

## 加工しやすい設計 ,加工しにくい設計を理解する！

海上技術安全研究所 平田宏一

最近のモノづくりの現場は分業化が進んでいる。設計者は設計だけを行い、加工者は加工に専念する。場合によっては、設計者と製図者（CAD オペレーター）とが分業されていることもある。一方、筆者は自分自身が使う実験装置を、設計から加工まで自らの手で行うことが多い。本稿は、その経験から得た知見をまとめたものであり、入社1～2年程度の新人設計者を対象に「加工を考えた設計」について解説している。

上級設計者や熟練加工者から見ると、本稿のレベルや内容に違和感を持たれるかも知れないが、その際にご指摘いただければ幸いである。

### 1. 加工しやすい設計 , 加工しにくい設計

設計工学の教科書に記されている強度計算をして JIS 規格に準じた図面を描けば、機械図面が完成する。しかし、そんな機械的な作業では成立しないのが機械設計である。モノづくりの過程において、機械設計は発想を具現化するために、さまざまなことを考える重要な作業である。設計者は、力学を中心とした基礎知識はもちろん、機械を能率よく開発するための要素技術や機械製図法、機械加工についての幅広い知識も必要となる。

#### (1) 設計と加工の関係

機械設計では、常にバランスを考えなければならない。例えば、機械の機能と寸法のバランスを考えてみると、機能を増やそうとすると機械は大型化し、場合によっては製作コストが高くなる。機能を必要最小限に絞れば 機械の小型・軽量化が図られ、しかも安価な製品ができるかもしれない(図1)。もちろん、常に高性能化・高機能化を目指せばよいというわけではない。設計者は、要求されている機能



例えば、多機能の電話機は便利かもしれないが、機器が大きく、高価である。必要最小限の機能を持つ電話機は、小さくて安価である。どちらが使い勝手がよいかを決めるのは、ユーザーである。

図1 設計のバランス

を把握し、機能や価格のバランスを考えて設計しなければならない。これが機械設計の難しさでもあり、楽しさでもある。

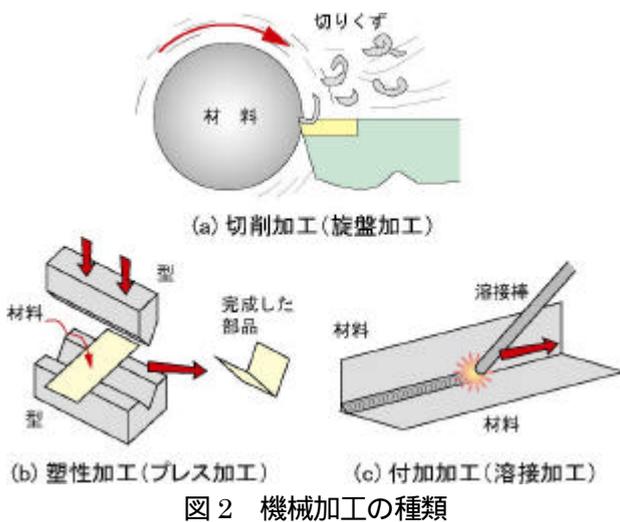
設計と加工のバランスを考えた場合、設計者が加工を考えずに機械の高機能化ばかりを求めても、製品開発はうまくいかない。逆に、加工を考え過ぎると機能が疎かになったり、デザイン性に劣る製品になったりする。このように、設計と加工のバランスは実際の製品開発に必要不可欠であり、したがって、機械部品の形状や寸法を決める設計者が機械加工の知識を持つことが重要である。

しかし最近では、以前ほど新人教育に時間を割けな  
いたためか、常識的に考えてムダと思われるような図  
面を描いてくる新人設計者がいると耳にする。基準  
面がどこなのかわからない、不必要に厳しい寸法公  
差が要求されているようなことが多々あるという。  
そこで、以下に各種の機械加工の基礎を説明すると  
ともに、加工しやすい設計について考えてみたい。

## (2) 機械加工の種類

機械加工を大きく分類すると、切削加工、塑性加  
工、付加加工に分類される(図2)。切削加工は、刃  
物を使って材料を削る加工である。プレス加工に代  
表される塑性加工は、材料の塑性(一度変形させると  
元の形に戻らない特性)を利用した加工である。付  
加加工は材料同士を接合する際、別の材料を付加  
する加工で、代表的な加工として溶接加工がある。  
実際には、これらの加工を組み合わせることで部品を完  
成させていくことになる。

また、開発される機械製品によって、機械加工法  
は異なる。量産製品において、切り屑を発生する切  
削加工は経済的ではないためプレス加工や鋳造加工  
が多く用いられる。一方、多種・少量の製品では、  
工作機械の設備の関係から、切削加工が主流となる。



### 旋盤加工

旋盤加工は、円柱形状(いわゆる丸もの)の部  
品を製作するときの最も代表的な加工法である。図



図3 汎用旋盤

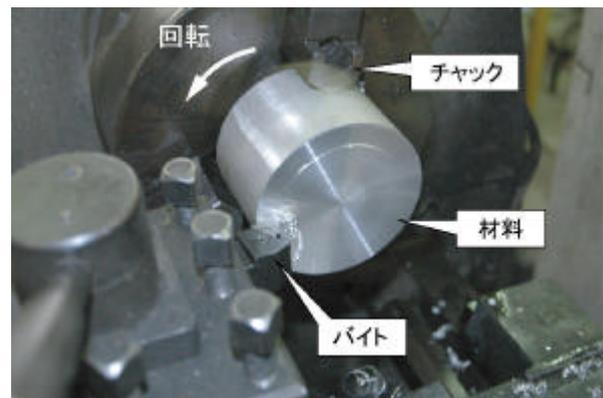


図4 旋盤加工の実際

4に示すように、旋盤のチャックに固定した材料を  
回転させ、バイトを前後方向あるいは左右方向に動  
かしながら、バイトの先端を材料に当てて削ってい  
く。手動で操作する汎用旋盤(図3)では、2軸のど  
ちらか一方だけを動かして削っていくのが基本であ  
る。汎用旋盤は、コンピュータ制御の旋盤(NC制御)  
に比べて、量産部品の製作時には加工時間の面で不  
利だが、単品部品の製作ではあらゆる面で圧倒的に  
有利である。そのため、今でも多くの現場でNC旋  
盤とともに活用されている。

バイトにはさまざまな種類・形状があり、加工す  
る形状によって使い分ける。図5に代表的な3種類  
のバイトを示す。図5(a)は旋盤加工で最もよく使  
われる右片刃バイトであり、円柱材料の外表面と端  
面を削ることができる。普通の旋盤は材料の左側を  
チャックに固定するので、右片刃バイトでは固定し  
た材料の右側の端面しか加工できない。図5(b)の突  
切りバイトは材料を切り落としたり、円周方向の溝  
を削るのに使われる。そして、図5(c)の中ぐりバ  
イトは円筒形状の内面を削るのに使用される。例え  
ば、ドリルでは加工できないような大きい穴、ある  
いは高

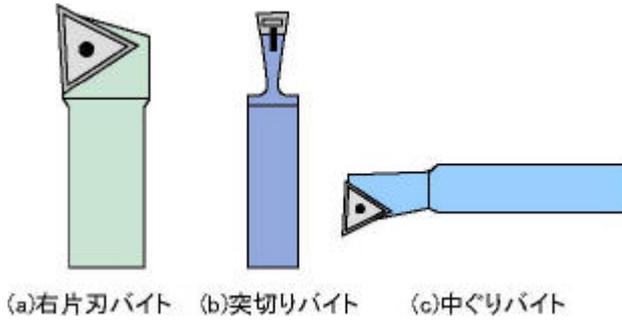


図5 旋盤加工に用いるバイト

い寸法精度や表面粗さが要求される穴の加工などである。

図6に、旋盤加工においてつくりやすい形状、つくりにくい形状をまとめた。

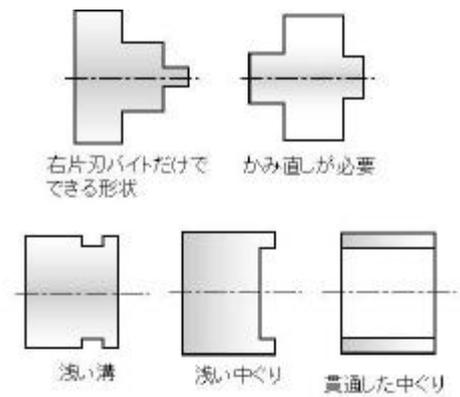
右片刃バイトだけで加工できる形状は最も加工しやすい形状と言える。突切りバイトを使用する場合、溝の幅が細く、溝が深くなるほど加工しにくくなる。また、中ぐりバイトを用いる場合、貫通した穴を加工するのはそれほど難しくない。しかし、底面がある中ぐり加工は、加工中に内部を見ることができず、また底面の位置を目盛や音で判断しなければならないため、やや難しくなる。さらに、内面の直径が小さい場合や穴が深い場合の中ぐり加工は著しく難しくなる。もちろん、図6(c)に示すような物理的に加工できない形状もある。そのような場合は、部品を分割するなどの工夫が必要である。

Column

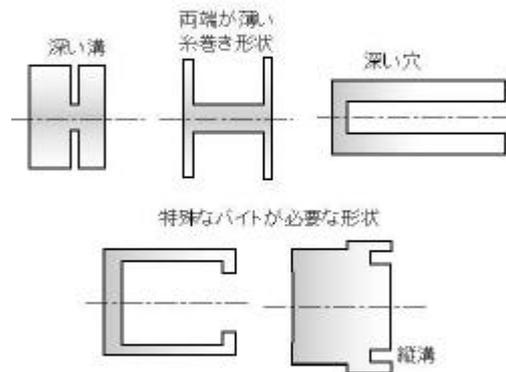
**旋盤加工者泣かせの薄肉加工と長もの加工**

旋盤加工が難しい形状として、薄肉や長ものがある(図7)。肉厚が数mmの薄肉加工、特に中ぐり加工では、材料にバイトを当てると材料やバイトが振動して「キーン」というかん高い音が発生することがある。そのような場合、加工面はギザギザの凹凸面になってしまうが、その対処は加工者の「技」に頼るしかない。

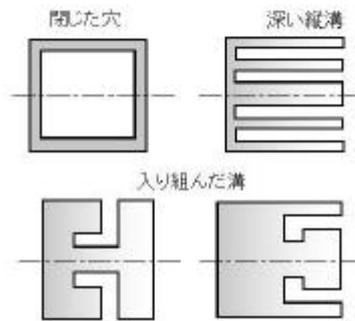
また、細長い形状の部品(長物)の旋盤加工もかなり難しい。材料の剛性が不足し、まっすぐに削れないためである。よほどうまく削らないとテーパ形状になってしまう。加工者の技能(切れるバイトの選定と切削条件の選定)が加工できるか否かのポイントになるが、いずれにしても、加工者泣かせの部



(a) 加工しやすい形状



(b) 加工にくい形状



(c) 加工できない形状

図6 旋盤加工における作りやすい形状と作りにくい形状



図7 薄肉加工(薄くなるほど加工は難しくなる。)

品である。

設計者は、加工の難しさを理解したうえで部品の形状を決めなければならない。部品の機能を損なわずに、加工しやすい部品形状を考えるのも設計者の重要な仕事であることを認識いただきたい。

### フライス加工

フライス盤(図 8)はバイス(万力)に固定した材料に、ドリルやエンドミルなどの回転している工具を当てて切削加工をする汎用工作機械である。固定した材料は、横方向(X軸)、前後方向(Y軸)および高さ方向(Z軸)の3つのハンドルを操作することで、正確に移動させることができる。

図 9 に示すエンドミルは、フライス加工に欠かせない工具である。エンドミルは、同図の下面と側面が「刃」になっている。回転しているエンドミルを材料に当てて、左右方向または前後方向に材料を動かすことにより、平面をつくるのが基本的な使い方である。

フライス加工は、旋盤加工と比べて加工量が少なく、加工時間が長くなるため、どちらの加工も利用



図 8 汎用フライス盤

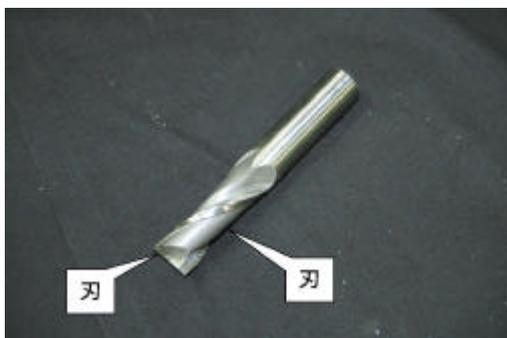
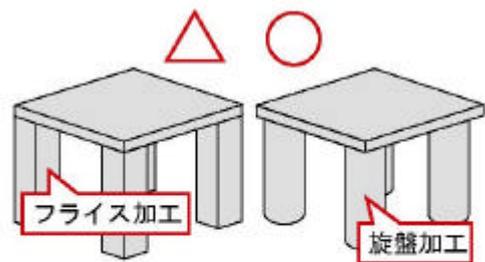


図 9 エンドミル

できる場合は旋盤加工が可能な設計を心がけるとよい(図 10)。また設計時には、材料をフライス盤に固定する方法を考えておかなければならない。単品加工ではバイスが使われることが多いので、その固定方法に気を付けておきたい(図 11)。

なお、固定が難しい部品を加工する際には、専用のクランプや固定のための治具が用いられることになるが、材料を固定するための手間と時間がかかることを考慮しておきたい。



例えば、台の脚を設計する場合、フライス加工で作る四角い脚より、旋盤加工で作る丸い脚の方が作りやすい。

図 10 フライス加工と旋盤加工

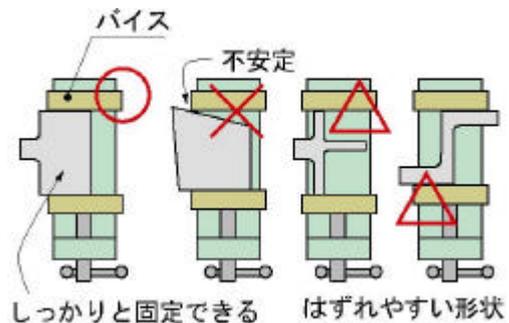


図 11 バイスに固定しやすい形状

### 穴あけ加工

穴あけ加工の代表としてドリル加工がある。設計者は「ドリル加工なんて簡単」と思いがちだが、実際はそうでもない。図 12 に示すように、細いドリルは折れやすく、扱いにくい。深い穴をあける場合、まっすぐに穴をあけるのは難しいうえ、ドルの溝部分に入った切り屑の排除などかなりの手間を要する。また、高い寸法精度の穴径は期待できない。図面上でドリル加工を表す「キリ」で、寸法精度を指定しないのは設計の常識である。

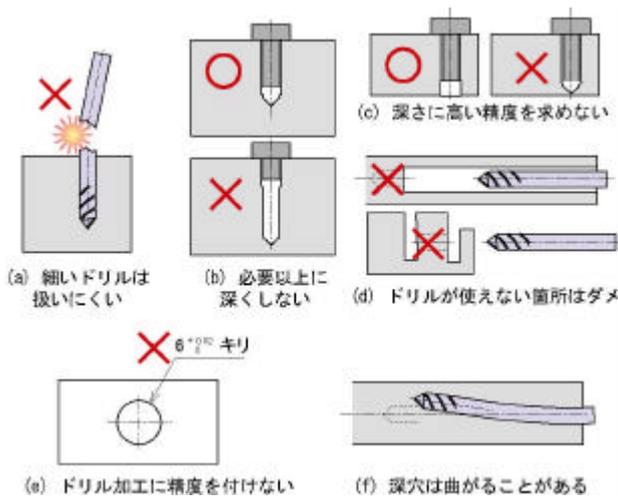


図 12 ドリル加工の注意点

高精度な穴あけ加工の方法として、リーマ加工や旋盤による中ぐり加工などがある。あるいは、かなり特殊な加工だが、マシニングセンタを利用してエンドミルを円周状に移動させながら削っていく方法もある。ただし、これらの穴あけ加工は手間と時間がかかる。ゆえに、設計者はできる限りドリル加工で済むような設計を心がけたい。

### 溶接加工の方法とそれぞれの特徴

溶接加工とは、材料を熱で溶かしながら部材同士をつなげていく加工である。溶接にはさまざまな方法があるが、最も代表的なものは炭素鋼のアーカ溶接がある。また、薄板の溶接がしやすいガス溶接、ステンレス鋼やアルミニウム合金の溶接ができるTIG溶接などがある。

溶接加工は、切削加工よりも材料の無駄が少なく、しかも加工時間の短縮ができるため、うまく使いこなせば低コストで部品を製作できる。また、溶接加工をうまく利用することにより機械構造の小型化を図ることができる(図13)。ただし、溶接加工では部材が熱変形するため、高い寸法精度を必要とする部品にはあまり適さない。高い寸法精度が要求される部品の製作では、溶接加工をした後に切削加工をするなどの工夫が必要となる。

一般に、溶接加工は単純形状で、かつ溶接個所が外から見やすい部品は簡単である。逆に、溶接個所が入り組んだ場所にあるため溶接棒やトーチが届かなくなったり、加工中に溶接部が見えづらい部品で

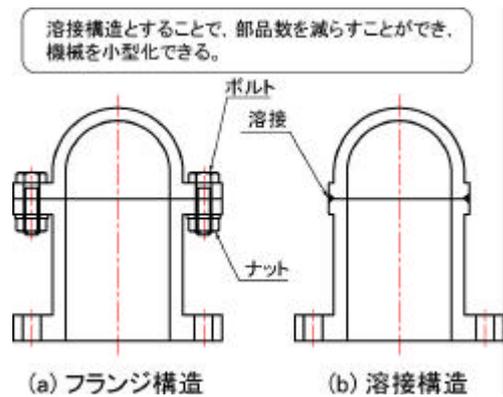


図 13 加工で使用したジグと部品の例

は、著しく難しくなる。また、熱容量の違う部材、例えば大きさが異なる部品同士や厚さが異なる板などをうまく溶接するのは難しい。溶接加工も部品の仕上がりは加工者の技量によるところが大きく、優れた加工者なら部材の温度分布を考えながら部材に与える熱量をうまく調整し、短時間で溶接を進めるだろうが、このような基礎事項はぜひ把握しておきたい。

### (3) 汎用工作機械と NC 工作機械

現在、多くの加工現場では当たり前のように多くの NC 工作機械が導入されている。NC (Numerical Control) とはコンピュータ制御のことであり、NC 旋盤やマシニングセンタが代表である(図14)。一方、手動で刃物やテーブルを動かす工作機械を汎用工作機械と言う。

NC 工作機械は、刃物やテーブルの位置をコンピュータ制御で正確に動かすことができ、量産部品の加工をはじめとして、最近の機械加工の主流になっている。ATC を備えることにより、工具交換などを含めた一連の加工時間が短くでき、さらに NC プログラムにより多軸を同時に駆動できるので、テーパ形状や円弧などの曲面加工が比較的容易である。

汎用工作機械は、その名の通り汎用性が高く、多種・少量の部品製作によく使われる。汎用工作機械で加工される部品は、加工者の技量によって完成度が大きく変わってくる。設計者の意図を腕のよい加工者に伝えることができれば、完成度の高い部品を製作できる。

「NC 工作機械を使えば、加工精度を高めるのは



(a) NC 旋盤



(b) マシニングセンタ

図 14 NC 旋盤とマシニングセンタ

簡単」という声を耳にすることがあるが、実際には NC 工作機械も工具位置の調整や切削条件の選定など、加工者やプログラマーの技量によるところが大きい。設計者は、NC 工作機械を過信した設計をしないことが重要である。

#### (4) 加工手順のイメージ

加工しやすい、すなわち加工コストの低減などを考慮した設計をするためには、工作機械や加工方法を理解すると同時に、加工手順をイメージすることが大切である。例えば、切削加工で製作する部品を設計する場合、旋盤で加工するのか、フライス盤で加工するのか、あるいは両方の工作機械を使う場合はどちらを先に使うのか、さらに汎用工作機械を使うのか、NC 工作機械を使うのかなどを想定し、それぞれに適した形状・寸法を決めていく。また、旋盤加工を行うにしても、どの面を先に削るのか、どの面を基準にして寸法・形状を測るのか、どのタイミングで材料をかみ直すのかなどをイメージできる

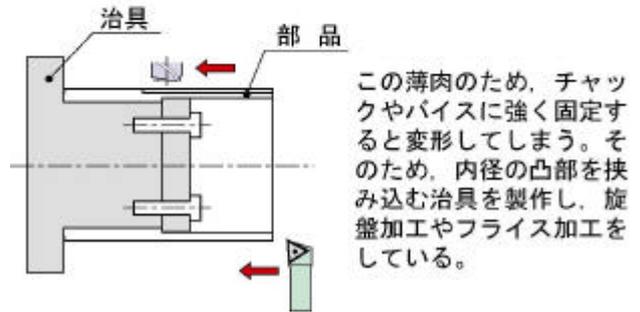
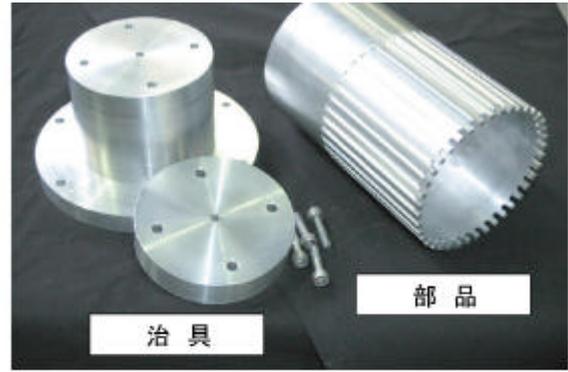


図 15 加工で使ったジグと部品の例

ようになると、寸法公差や幾何公差を決めやすくなる。

旋盤加工やフライス加工で気を付けたいのは、材料をチャックやバイスなどに固定する際の、材料の変形や傷である。固定時に材料が変形すると高精度な部品をつくれな。部品の傷は機械の機能に不具合を生じさせる原因となり得る。そのため、固定が難しい部品には図 15 に示すような治具が用いられ、優れた設計者ほど使いやすい治具をうまく設計する。すなわち、優れた設計者ほど加工の手順や手間をイメージできているのである。

## 2. 加工精度と設計

実際に部品をつくる場合、図面に記載された基準寸法とまったく同じ寸法で仕上げることはできない。そのため、設計者は各部品や組み立てられる機械の機能を考えて、寸法公差やはめあい、表面粗さなどの加工精度を指示する。加工精度の難易度は、使用する工作機械の剛性や加工者の技量によって大きく異なるが、許容される加工精度が低いほど加工が容易となるのは言うまでもない。

## (1) 寸法公差やはめあいの指定が多い図面と問題点

寸法公差やはめあいについて考える前に、まず普通公差について考えておこう。

JIS B0405 で規格化されている普通公差は、図面に記載された基準寸法をベースにして、その前後に許容される加工誤差が決められている(表1)。この許容差は、一般的な工作機械の精度や標準的な技量を持つ加工者に概ね適した値であると言える。すなわち、普通公差を多用した設計は、加工者から見て、とても「ラク」な設計であり、設計者は積極的に普通公差を使う方が望ましい。なお、普通公差を使う際に気を付けておきたいのは、JIS 規格と社内規格(設計現場と加工現場)が異なることがある点である。組み立てられる機械に不具合が生じないように、よく確認しておきたい。

寸法公差・はめあいについて、「設計者は必要以上に高い精度を指定してはいけない」のは間違いない。では、寸法公差やはめあいの指定を多くすると、どのような問題があるのだろうか? 筆者は、加工者に与えるストレスが最も重大な問題であると考えている。普通公差のみで指示された部品を製作する場合、加工者はかなり気楽である。旋盤加工などでは、材料をチャックしてから一度も旋盤を止めることなく、部品をつくり上げてしまうこともある。これに対し、厳しい寸法公差やはめあいが指示された部品を仕上げる場合、加工者は「あと1回の加工で、部品がお釈迦になるのでは(ダメになるのでは)!?」といった不安やストレスを抱いている。寸法公差やはめあいの指定が多い設計は、加工者に優しくない設計である。

表1 普通許容差

公差等級		基準寸法の区分 (単位: mm)			
記号	説明	3を超え 6以下	6を超え 30以下	30を超え 120以下	120を超え 400以下
		許容差			
f	精級	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2
m	中級	±0.1	±0.2	±0.3	±0.5
c	粗級	±0.3	±0.5	±0.8	±1.2
v	極粗級	±0.5	±1	±1.5	±2.5

JIS B 0405より抜粋

さらに、寸法計測に手間と時間がかかるという問題がある。一般に、部品の寸法測定にはノギスやマイクロメータが用いられる。厳しい寸法公差やはめあいが指定された部品では、何度も工作機械を止めて、寸法を測定する必要がある。公差が厳しくなるほど、手間と時間がかかるだけでなく、不良品をつくってしまう可能性も高くなる。軸と穴のはめあいを考えた場合、軸の精密加工や寸法測定は比較的簡単であるのに対し、穴の高精度な加工や寸法計測は難しい。すなわち、はめあいは穴基準を原則とし、穴には高い精度を求めないのが望ましい。例えば図16に示すように、穴の深い位置に厳しい寸法精度を指示した場合、ノギスやマイクロメータを中まで入れることができないため、寸法測定ができない。そのような場合、高精度につくられたゲージが必要となり手間と時間がかかる。

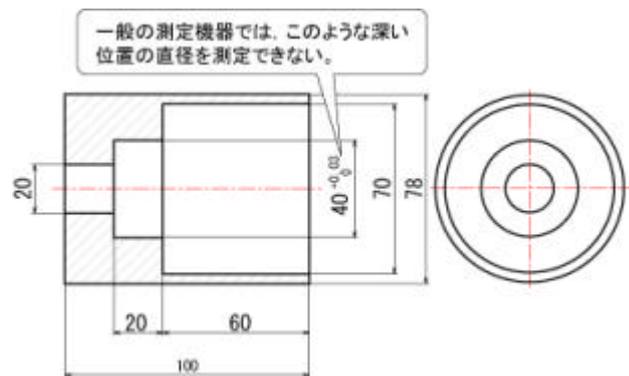


図16 加工者に嫌われる寸法精度の指定

## (2) 表面粗さと加工方法の関係

まずは、表面粗さについての一般論から触れる。表面粗さは、軸受やシール機構の接触面など、機械の機能を考えたうえで決定される。現在のJISで規格化され、一般に使われている方式には、算術平均粗さ Ra、最大高さ Ry および十点平均粗さ Rz がある。中でも、平均線(中心線)からの凹凸の高さの平均値で定義される算術平均粗さ Ra が推奨されている(図17)。

実は、表面粗さの規格を調べて困ったことがあった。教科書や設計便覧によって、使われている用語や記号が違うのである。数年前まで、算術平均粗さは中心線平均粗さと呼ばれていたし、最大高さの記

号は  $R_{max}$  が使われていた。図示記号、いわゆる三角記号の表記方法も変わっている。これらの変更は国際規格 (ISO) の影響を受けたものである。このような困惑は、筆者に限ったことではないだろう。実際の設計現場や加工現場が最新の JIS 規格に乗っ取って設計・加工を進めているとは限らない。むしろ、現時点では、従来までの方式を取り入れている現場の方が多いはずである。このように現在、表面粗さの規格は過渡期にある。新人設計者は学校で習った規格や表記を押し付けるのではなく、加工現場とのコミュニケーションを図り、意図が伝わる注記を図面上に行うように心がけなければならない。

ただし、実際のところ、表面粗さの的確な数値の指定は難しい。明確な根拠がなく、過去の実例を参考に表面粗さを指定する設計者も少なくないのではないだろうか。筆者は自身で加工する際の図面には、十数年前に規格化されていた三角を並べた記号を使用する。は指示のない面より少しだけきれいに仕上げる面、は美しく見せたい面、は機能上、可能な限りきれいに仕上げる必要がある面である。これは筆者に限らず、今も多くの現場で用いている。

表 2 に、表面粗さの指定値と機械加工の大きな関係をまとめてみた。少し感覚的ではあるが、6.3a

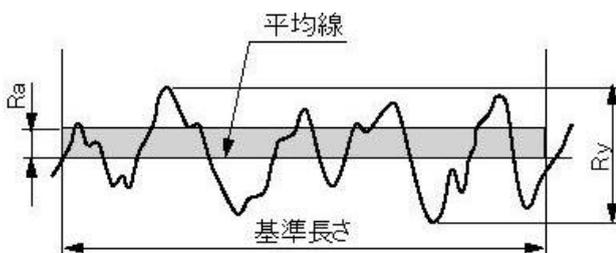


図 17 算術平均粗さ  $R_a$  と最大高さ  $R_y$

表 2 表面粗さと加工の関係

算術平均粗さ $R_a$	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
6.3a	きれいに見せたい面	
12.5a	↑	荒削り
25a	大まかな外形	

~ 12.5a 程度が一般の切削加工 (旋盤, フライス盤) で十分に加工可能な表面粗さで, 3.2a ~ 6.3a 程度が剛性の高い工作機械で加工可能な範囲である。1.6a 以下の仕上げは切削加工では難しくなり, 研削加工やラッピング加工などが必要となってくる。逆に, 25a 以上の表面粗さは, 加工者から見て, とてまろくな指定という印象よりむしろ「なるべく手を抜かない」という感じを受ける。すなわち, 表面粗さの指示値により仕上げ加工のための工作機械が異なってくる。設計者は指示値の違いで加工工程が大きく異なることを覚えておきたい。

### (3) 加工をわかってこそその幾何公差

幾何公差は、部品の形状に幾何学的な正確さが要求される場合に指示される。これをうまく活用することで、寸法公差だけでは表現できない「部品の完成度」を図面に表すことができる。幾何公差の指定は、組み立てられる機械の機能に直接関係する重要な設計テクニックである。

図 18 に幾何公差の代表例を挙げる。同図に示す

名称	指示例	意味
平面度		
円筒度		
平行度		
直角度		
同心度		

図 18 主な幾何公差<sup>(1)</sup>

平面度と円筒度は、部品の1面の形状を制限するものであり、その指定は比較的容易である。これに対し、平行度、直角度および同心度はデータム（理論的に正確な基準）を用いた指定であり、特にデータムの取り方は奥深い。これは加工時などでは基準面となるため、設計者から加工者への加工手順の直接的な指示に当たるとも言える。確実な考察と確信のもとで決定すべき内容であるため、加工への理解は必須である。

### 3. 加工しやすい図面とは

最後に、加工しやすい図面とはどのようなものなのかを考えてみたい。機械図面は、設計者の考えを加工者に伝える重要な手段である。そのため、図面の表記が間違えていないことや情報の過不足がないことはもちろん、加工者が間違えにくく、かつ見やすいことが重要である。

#### (1) 加工しやすい寸法線の入れ方

加工者は、製作する部品の外形と寸法をもとに加工を進めていく。はじめに、加工しやすい寸法線について考えてみたい。

まず重要なことは、基準面が明確にわかるように寸法を記入することである。それによって、加工手順や加工時の座標の取り方が変わってくる。また、使用する工作機械に合わせて座標の取り方にも工夫をしたい。

例えば、図 19 は汎用フライス盤を使ってドリル加工をする際の寸法記入例である。これは筆者独特の図面であり、一般的な図面でないことを断っておく。同図では板材の左上を原点とし、そこからの寸法を記入している。さらに、使用するドリルによって、寸法線を記入する位置を変えている。これらは座標の間違いを防ぐための工夫である。また、旋盤加工において、材料をチャックし直して加工する場合（材料をトンボする場合）、各工程の寸法線を左右に振り分けるなどの工夫をしている（図 20）。寸法の見間違えを防ぐためである。同様に、旋盤加工と

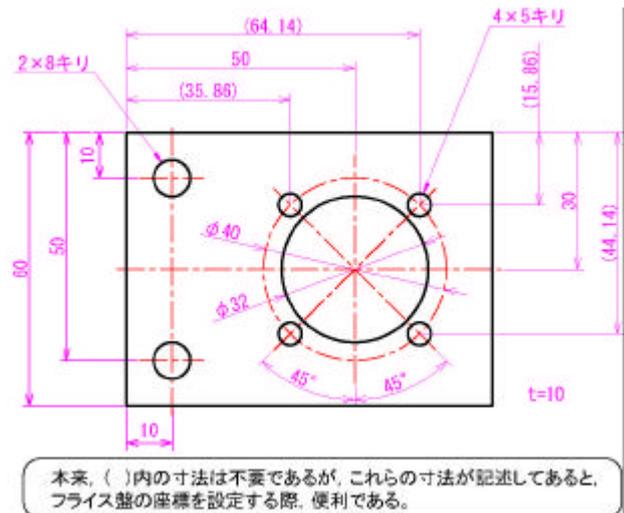
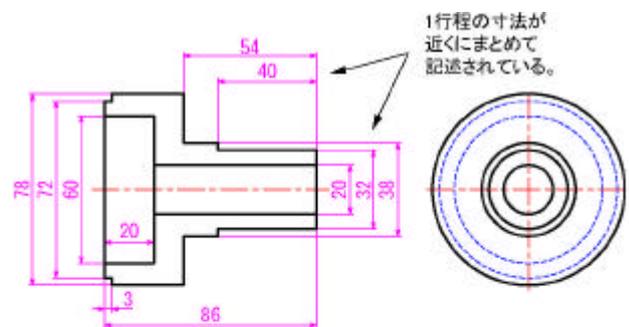
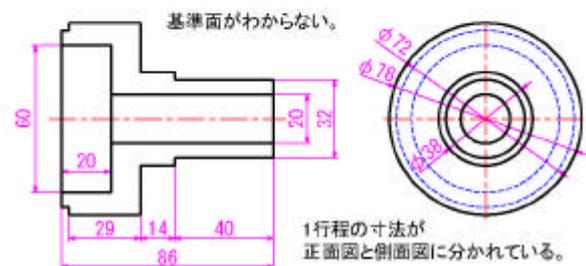


図 19 ドリル加工における寸法記入例



(a) 加工のしやすさを考えた図面



(b) 加工しにくい図面の例

図 20 旋盤加工における寸法記入例

フライス加工を組み合わせる部品では、1つの投影図（正面図、平面図、側面図）に各工程の寸法を入れるようにしている。ひとえに、図面を見やすくするためである。

#### (2) 必要最小限の加工を考えた図面を

加工しやすい図面とは、必要以上の機能を要求し

ない部品の図面である。例えば、C面取りやR面取りが異常に多い図面は加工者に嫌われる。

一般に、加工者から見ると、工具選定の関係からR面取りはC面取りよりも厄介な加工である。面取り寸法が大きくなるほど面倒な加工となる。設計者は工具の種類や加工の特性を把握し、図面を描くようにしたい。もちろん、部品同士の干渉や応力集中を防止するなど、部品の機能の点から、必要な面取りは図面の中に明確に指示すべきである。

面取りに限らず、機械や部品の機能を考え、必要な加工を強調し、不要な加工を省略するなど、メリハリのある図面を仕上げていきたいものである。

### (3) 思いやりのある図面を

「CADを使うと誰もが上手な図面を描けるようになる」と言われることがある。確かに、初級設計者であっても、上級設計者と同じように、線の太さや種類を明確に表現できるかもしれない。また、3次元CADは3次元形状を美しく表現してくれる。しかし、現状のCADは加工者にとって「わかりやすい図面」を自動的に作図してくれない。

では、加工者がわかりやすい図面を出力するためには何が必要だろうか？ その近道は、まず思いやりを持つことではないだろうか。

なぜなら、設計者と加工者では図面の見方が違う。設計者は機械全体を見ているため、その部品の重要性や機能を把握している。一方、加工者は与えられた1枚の部品図だけを見て加工を進める。各人が持つ情報量には大きな違いがある。また、モノづくりの指揮系統において、設計は加工よりも上の立場にすることが多い。設計（機能）もしくは加工を優先するかは、設計者に強い選択権がある。ゆえに、加工者の意見を聞き入れず、独りよがりになってしまうことが起きやすい。

図面はモノづくり共通の言語であり、適切な指示がなされていれば誰でも同様に理解できる。ただし、図形や記号だけでは表せないような場合や、加工方法の指示、重要な機能などは注記として文章で記述するなど、加工側に意図が伝わるように努めるべきである。加工側のへの思いやりが、わかりやすい図面となり、ひいては加工しやすい設計につながるこ

とだろう。

#### 参考文献

- 1) 畑村洋太郎：実際の設計研究会，続・実際の設計，日刊工業新聞社，1993.
- 2) 稲城正高，米山猛：実際の設計研究会，設計者に必要な加工の基礎知識，日刊工業新聞社，2004.
- 3) 大西清：基礎製図（第3版），理工学社，2002.
- 4) 日本規格協会：JISハンドブック製図，2005.