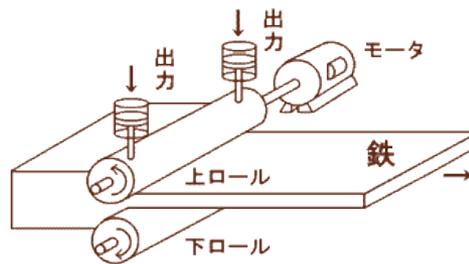


# 金属の加工



熱間圧延

光和商事(株) 荒木 巍

H18.6.16

# 金属加工の位置付け



図12-1 機械加工の位置づけ

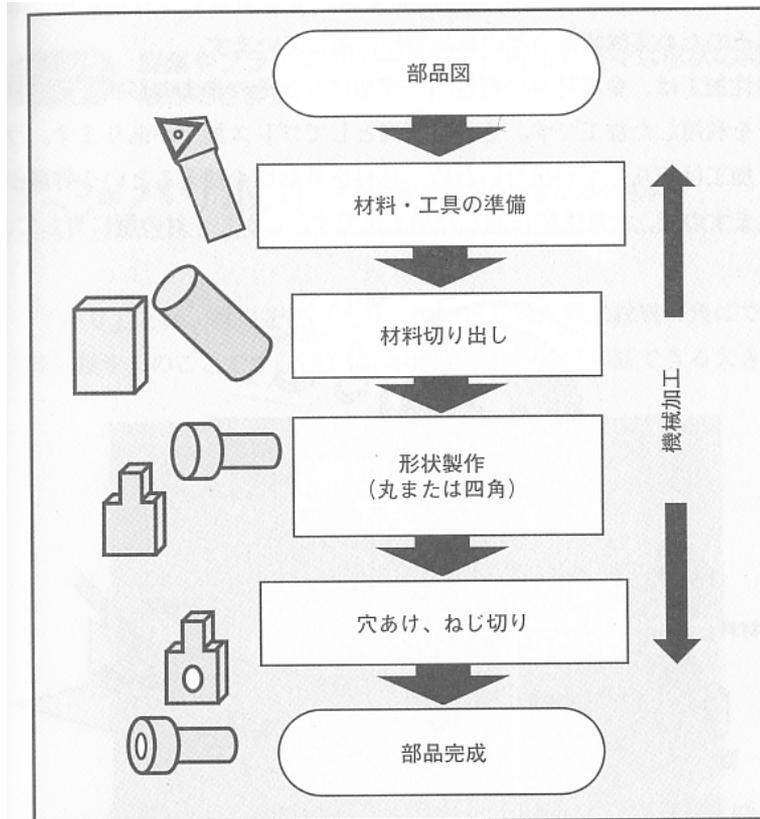
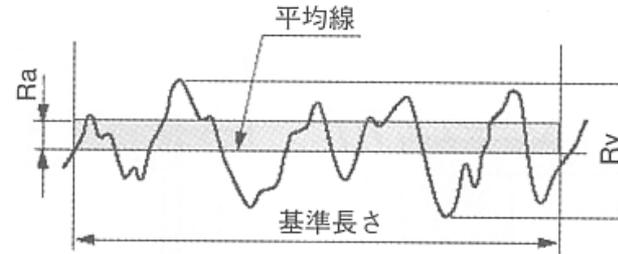


図12-2 機械加工の流れ

表12-1 加工の種類

加工の種類	加工法例
切削	平面、円柱、穴あけ、内面、ねじ、歯切り、特殊形状
溶解	熱溶解、化学溶解、電気溶解
塑性	圧延、引抜き、押し出し(平板、棒、線)、プレス、絞り、曲げ、特殊形状
接合	接着面溶解、接着
表面	仕上げ、磨き、溶射、表面処理



付図 算術平均粗さRaと最大高さRy

算術平均粗さRa	概要	加工
0.8a	特殊な鏡面	研削 精密切削
1.6a	シール面などの重要な面	
3.2a	↑	一般切削 荒削り
6.3a	きれいに見せたい面	
12.5a	↑	
25a	大まかな外形	

図12-3 表面粗さと加工

## 切削加工

**切削加工**とは金属をはじめプラスチック木材等の各種材料を工具と呼ばれる刃物で除去することにより、品物を要求の形状、精度に加工すること。切削加工に使用される機械を工作機械と呼ぶ。被削材質、加工部位の形状や使用する機械の種類に応じて各種の工具が製造されている。

**旋削加工**:被工作物を回転させ、工具刃物を当てて削る加工。その加工に用いる工作機械を旋盤という。対象とする品物に応じて各種の旋盤が製造されている。

**穴あけ加工**:工作物に穴を開ける場合、ドリルをボール盤に取り付けて行う場合が一般的であるが、旋盤やフライス盤での穴あけ加工もある。また近年はマシニングセンタの普及により、他の加工と同時にマシニングセンタで行われることが多くなっている。

**ねじ切加工**:ねじ切り加工は、一般にタップ(めねじ用)やダイスを使う。しかし、特殊なねじを切る場合や大きいねじを切る場合などは旋盤でねじを切ることができる。量産されているねじやボルトなどは、転造加工で作られる。

**歯切加工**:一般には歯切り盤(ホブ盤)によって歯面を切削する。歯車の歯型曲線としては、インボリュート曲線が広く用いられていることから、一般の歯切り盤は、創成法(実際の噛み合わせと同じ)によるものが多い。しかし切削すべき歯形をもった総形フライスを用いてフライス盤によって加工する方法もある。

**ブローチ加工**:ブローチとよばれる専用の工具を用いて、各種工作物の表面加工や、スプライン穴など種々の形状をした穴の内面加工を行う。ブローチ加工の工作機械をブローチ盤という。ブローチは、棒状の軸に、多数の円刃が順次寸法を増しながら配列されている工具で、荒刃、中仕上げ刃、仕上げ刃がそれぞれ複数並んでいる。

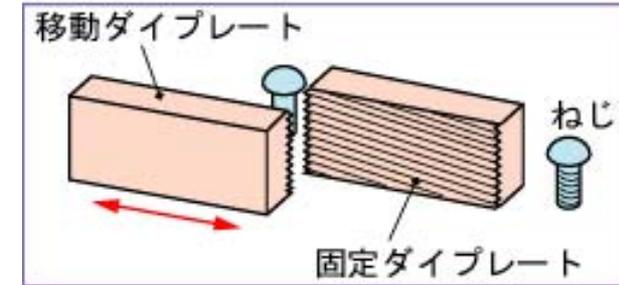


図12-4 転造ねじ加工の例

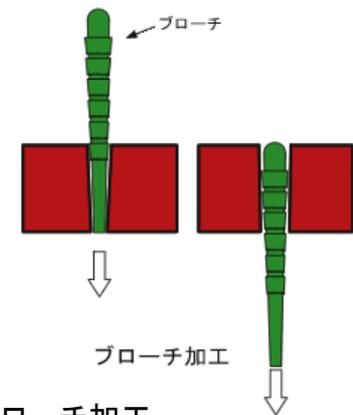


図12-5 ブローチ加工

## 塑性加工

**圧延:** 圧延は平行におかれた一対のロールを回転させ、このロールとロールの間にスラブと呼ばれる鋼などの塊を通して薄くする加工方法。熱間圧延と冷間圧延があり、冷間圧延は熱間圧延工場で生まれた鋼板を、最も薄いものは厚さ0.1mmにまで薄く美しく仕上げる。「冷間」というのは、特に熱を加えないという意味。

**鍛造、プレス:** 鍛造は金属を機械ハンマー等で叩いて圧力を加えることで、金属内部の空隙をつぶし、結晶を微細化し、結晶の方向を整えて強度を高めると共に目的の形状に成形する。プレスは被加工物に圧力を加えて永久変形を生じさせ、所定の寸法や形状の物品を製造すること。機械・電気機器製造、化学工業など広く用いられる。このとき使われる金型の製造は日本の得意とする技術。

**押し出し、引抜き:** 押し出しは金型から原料を押し出すことによって棒材などの断面を形成する方法。引抜きは押し出し成形された棒材を冷間加工で引抜きダイス(仕上げダイス)を通して、高精度に仕上げたものをいう。

**曲げ:** 金属板の曲げ加工は造船や自動車など重工業分野で広く用いられている。曲げ精度に強く関わるスプリングバックのような特性をみて、それを高精度にコントロールする技術が重要。鋼管を曲げるパイプベンダなどもある。

**絞り:** 板材の周部を中央によせて容器状にすること。深絞りは径に対して深さのあるカップ状の製造に適用される。加工時に生じやすい割れやしわの発生防止が重要。



図12-6 熱間圧延機



図12-7 プレス加工機

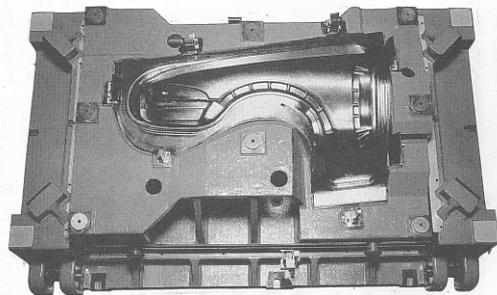


写真1-2 プレス成型用金型(自動車) 提供:株式会社オギハラ

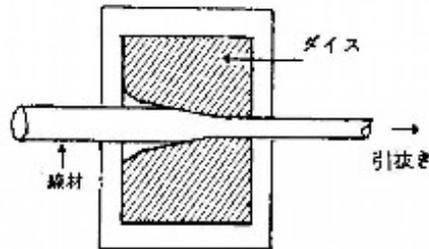


図12-9 線材の引抜き加工図



図12-10 深絞り製品

図12-8 プレス金型の例

## 接合加工

**溶接**: 2つ以上の部材を分子・原子レベルで融合一体化すること。接合箇所が連続性を持つように、部材を加熱したり圧力を加え接合部を融合させる。簡単に言えば、溶接とは複数の金属部品を溶かしてくっつけることである。主な加熱方法としては電気抵抗、アーク放電、レーザー、可燃性ガスを燃焼させて溶接部を加熱するガス溶接がある。母材と母材の間に隙間がある場合は、その空間を補填するために溶加材(溶接棒)が用いられる。接合する母材と母材の配置により①突き合わせ継手、②重ね継手、③隅肉継手(すみにくつぎて)などがある。

**電子ビーム溶接**は電子ビームを溶接部に当てて加熱する溶接。入熱量が少なく、非常に深い溶け込み深さが得られるので精密な溶接に向く。異種金属の接合も可能。ただし真空中でしか溶接できないので、コストは非常に高い

**ロー付け**: 母材と違う母材より融点の低い金属素材を溶融して2つ以上の部材を接合すること。溶融金属は融点が450度以上の硬ろうを使用する。融点が450℃以下の軟ろうの場合は「はんだ付け」という。

**圧接**: 圧力をかけて2つ以上の部材を接合すること。特に加熱してから圧力を加えて接合することを鍛接(たんせつ)という。溶接と異なり溶接棒を使用しない。圧接では母材が溶融するほどは加熱されない。

**焼き締め**: 歯車の中央の穴に軸を固定する場合など、二つの金属の部品の軸側を加熱膨張させるか穴側を冷却収縮させるかして、一方を片方に挿入して、2つの部品が機械的にホールドする圧力や締め付けを起こす。熱膨張・収縮を利用して非常に強い結合力を得る方法。

**機械的接合**: リベット(釘)やねじを使って2つの部品を結合する。リベットは2枚の薄板の結合で、1960年代頃までは造船、鉄鋼構造物に多く使用されていたが、溶接技術の進歩により、リベット工法は溶接工法に移行していった。ねじ、ボルトはフランジなど2つの合せ面の結合に使われ、必要に応じて容易に分解できる利点がある。

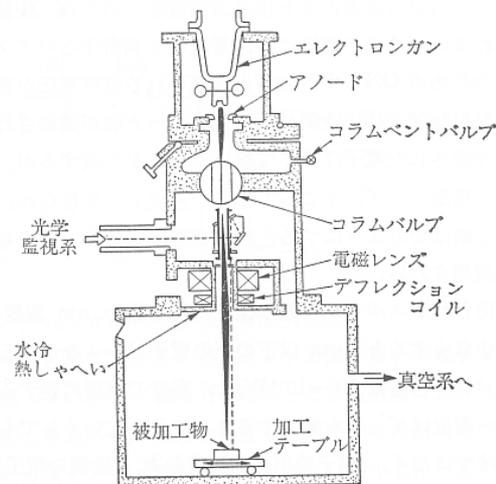


図12-11 電子ビーム溶接の仕組み

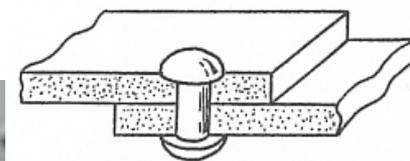


図12-12 リベット接合

**表面熱処理:** 表面硬化熱処理(表面を硬くする熱処理)、表面軟化熱処理(表面を軟らかくする熱処理)、表面滑化熱処理(表面の摩擦係数を小さくして焼付きを少なくする熱処理)の三通りがある。いずれも表面だけを焼入硬化したり、炭素(C)、窒素(N)、硫黄(S)、酸素(O)などのガスを鋼表面に浸み込ませて、表面層の性質を変えるプロセスである。最近ではチタンの炭化物(TiC)やチタンの窒化物(TiN)を蒸着させる方法が表面改質法といわれているが、これもまた表面硬化法の一つである。浸炭は炭素含有量が0.10~0.25%のはだ焼鋼で作った製品の表層部に炭素を浸み込ませ表面硬度を上げる方法でシャフトや歯車に処理することが多い。窒化は鋼の表面に500~600°Cで窒素(N)を浸み込ませる。窒化後は焼入れをする必要はなく、そのまま硬化する。耐摩耗性に優れ、歯車、クランクシャフトなどに適用される。酸化処理: 鋼の表面に酸化膜を形成させるプロセスで、四三酸化鉄( $Fe_3O_4$ )を作る方法は水蒸気処理ともいっている。耐食、耐摩耗性に偉力を発揮する。その他表面焼き入れとして、高周波、ガス炎、レーザーによる方法がある。また、物理的な方法としてショットブラストなどがある。

**無電解メッキ(化学メッキ):** 電気メッキは、穴の奥深くには付きにくい欠点がある。これに対し、化学メッキはメッキ液自体がメッキする能力を持っているので、メッキ液と接したところは全てメッキが可能という特徴がある。また電気を使わないので導電性の無い物質にもメッキが可能。

**溶射:** 酸化物・金属などの粉末を高温ガス中で溶かし高速で母材に吹き付けて成膜する手法。直流アークプラズマにより加熱するプラズマ溶射とアセチレン炎を用いるフレイム溶射がある。

**サンドブラスト:** 圧縮空気と共に、砂またはガラス粒を製品に噴射し、表面を梨地に仕上げる。砂・ガラス粒を使わずに、鋼球を使う方法をショットピーニングという。表面層に残留圧縮応力を生じさせると共に軽い加工硬化をおこさせ、応力や疲れによる破壊強度を増す加工。

**洗浄:** 塗装、めっき、その他のあらゆる金属表面処理の基本工程。単純な溶液による洗浄、電解水、高圧噴射、超音波洗浄などの手法がある。超音波洗浄には水系(アルカリ、中性、酸性)、非水系(アルコール、フッ素系)などの溶液を使用。

**塗装:** 目的に応じて防錆・防食、装飾、空気/水抵抗低減などがある。一般的に前処理塗装の後、仕上げ塗装を実施する。塗装方法として吹きつけ、ドブ漬け、刷毛塗りなどがある。



図12-13 溶射

## 微細加工

**レーザ加工:** 1～10 $\mu\text{m}$ 程度の大きさのレーザスポットにより、金属や各種の材料、および電子基板などの上に様々な微細加工を行うことのできる多目的のシステム。YAG・炭酸ガスレーザなどを用い、微細にかつ効率よく溶接、切断、穴開け、加工などを行う。

**イオンビーム加工:** イオン源で発生させ方向性を持たせたイオンビームを、加速しながら材料表面(ターゲット)に衝突させ、そのイオンの持つ運動エネルギーを利用して除去加工や付着加工を行う方法。

図12-15 イオンビーム加工

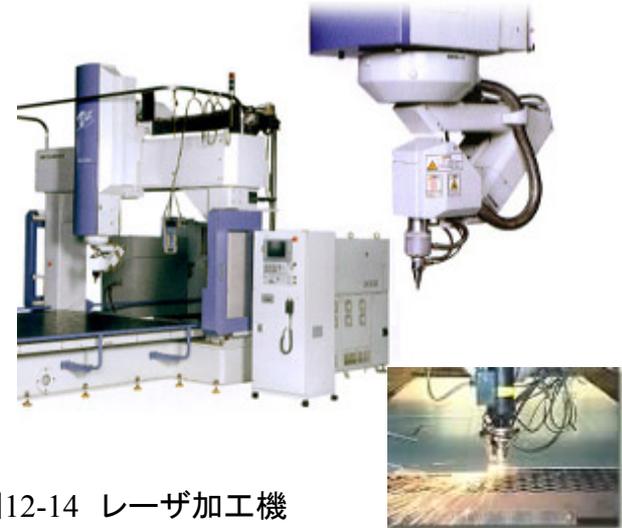
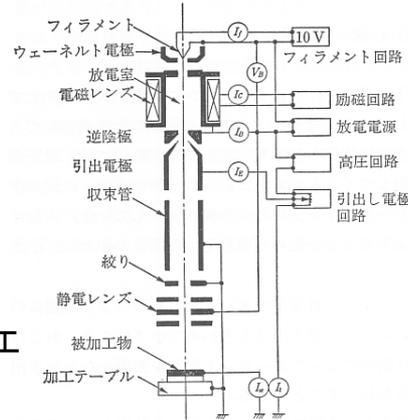


図12-14 レーザ加工機

**マイクロブラスト:** ガラス、セラミックス、シリコンウエハ、カーボンなどを対象とした加工技術。表面加工を行うエアブラスト原理により、#400～#3000(3 $\mu\text{m}$ ～40 $\mu\text{m}$ )程の微細砥粒を圧縮エアを使用して高速で被加工物に噴射し、脆性破壊原理により、高精度な微細加工を実現する。特長は●ドライ工法でノンケミカル、●チップング・クラックが少ない、●加工変質が発生しにくい、●加工レートが高い、●平面の複雑形状加工が可能、●イニシャルコストが低い、●各種マテリアルに対応可能、●ワークへのダメージが小さい、などがある。

**マイクロマシン:** 超小型機械のこと。大きさの定義はまちまちであるが、mm～ $\mu\text{m}$ オーダーの機械構造を言う。一般に動くものを言うが、流路などデバイス自体が動かない物も含まれる。世界的にはMEMS(微小電気機械システム)と言われるが、日本ではマイクロマシンと言うことが多い。必ずしもMEMS=マイクロマシンではない。特に小型ロボット(マイクロロボット)もマイクロマシンと称する場合がある。感光性樹脂中でレーザーを走査させて立体的な構造を作製する。自由な形状の構造が作製可能。

- 第1世代(現在) 単機能デバイス
- 第2世代(5～10年後) 高集積・複合化
- 第3世代(20年後) ナノテク材料技術・バイオ技術との融合への発展が期待される

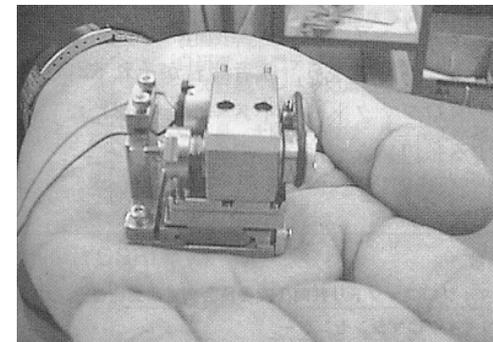


図12-16 マイクロ旋盤

# 特殊加工

<b>電子ビーム加工 (EBM)</b>	真空中で高エネルギーの電子を細い束にして被加工物に当てて、その投射点に発生した熱によって、その局部のみを高温に加熱し、被加工物を溶融または蒸発除去することによって所要の形状に加工すること
<b>電解加工 (ECM)</b>	電気化学加工ともいわれ、電気化学的溶解作用を材料の所要の部分に集中、制限することによって、所要の形状、寸法、表面状態を得る加工方法
<b>プラズマジェット加工</b>	低圧放電の陽光柱のように電離した気体をプラズマという(例:オーロラ)。アーク放電プラズマを大気中にジェット上に噴出させて持続し、その時に発生する高温、高速のエネルギーを用いて材料の切削、切断をする加工法
<b>超音波加工</b>	液体中にボロンカーバイトなどの砥粒を含ませたスラリーが、工具の振動面と被加工物の加工面の間に供給され、工具の振動によって砥粒が加工面を衝撃して加工作用をもたらす
<b>物理蒸着 (PVD)</b>	イオンビームを基盤にぶつけて表面に蒸着させる方法で、「真空蒸着」、「スパッタ蒸着」、「イオンプレーティング」などの方法がある。高純度の蒸着膜が得られる
<b>化学めっき (CVD)</b>	CVDの代表的なものは化学蒸着で低温で気化する揮発性物質と高温に加熱された物体との接触によりその表面にめっきしようとする物質の層を析出させる。析出層の種類は多様で、析出速度も比較的早く、密着性もよい

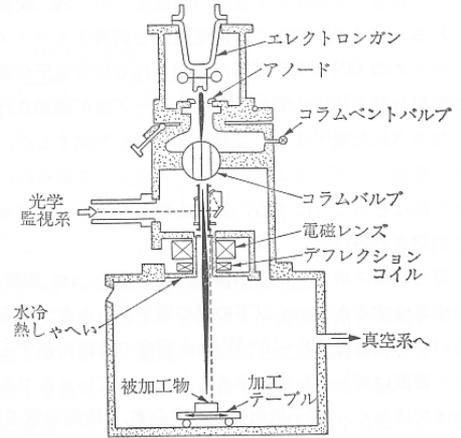


図12-16a 電子ビーム加工

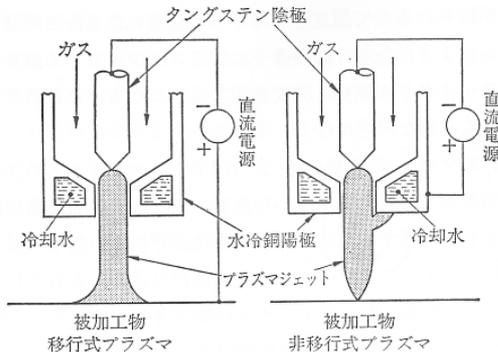


図12-18 プラズマジェット加工

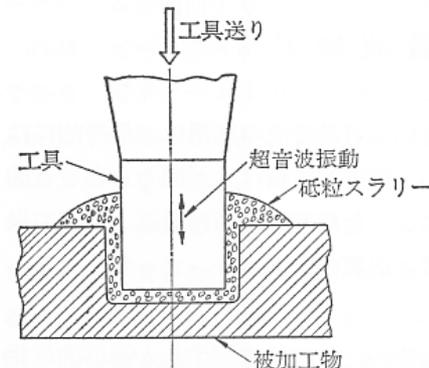


図12-19 超音波加工

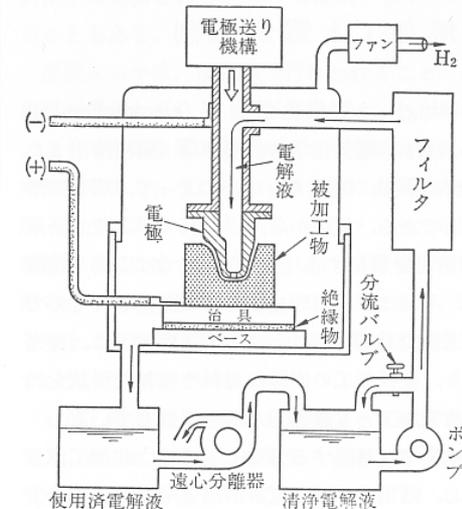


図12-17 電解加工

# 新しい加工技術

超精密加工	最近の技術の発展は目覚しく、大きな動向としては超高精度化、複雑形状化、微細溝形状の複雑化、材料の高度化に対応。
ナノメートル加工	主として光学部品の製作に応用されている。光ディスク、光通信デバイス、デジタルカメラ、ムービーなどの映像情報機器、フラットパネルディスプレイ、プロジェクション用ディスプレイ、高精度スキャナー・プリンター、各種光計測装置、最先端科学分析機器などのキーテクノロジーとして重要。
高性能研削加工	半導体材料や光学素子にナノメートル級の表面粗さ、平坦度が求められ、微細化、高精度化、環境対応化、実用化が追及され、研磨との境がボーダーレスになってきている。
深穴加工	自動車エンジン部品の潤滑油、冷却水を通すための深穴ニーズが強い。マシーニングセンターに油穴つき超硬ロングドリルが使用される。
異種材料接合	還元雰囲気中にて異種金属部品同士、あるいはセラミック部品と金属部品のロー付け加工を行う。還元雰囲気での接合は金属材料を酸化させることなく、融点差をうまく利用して数段階にわたる複雑な部品の接合組立が可能。
ナノめっき	ナノメートル級の厚みでめっきすることにより、母材の被覆効果と同時にトンネル効果で内側の組織の性格がにじみ出てくる。例えば燃料電池のニッケル板にテフロン微粒子をめっきする。被覆と基盤の両方の特性を生かす。福井工大などで研究。
ストリップキャスター	溶鋼から直接ホットコイルを製造する革新的な次世代プロセスで、省エネの観点からも世界的な関心が高まっている。新日鉄、IHIなどが開発ほぼ完了。

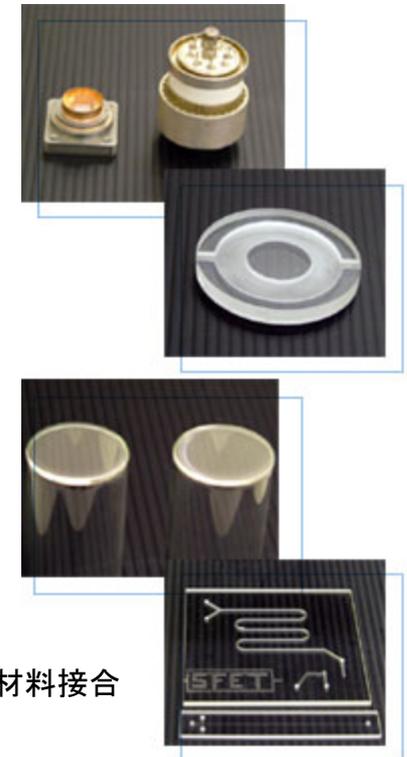


図12-20 異種材料接合

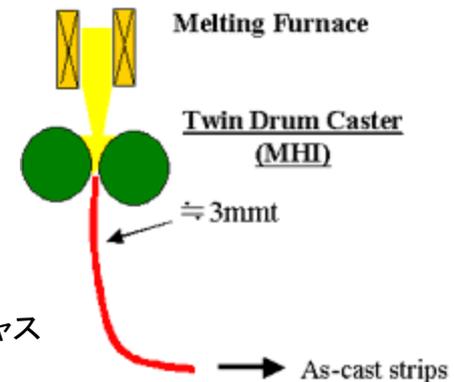


図12-21 ストリップキャスターの原理

高速検査ロボット	きず、打痕など外観異常をカメラロボットと画像処理で高速に検査する。デンソーが自動車エアコンなどの工場ラインでの検査用に開発
光波干渉計	気体レーザーを用いて干渉縞計数方式によって長さをはかり、工作機械のテーブルの移動量や位置決めに用いる(1969年ヒューレット・パカード)
浸透探傷検査	材料の非破壊検査法の一つ。英語の PI (penetrant inspection) やPT (penetrant testing, 浸透探傷試験)とも呼ばれる。材料表面に開口した傷(クラック)を探し出すことができる。染色浸透探傷検査と蛍光浸透探傷検査などがある
三次元測定	球形プローブを測定面に接触または非接触でその座標値を求める測定方法で、曲面形状の評価では、測定した曲面が設計形状からどの程度異なっているかを立体的に調べる
電気マイクロメータ	差動変圧器により測定子の微小変位量をを測定するマイクロメータ。変位の電氣的出力の利用によって工作機械のフィードバック制御、データの統計的処理に基づく監視が可能となり、また自動測定が容易にできるようになった(東京精密)
走査型トンネル顕微鏡 (STM)	STMは物質表面の原子を一つ一つ分解して見ることができる(つまり電子顕微鏡よりも小さなモノが見える)。STMによって微細な加工表面を測定する



図12-22 高速検査ロボット

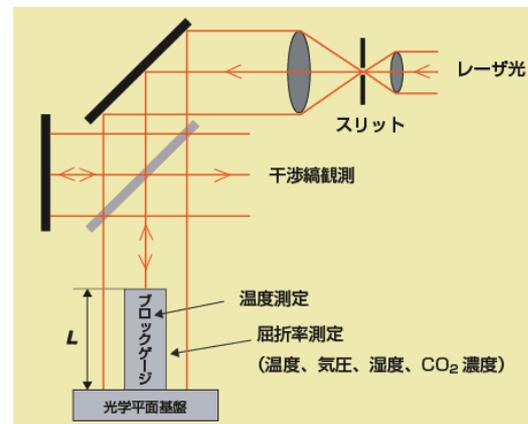


図12-23 ブロックゲージ校正用光波干渉計の原理図

事業		代表的な業種例
切削加工	通常の切削	自動車部品、電気部品、建機、航空機、原動機、産業機械、工作機械、ゴミ焼却炉、原子力発電所、ロボット
	超精密加工	光ディスク、光通信、デジカメ、FPD、高精度プリンター
	歯切り	産業機械、自動車、造船、時計、搬送設備、エレベータ・機械式立体駐車場
研削、研磨	(+切削)	精密機械産業(半導体、液晶)、金型、エンジン、宇宙機器、製紙・印刷機械、食品加工機械
塑性加工	圧延	自動車、造船、貯蔵容器 (アルミ平板): 飲料缶、熱交換器、
	線、形鋼	(線): 吊橋、クレン、建築物鉄筋、ダム (型鋼): 構造物、橋梁、鉄道線路、クレン、遊園地遊具 (銅線): 電線
	プレス	交通機器、電機、航空機、宇宙ロケット、化学工業
	絞り	モータカバー、ブラケット、携帯電話、自動車・電気機器部品
溶接、接合		板金、造船、交通機器、航空機、圧力容器・貯蔵タンク製造、化学プラント、鉄骨・橋梁、パイプライン
メッキ		車両・機械部品、建材、電気部品接点、電子部品、航空機コネクタ、医療用機器、射出成型用型、形状記憶合金
塗装		自動車、造船、鉄鋼構造物、タンク、操作盤、電気品、各種産業機械

業界団体

工業会など	設立年	会員企業数	趣 旨
日本鍛圧工業会	1948	正62、賛助30	業界の発展、鍛圧機械関連の工業材料等の技術革新の先取
日本金属プレス工業協会	1964	正12、賛助25、地域別団体14	経営基盤の強化、技術力の向上、プレス製品の高付加価値化、安全作業の確立、国際化、グローバル化、技術者養成
日本金型工業会	1957	正514、賛助255	金型に関する生産、流通、技術の調査・研究、規格立案など
日本金型部品工業会	1983	正12	金型部品の標準化、会員メーカーの製品紹介、調査・研究など
日本精密測定機器工業会	1954	正38、賛助16	実態調査、市場調査、広報活動、技術・品質の向上
日本塑性加工学会	1961	正4250名、賛助387	塑性加工に関する研究発表、学術上の進歩・向上に寄与
日本溶接協会	1949	特～3級計138	溶接に関する技術の向上および普及
日本工具工業会	1948	正32、賛助2	切削および塑性加工工具産業の振興

## 課題

省エネ	粗鋼を溶解するために使った熱で、最後の冷間圧延まで最少のエネルギーで加工することが重要。鉄鋼一貫とかストリップキャスターなどはこの視点で開発されている。
環境	工作機械ではオイルレス、ミストコレクターなどで切削油の油煙排出を防止する方向。まためっき工場、はんだ工場では6価クロム使用停止などRoHS対応が進んでいる。
省スペース	加工工場の省スペースは生産性に直結する。最近脚光を浴びている複合加工機では、1台の工作機械で多種類の加工が可能となり、また仕掛品の削減はコスト、製作期間の削減と仕掛品置き場の省スペースに有効である。自動車(部品)工場では機械の配置距離を詰めて、加工部品の移動時間の節減によりサイクルタイムの短縮を図る。
微細加工	ICチップの高集積度化、細胞レベルの医療機器などの分野で極微細な加工の要求が高まっている。ナノメートルレベルの機械加工、めっきなどの技術が実用化されてきた。
フレキシブルマニュファクチュアリング(FMS)	市場の求める多品種の商品を少量でもスピーディに提供できるよう整備された生産システムのこと。。多品種少数生産の需要が高まる中、本社にあるホストコンピュータが工場内の生産工程を制御する従来の集中管理型FMSに代わって、各工場内のPCやワークステーションが生産を管理する分散型FMSが形態の主流となってきている
金型産業	日本の金型製造技術は最後の仕上げ工程における熟練工のノウハウとその内部蓄積で世界トップの位置にある。しかし、熟練工の高齢化が進み、このノウハウを活かしながら、CAD/CAMの技術をいかに取り込んでいくかがこれからの課題。
第8世代液晶パネル	テレビなどの液晶ディスプレイの大型化が進む中で、次世代のもとして第8世代が話題になっている。約2.2m×2.5mと大型となると、ガラス基盤、型枠の製作、めっき槽、搬送装置など各種の制約が顕在化してくる。韓国のサムスンがまず商品化を発表している。

<p><b>切削工具</b></p>	<p>工作機械の種類によってバイト、ドリル、フライス等の工具がある。チップ材料には硬さ、耐摩耗性、耐熱性などが重視され、高速度鋼(W-Cr)、超硬合金(W-C)、サーメット(TiC)、セラミックス、CBN(立方晶窒化ホウ素)焼結体、ダイヤモンドが使われる</p>
<p><b>放電加工</b></p>	<p>絶縁性の液体の中に電極(工具)と被加工物を入れ、この間に約100vの電圧をかけて両者の隙間にスパーク放電させる。スパークが発生した微小領域では被加工物の材料が溶融したり、蒸発したりして、電極と同じ形に加工される</p>
<p><b>フェムト秒レーザー</b></p>	<p>超短パルスのレーザーで、熱的影響をできるだけ避けながら微細な加工が行える。半導体産業が注目している。「フェムト秒」は<math>1/10^{15}</math>秒の単位</p>
<p><b>TIG溶接 (Tungsten Inert Gas)</b></p>	<p>TIG溶接は、非消耗のタングステン電極を用いた溶接法。溶接部を不活性ガス(アルゴンやヘリウムなど)で空气中酸素から保護して、材料が酸化されないため、ステンレス鋼やアルミニウム合金の溶接ができるのが最大の特徴</p>
<p><b>摩擦攪拌接合 (FSW)</b></p>	<p>回転する円筒状の工具を強い圧力で板金に押し当てて、その摩擦熱と攪拌力で接合する。現在の主な溶接が母材や溶接棒を溶融しながら接合する液相接合であるのに対し、FSWは母材を溶融せずに塑性流動を利用した固相接合である。異種金属接合が可能</p>

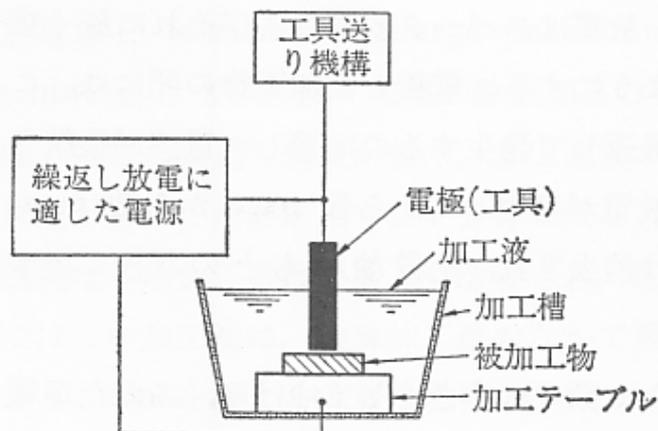


図12-23a 放電加工の仕組み

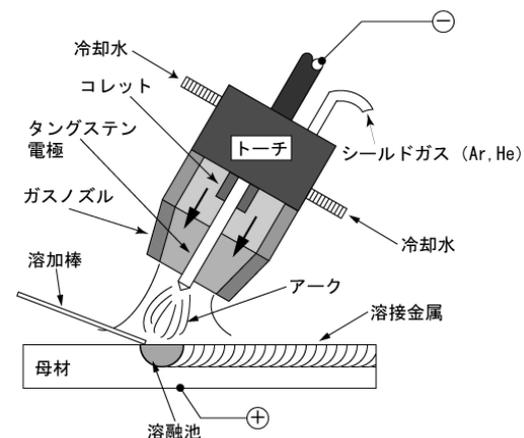
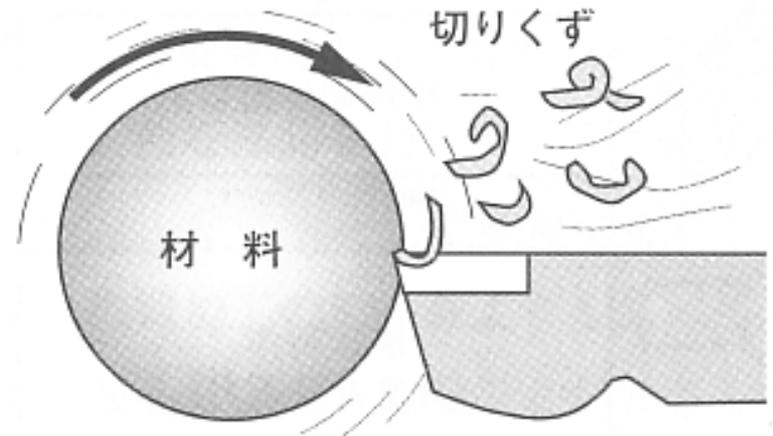
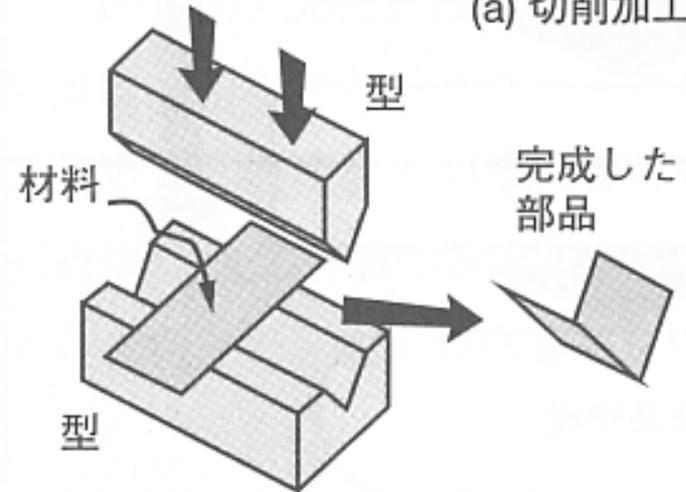


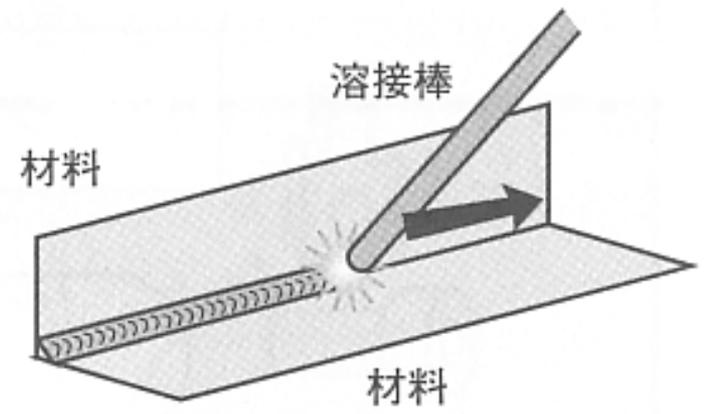
図12-23b TIG溶接



(a) 切削加工（旋盤加工）



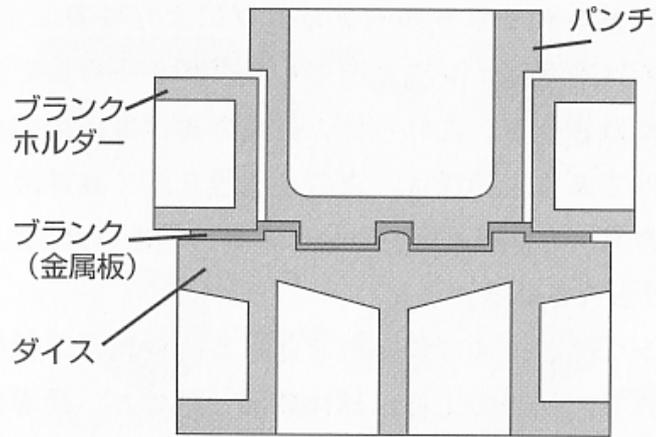
(b) 塑性加工（プレス加工）



(c) 付加加工（溶接加工）

参考図12-1 機械加工法の種類

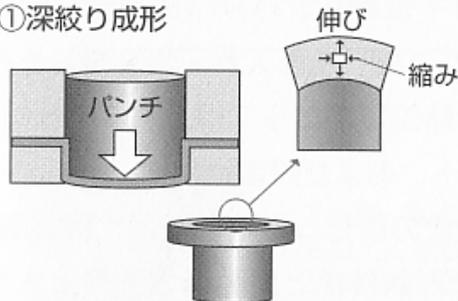
## プレス成形の実際



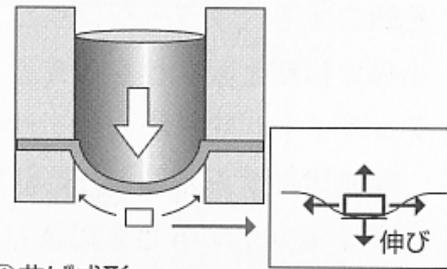
各部分で下  
に示した  
さまざま  
種類の  
変形が  
起  
こ  
っ  
て  
い  
る

## 4つの変形の形

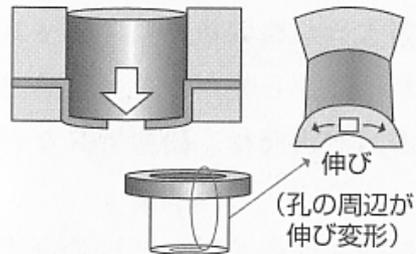
### ①深絞り成形



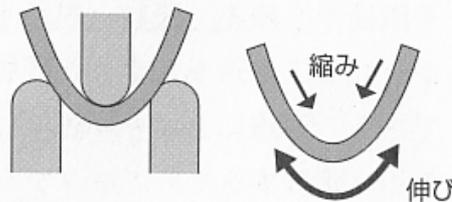
### ②張り出し成形



### ③伸びフランジ成形



### ④曲げ成形



参考図12-2 金属板のプレス成形

## 参考資料

1. 金属のおはなし 大澤直 日本規格協会 2006.1.25
2. 特殊加工 佐藤敏一 養賢堂 1997.1.20
3. 金属の話ー科学の話シリーズ2 井口洋夫 培風館 1995.12.20
4. 機械加工 基礎のきそ 平田宏一 日刊工業新聞社 2006.1.25
5. 日本機械学会会誌 各号
6. 日刊工業新聞記事
7. 各社HP

