ビーム加工，イオンビーム加工，電解加工，電解研磨（electrolytic polishing），プラズマ加工，エッチングなどがある。

放電加工（electrical discharge machining）は，電極やワイヤと工作物との間でパルスアーク放電を発生させ，その熱によって工作物を溶融または蒸発さ

表 1.1　主な材料加工の分類

大分類	分　類	加　工　法	エネルギー別加工法
除去加工	機械加工	切削	力学的加工
		研削	
		研磨	力学・化学的加工
	特殊加工	放電加工	熱的加工
		レーザ加工	
		電子ビーム加工	
		イオンビーム加工	力学的加工
		電解加工	電気化学的加工
		電解研磨	
		プラズマ加工	
		エッチング	化学的加工
非除去加工	溶融加工	鋳造	熱的加工
		溶接	
	成形加工	押出し	力学的加工
		引抜き	
		圧延	
		プレス	
		鍛造	

せて除去する熱的加工である。

レーザ加工（laser machining）は，レーザ光をレンズで集光して高密度なエネルギーによって非接触で材料を除去する。光エネルギーが熱エネルギーに変換され，加熱，溶融，蒸発によって，切断，溶接，表面改質ができる。最近では，光エネルギーによって固体表面の原子や分子を直接解離して除去する非熱的加工もある。

電子ビーム加工（electron beam machining）は，真空中で高電圧により加速した熱電子を静電（あるいは磁界）レンズによって集光させて固体表面に衝突させることにより，局所的に材料を溶融・蒸発させて除去する。熱的に穴あけ，切断，溶接，焼入れ，焼なましなどができる加工法である。

イオンビーム加工（ion beam machining）では，イオンを固体表面に衝突さ

せ，その運動エネルギーによって材料を除去または付着させる。レーザ加工や電子ビーム加工は主に熱的加工であるが，イオンビーム加工は非熱的に材料を除去する。

電解加工（electrochemical machining）では，塩化ナトリウムや硝酸ナトリウム水溶液などの電解液中で直流電圧，またはパルス電圧を工具電極（陰極）と工作物（陽極）間に印加し，陽極側の工作物を電気化学的に溶融させて材料を除去する。また，電解研磨も同様に，電解液中で工作物を陽極とし，対極との間に直流電流を流すことによって，材料表面を平滑化する。

プラズマ加工（plasma machining）は，真空中で高電場をかけて電離した電子と陽イオンとなったプラズマ状態を利用した加工法である。プラズマアークを利用したプラズマアーク溶接やプラズマ切断，プラズマを照射して表面処理を行うプラズマエッチング，プラスチック粉末を溶かしながら吹付け塗装を行うプラズマ溶射などがある。

エッチング（photo chemical etching）は，化学溶液による化学反応や腐食作用を利用し，工作物を溶解させる加工法である。露光および現像技術によって微細加工が可能である。エレクトロニクスの微小部品や半導体の集積回路の加工に広く適用されている。

非除去加工では材料を溶融させる**鋳造**（casting）や**溶接**（welding）などの**溶融加工**（melting process）と，塑性変形による**成形加工**（forming）がある。

鋳造は対象形状にならった空洞部を有する型に溶けた金属を流し，冷やして固める加工である。液体金属を用いた鋳造は，量産性や形状の自由度が高く，複雑な形状の部品が容易に製造できる。また，溶接には融接，圧接，ろう付けがあるが，母材を溶融し熱的に結合する接合法である。

成形加工では，材料に力学的なエネルギーを与え，**押出し**（extrusion），**引抜き**（drawing），**圧延**（rolling），**プレス**（press working）などで塑性変形させ，所定の形状を成形するものである。除去加工のように切りくずを出すことはなく，高能率で大量生産が可能である。また，成形条件を制御することで，材料組織を制御することも可能である。

以上のように，機械製作における部品加工には多くの方法があるが，その中でも，切削，研削，研磨による機械的な除去加工は効率とともに加工精度や仕上げ面粗さの制御が容易であり，また，比較的低コストで実施可能なため，古くから多くの産業分野で実用化されてきた。本書では，これらの加工法のさらなる効率化と発展を目的とし，それらの加工原理と加工プロセスの制御について解説する。

1.2 機　械　加　工

機械加工では，**工作機械**（machine tool）上で**工具**（tool）を用い，材料，すなわち**工作物**（workpiece）の一部を**切りくず**（chip）として除去する。工具は工作物に対して切込みを与えて，工作物と工具を相対的に運動させることで除去するが，その方法には，**表 1.2** のように**強制切込み加工**（controlled depth machining）と**圧力切込み加工**（controlled force machining）がある。

強制切込み加工は，**図 1.1** の切削や研削のように，工具や砥石（といし）によって材料に所定の切込みを与え，工作機械の駆動機構によって工具と工作物を相対運動させて材料を除去するものである。そのため，加工された部品や製品の形状は工作機械の運動と工具形状によって制御されるが，これを**母性原理**（copying principle）と呼んでいる。強制切込み加工では，切込みに応じて材料が除去されるために効率が高いが，その仕上げ面は工作機械の振動や工具の成形精度に依存する。また，表層部を強制的に除去するために仕上げ面の表面近傍に変質（加工変質）層が生ずる。

一方，圧力切込み加工は，**図 1.2** のように工具を所定の加圧力で工作物に押し付けて加工面との接触部を除去する。また，図（b）のように工具と被削材の界面に自由に運動できる砥粒を介在させて材料を除去できる。この加工では，工具は一定の圧力の下で加工面自体に案内された状態となっており，仕上げ面の精度や粗さは加工の進行とともによくなる。これは**浮動原理**（floating principle）と呼ばれている。したがって，加工精度や仕上げ面粗さは工作機械

索　　引

【あ】

圧　延
rolling *4*

圧壊力
indentation force *43*

アップカット
up-cutting *20*

圧力切込み加工
controlled force machining *5*

圧力転写方式
pressure copying principle *130*

アブレシブウォータジェット加工
abrasive waterjet cutting *139*

【い】

イオンビーム加工
ion beam machining *3*

移動熱源
moving heat source *62*

【う】

運動転写方式
motion copying principle *130*

【え】

液体ホーニング
wet blasting *139*

エッチング
photo chemical etching *4*

延性モード
ductile mode *34*

円筒研削
cylindrical grinding *103, 112*

エンドミル切削
milling *18*

【お】

送り分力
feed force *47*

押出し
extrusion *4*

【か】

かえり
burr *90*

化学蒸着法
chemical vapor deposition *73*

拡散摩耗
diffusion wear *81*

加工変質層
① damaged layer
② affected layer *91, 126*

風上法
up wind scheme *69*

形削り
shaping *24*

形直し
truing *122*

【き】

機械加工
machining *2*

機械的摩耗
mechanical wear *75*

気　孔
pore *103, 106*

ギヤ切削
gear machining *26*

境界摩耗
① notched wear
② grooving wear *77*

強制切込み加工
controlled depth machining *5*

凝着摩耗
adhesion wear *81*

切りくず
chip *5, 14*

切りくず速度
chip flow velocity *31*

切込み
uncut chip thickness *14, 30*

き裂型切りくず
crack type chip *34*

【く】

グリットブラスティング
grit blasting *139*

クレータ摩耗
crater wear *76*

グレード
grade *106*

【け】

結合剤
bonding agent *103, 106*

結合度
grade *106*

研削加工
grinding *100*

研削砥石
grinding wheel *103*

研削比
grinding ratio *120*

研磨加工
polishing *100, 130*

【こ】

工　具
tool *5, 14*

工具欠損
tool failure 74
工具鋼
tool steel 72
工具寿命
tool life 78
工具寿命方程式
tool life equation 79
工具分割法
split tool method 57
工具摩耗
tool wear 75
工作機械
machine tool 5
工作物
workpiece 5, 14
構成刃先
built-up edge 35
高速度鋼
high speed steel 72
固定砥粒加工
fixed abrasive processing 100
固定砥粒研磨法
fixed abrasive processing 130
コントロールボリューム
control volume 68

【さ】

最小切取り厚さ
minimum chip thickness 44
最大砥粒切込み深さ
maximum grain depth of cut 124
材料加工
material processing 2
サンドブラスト
sand blasting 139
残留応力
residual stress 92, 126

【し】

磁気研磨
magnetic abrasive finishing 142
自生作用
self-dressing 120
終期欠損
wear out failure 75
終期摩耗
rapid wear 77
自由砥粒研磨法
free abrasive processing 130
主分力
principal force 36, 47
焼　結
sintered 72
正面研削
face grinding 103
初期欠損
early failure 75
初期摩耗
initial wear 77
除去加工
removal process 2
ショットピーニング
shot peening 139
心なし研削
centerless grinding 103, 115
心なし内面研削
internal centerless grinding 116
シンニング
thinning 21
親和性
affinity 45

【す】

すくい角
rake angle 30
すくい面
rake face 30
すくい面摩耗
crater wear 76
スパークアウト
spark out 125
スラスト
thrust 51

【せ】

成形加工
forming 4
成形研削
form grinding 117
静止熱源
stationary heat source 64
脆性モード
brittle mode 34
青熱脆性
① blue brittleness
② blue shortness 35
赤外線写真
infrared photography 60
切削厚さ
cutting width 29
切削温度
cutting temperature 59
切削工具
cutting tool 14
切削速度
① cutting speed
② cutting velocity 30
切削動力
cutting power 58
切削動力計
piezoelectric dynamometer 36
切削幅
cutting width 30
切削比
cutting ratio 31
切削力
① cutting force 28
② resultant cutting force 37
接触弧長さ
contact arc length 124

セミドライ加工
semi-dry cutting 96
セラミック
ceramic 72
旋　削
turning 14
センタレス研削
centerless grinding 103
せん断域
shear zone 30
せん断角
shear angle 31
せん断型切りくず
shear type chip 33
せん断速度
shear velocity 32
せん断ひずみ
shear strain 31
せん断ひずみ速度
shear strain rate 32
せん断面
shear plane 31
せん断面せん断応力
shear stress on shear plane 38
旋　盤
lathe 14

【そ】

創成研削
gereration grinding 117
組　織
structure 108

【た】

ダイヤモンド
diamond 72
ダイヤモンドドレッサ
diamond dresser 122
ダウンカット
down-cutting 20
タップ
tapping 24
弾性砥石
regulating wheel 115
断続切削
interrupted cutting 16

【ち】

チゼル
chisel 20
チッピング
chipping 75
鋳　造
casting 4
超音波加工
ultrasonic machining 139
超硬合金
cemented carbide 72
超仕上げ
super finishing 131
調整車
regulating wheel 115

【つ】

ツルーイング
truing 122

【て】

定常摩耗
steady wear rate 77
テープ研磨
tape finishing 134
電解加工
electrochemical machining 4
電子ビーム加工
electron beam machining 3

【と】

通し送り法
through-feed grinding 116
特殊加工
non-conventional process 2
突発的欠損
chance failure 75
ドライ加工
dry cutting 96
砥　粒
abrasive grain 100, 103, 104
砥粒加工
abrasive processing 100
砥粒切込み深さ
grain depth of cut 124
ドリル
drilling 20
トルク
torque 51
ドレッシング
dressing 122

【な】

内面研削
internal grinding 103, 113

【に】

逃げ角
clearance angle 30
逃げ面
flank face 30
逃げ面摩耗
flank wear 76
二次元切削
orthogonal cutting 30
二次塑性域
secondary shear zone 34

【ね】

熱移流
thermal convection 67
熱拡散
thermal diffusion 67
熱的摩耗
thermal wear 75
熱電対
thermocouple 59
粘弾性流体研磨
viscoelastic abrasive flow polishing 141

【の】

鋸歯型切りくず
① serrated chip
② saw-tooth type chip 33

【は】

背分力
thrust force 36, 47

歯車研削
gear grinding 117

発　熱
heat generation 67

ば　り
burr 90

バレル研磨
barrel polishing 140

【ひ】

引抜き
drawing 4

被削材
workpiece 14

非除去加工
non-removal process 2

比切削抵抗
specific cutting force 42, 47

引っかき摩耗
ploughing 81, 82

ピニオンカッタ
pinion cutter 27

平削り
planing 24

【ふ】

物理蒸着法
physical vapor deposition 73

浮動原理
floating principle 5

フライス切削
face milling 16

プラズマ加工
plasma machining 4

プランジ研削
plunge grinding 113

プレス
press working 4

ブローチ
broaching 25

噴射加工
blasting 139

【へ】

平面研削
surface grinding 102, 111

ベイルビー層
Beilby layer 91

ベルト研削
belt grinding 132

【ほ】

放射温度計
radiation thermometer 60

放電加工
electrical discharge machining 2

母性原理
copying principle 5

ホーニング
honing 131

ホ　ブ
hob 27

掘起し
ploughing 75

ポリシング
polishing 134

【ま】

摩擦角
friction angle 38

摩擦係数
friction coefficient 38

摩　滅
abrasive 75

摩　耗
tool wear 28

摩耗速度
wear rate 77

摩耗特性式
wear characteristic equation 83

摩耗特性定数
wear characteristic constants 83

【む】

むしり型切りくず
tear type chip 34

【め】

目こぼれ
shedding 120

目つぶれ
glazing 120

目づまり
clogging 121

目直し
dressing 122

【や】

焼入れ
quenching 72

【ゆ】

有限体積法
finite volume method 67

遊離砥粒加工
loose abrasive processing 100

遊離砥粒研磨法
loose abrasive processing 130, 134

【よ】

溶　接
welding 4

溶融加工
melting process 4

【ら】

ラックカッタ
rack cutter 26

ラッピング
lapping 134

【り】

リップ
lip 20

立方晶窒化ホウ素
cubic boron nitride 72

リーマ
reaming 23

粒　度
① grain size
② grit size 103, 106

【れ】

冷風加工
cooling air cutting 97

レーザ加工
laser machining 3

連続型切りくず
① continuous chip
② flow type chip 32

連続切れ刃間隔
cutting point spacing 123

連続切削
continuous cutting 16

【ろ】

ロータリダイヤモンドドレッサ
rotary diamond dresser 122

【C】

cBN
cubic boron nitride 72

CMP
chemical mechanical polishing 136

CVD
chemical vapor deposition 73

【H】

Holm の確率
Holm's probability 82

【M】

MQL
minimal quantity lubrication 96

【N】

NC 工作機械
numerical control machine tool 15

【P】

PVD
physical vapor deposition 73

【S】

SOR 法
relaxation method 70

―― 著 者 略 歴 ――

松村　隆（まつむら　たかし）
1987 年　東京工業大学大学院修士課程修了
（機械物理工学専攻）
1987 年　東京工業大学助手
1992 年　博士（工学）（東京工業大学）
1992 年　東京電機大学専任講師
1993 年　東京電機大学助教授
2002 年　東京電機大学教授
現在に至る

笹原　弘之（ささはら　ひろゆき）
1988 年　東京工業大学工学部機械物理工学科
卒業
1988 年　東京工業大学助手
1996 年　博士（工学）（東京工業大学）
1996 年　東京農工大学講師
1998 年　東京農工大学助教授
2007 年　東京農工大学准教授
2009 年　東京農工大学教授
現在に至る

機械加工学基礎

Fundamentals of Machining Technology　© Takashi Matsumura, Hiroyuki Sasahara 2018

2018 年 6 月 8 日　初版第 1 刷発行

検印省略

著　者　松村　隆
笹原　弘之
発 行 者　株式会社　コロナ社
代表者　牛来真也
印 刷 所　新日本印刷株式会社
製 本 所　有限会社　愛千製本所

112-0011　東京都文京区千石 4-46-10
発 行 所　株式会社　**コ ロ ナ 社**
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan
振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)
ホームページ　http://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-04539-0　C3353　Printed in Japan　（金）

JCOPY ＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞
本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は，そのつど事前に，出版者著作権管理機構（電話 03-3513-6969，FAX 03-3513-6979，e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー，スキャン，デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は，いかなる場合も認めていません。
落丁・乱丁はお取替えいたします。