

未来を拓くリーダー育成シリーズ

# NCプログラミング基礎

(職業訓練用フリーソフト「CAM13」使用)



# 1章 CAM13のインストール

このテキストでは、NCプログラミングの職業訓練用教材として開発されたフリーウェアCAM13を使用します。CAM13は、NC工作機械の一種であるNCフライス盤やマシニングセンタの加工プログラムを主な対象としています。まず、最初にCAM13のインストールを行い、学習環境を整えましょう。

①あらかじめ、インストールするパソコンが「64bit」なのか、「32bit」なのかを調べておきます。

「スタート」を右クリックし、「システム」を選びます。『デバイスの仕様』の中に『システムの種類』を見ると、32ビットか64ビットかがわかります。

②Googleなどの検索サイトで、「CAM13」と入力して検索をします。



③検索結果の上位に「CAM13の詳細情報: Vector ソフトを探す!」が出てくるので、クリックします。

インストールするパソコンのシステムに合ったビット (64bit か 32bit) をクリックしてください。

④「ダウンロードページへ」を押します。



⑤以下のような画面になります。「このソフトを今すぐダウンロード」を押します。



⑥ダウンロードが完了すると、下のタスクバーに「cam13\_32bit.zip」か「cam13\_64bit.zip」が表示されます。



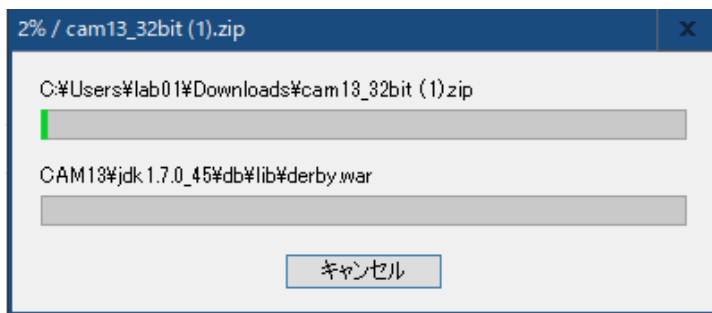
これをクリックしてください。プログラムは、zip形式で圧縮されています。  
もし、「Lhaplus」などの解凍ソフトで開くか聞いてきた場合は、OKを押します。

このファイルを開く方法を選んでください。

このアプリを今後も使う



⑦圧縮された zip ファイルの「解凍」が始まります。



⑧解凍が終わると下の画面が出ます。

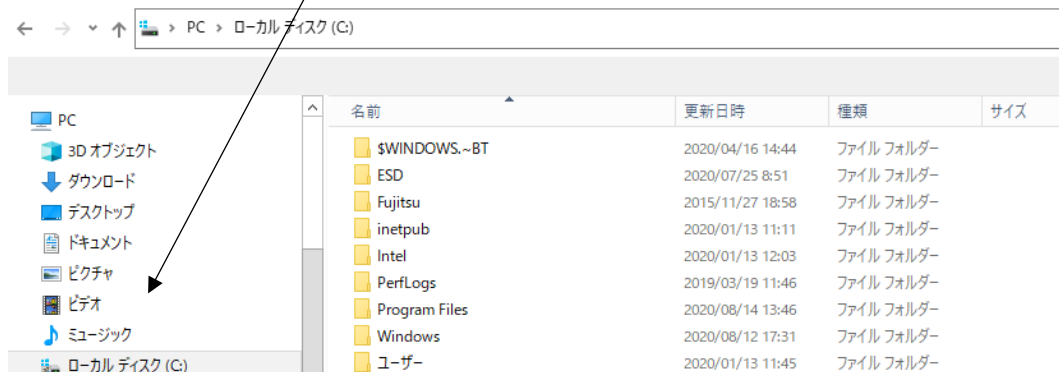


⑨「CAM13」のフォルダを、フォルダごとCドライブに移動する作業を行います。

「CAM13」のフォルダを右クリックして「切り取り」を選びます。

次に、左端の表示から、「ローカルディスク (C:)」をクリックします。

右の画面の白く空いている場所で、右クリックして、「貼り付け」を押します。



「CAM13」のフォルダが移動できます。

⑩「CAM13」のフォルダを開き、「jdk1.7.0\_45」のフォルダを開き、「その他」のフォルダの中の、下の歯車のアイコンを右クリックして、「ショートカットの作成」を選びます。

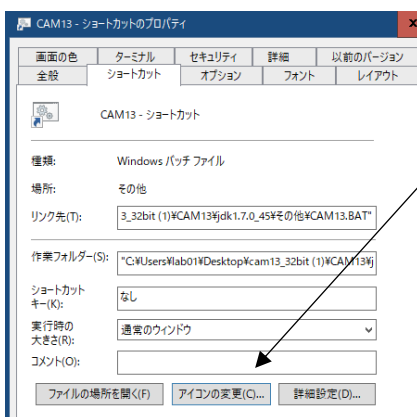


できたショートカットをデスクトップに移動します。

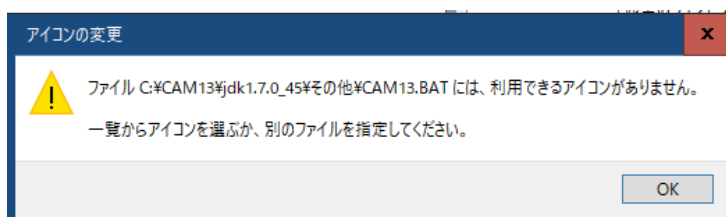


⑪デスクトップの「CAM13-ショートカット」を右クリックして、「プロパティ」を選びます。

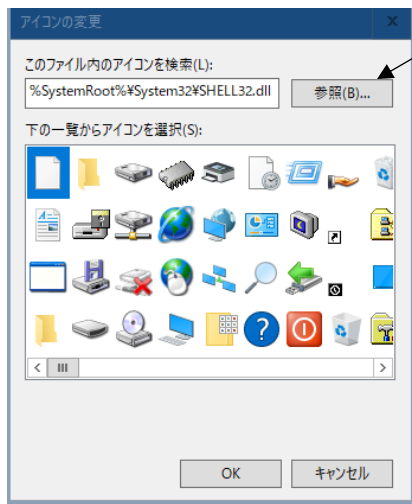
⑫「ショートカット」のタブを選び、下のアイコンの変更を押します。



「・・・利用できるアイコンがありません。一覧からアイコンを選ぶか、別のファイルを指定してください。」の表示が出たら、OKを押します。



⑬アイコンの変更のウィンドウが開くので、参照のボタンを押します。



そして、左の窓から、「ローカルディスク (C : )」を押し、右の画面の「CAM13」を開き、「CAM13」のフォルダを開き、「jdk1.7.0\_45」のフォルダを開き、「その他」のフォルダの中の、CAM13と書いてある赤いアイコンを選び、「開く」を押します。

確認画面があるので、OKを押し、「適用」を押し、OKを押します。

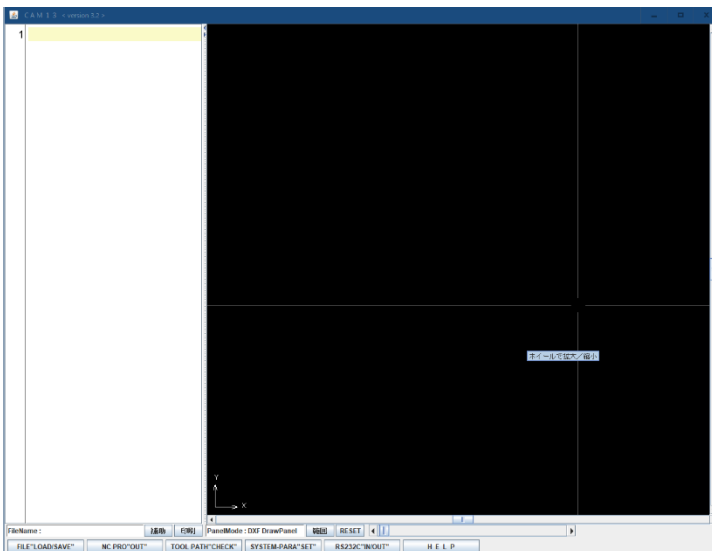
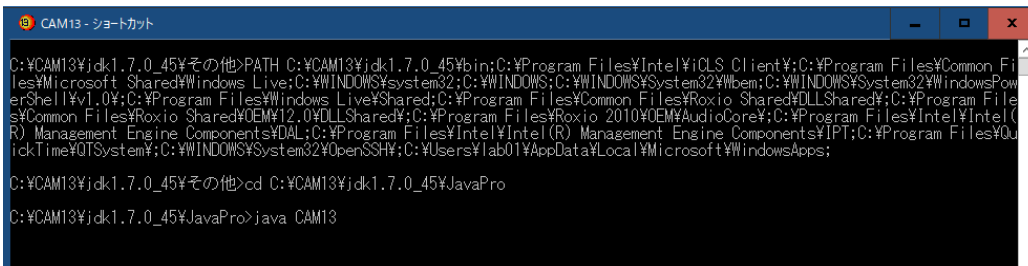


デスクトップにアイコンができました。

CAM13

⑭デスクトップに作成したアイコンをダブルクリックしてソフトを立ち上げてください。

以下のような画面になった後、ソフトが立ち上がります。



## 2章 NC工作機械とは

NC(Numerical Control)工作機械とは、数値によってコントロールされる工作機械のことです。

J I S（日本規格協会）では「数値制御」を次のように定義しています。「工作物に対する工具経路、その他、加工に必要な作業の工程などを、それに対応する数値情報で指令する制御」。つまり、数値で制御をするのは、「工具経路」と「工程」が主になります。

コンピュータを用いないNCが存在した頃は、NCとCNC（Computer NC）を区別していましたが、現在はほとんどがコンピュータ制御になり、NCと呼ばれています。

工作機械で切削または研削加工をする時は刃物と被加工物が互いに干渉する状態で、何らかの相対的な運動をさせなければなりません。その運動の基本的なものに次の3つがあります。

- 主運動（切削・研削運動）
- 送り運動
- 位置決め運動（切り込み運動）

基本的な加工方法には、次のようなものがあります。

### （1）旋削

被加工物を回転させて、刃物が直線送り運動をします。

### （2）平削り

直線切削運動と直線送り運動の組み合わせになります。

### （3）穴あけ

被加工物を固定してドリル、リーマ、タップなどの刃物に回転切削運動と回転軸の方向の直線送り運動を行わせながら穴をあけます。

### （4）フライス削り

フライスに回転切削運動を与えて、平面や溝など様々な形状を削りだします。

### （5）研削

砥石を使って加工物の表面を削ります。

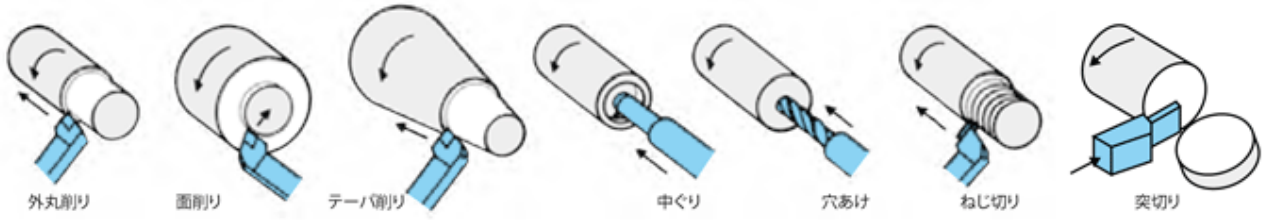
### （6）電気加工

金属の代わりに、電気エネルギーを刃物工具として用いて加工します。（放電加工、レーザー加工などがあります）

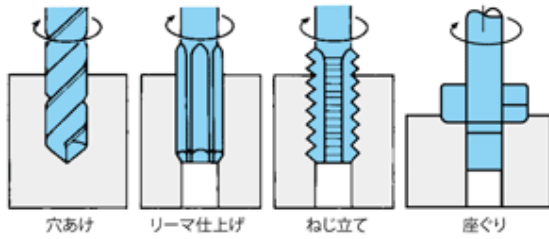
NC工作機械はこのような加工を行うために、次々に変わっていく刃物、被加工物の位置、および速度を数値によって制御するわけです。

# 主な加工方法

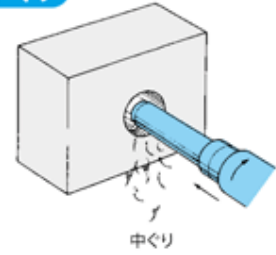
## 旋削



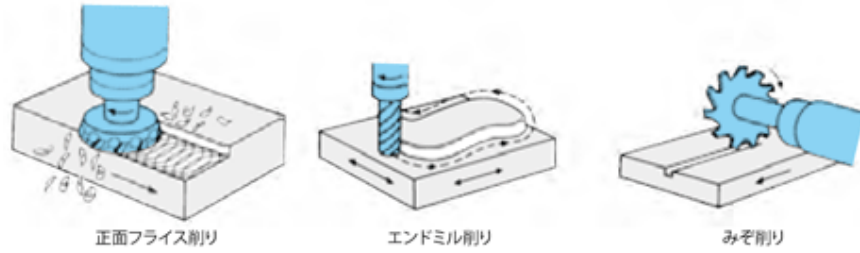
## 穴あけ



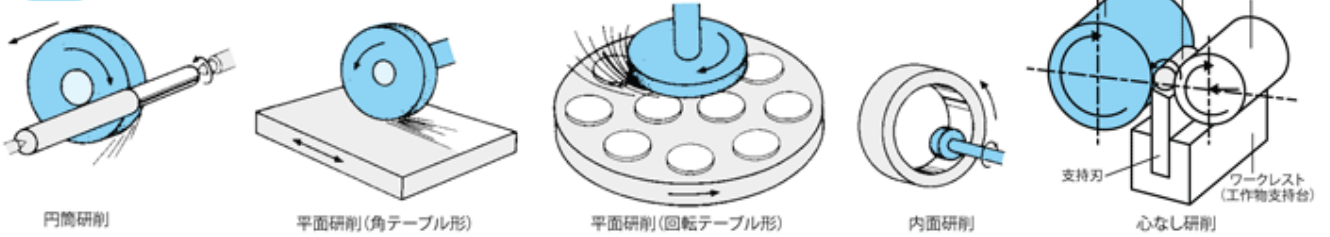
## 中ぐり



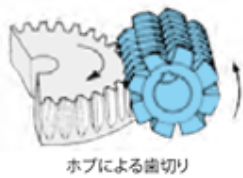
## フライス削り



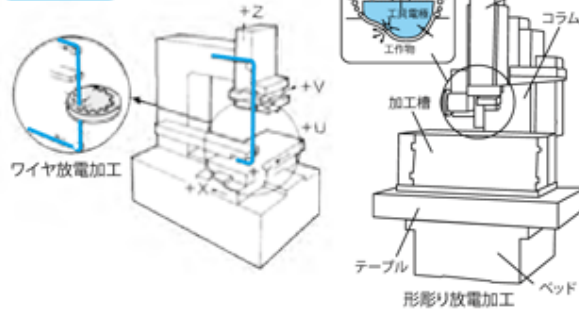
## 研削



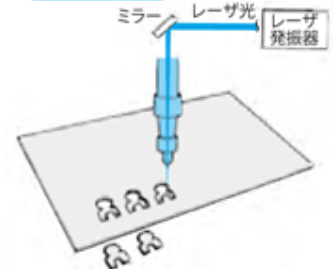
## 歯切り



## 放電加工

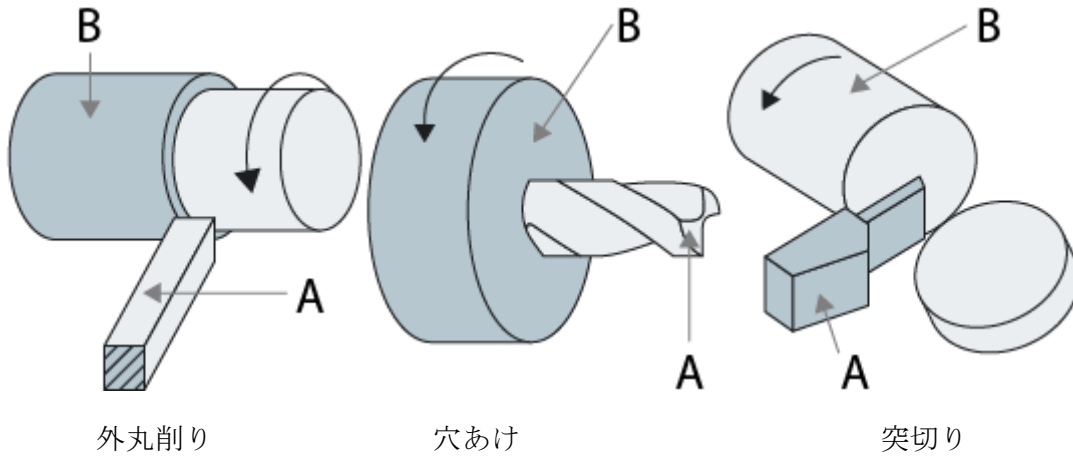


## レーザ加工

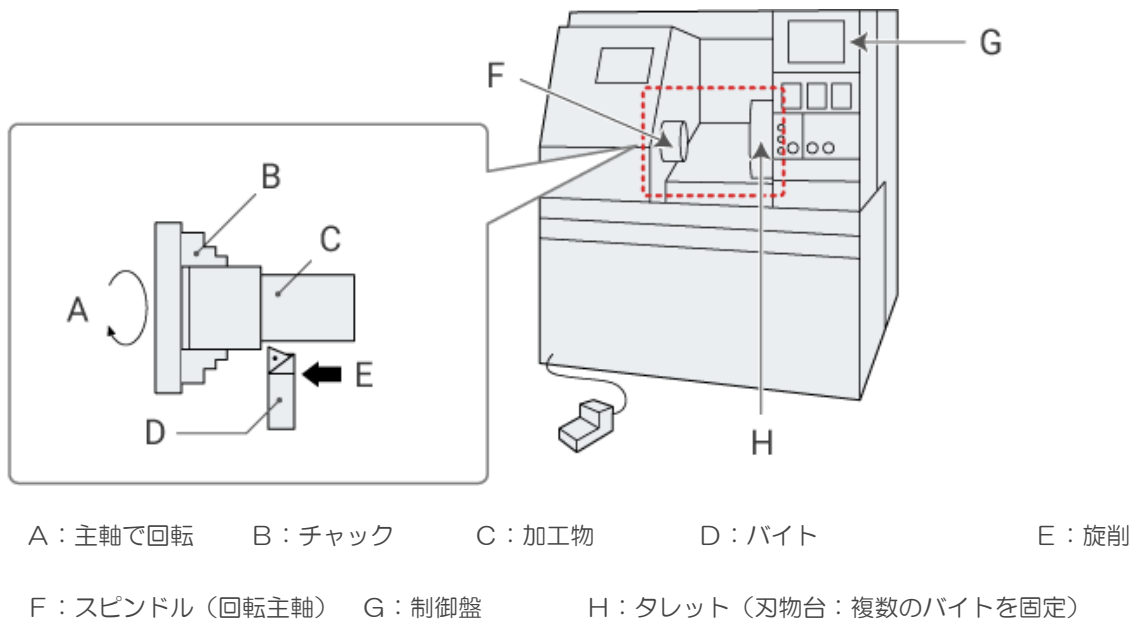


## NC旋盤

そもそも旋盤とは、円柱状の加工材料を回転させ、そこにバイト（刃物）を当てて不要な部分を削り取る工作機械です。基本となる右片刃バイトによる旋削加工のほか、穴開け、中ぐり、溝加工、ねじ切りといった加工を行うことができます。



これに対してNC旋盤は数値制御をもとに、あらかじめ設定した手順で数十種類に及ぶバイトを使い分けて自動加工を行うのが特徴です。そして、横や縦、高さの座標軸を通じて高精度で切り込みなどの加工位置を制御できるほか、加工物の材質や目的とする形状に応じて、回転速度や刃物の送り速度を制御することで加工を自在に行うことができます。

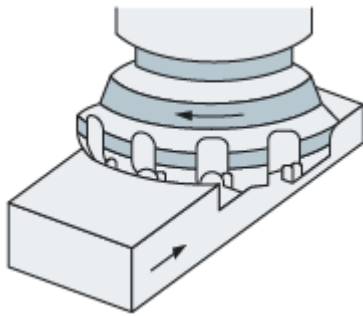


株式会社キーエンス HP 機械加工入門より

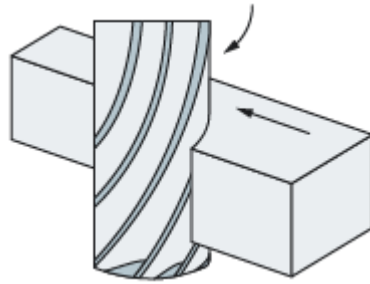
## NCフライス盤

回転軸に取り付けたフライス盤という切削工具を回転させて行う加工です。固定した工作物に工具を断続的に当てて切削を行うため、工作物表面を平面や曲面に加工できるほか、穴開け、みぞ削りなど、多様な加工が可能です。

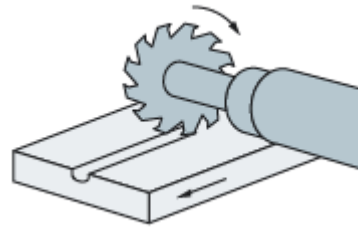
フライス盤には、工具を取り付ける主轴の方向によって、横形と立形があるほか、本体が門のような形状をした門形などの種類があり、正面フライス、エンドミル、溝フライスなどの工具を用いて、目的の形状に工作物を加工します。



正面フライス



エンドミル



溝フライス

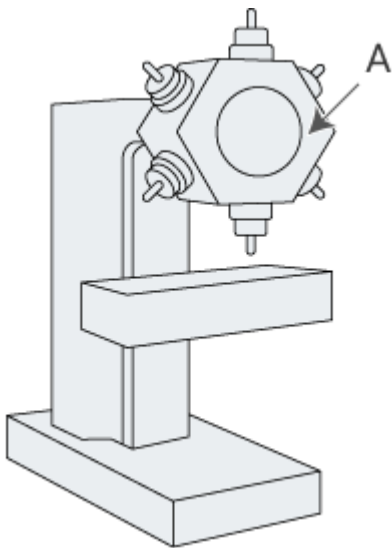
## マシニングセンタ

金属部品を製造するには、一般的に面や溝の研削をはじめ、穴開け、中ぐり（穴の拡大）、ねじ切りなど複数の加工を行う必要があります。かつてはこれらの加工のためにフライスやエンドミル、ドリル、中ぐり、タップといった刃物工具を使い分けていました。

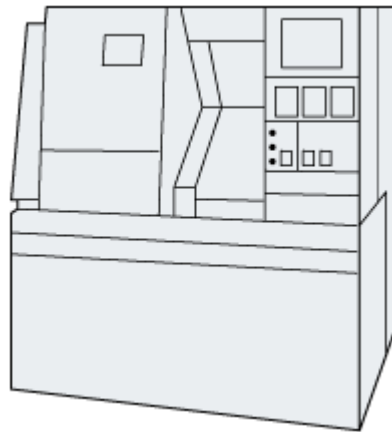
その後、NC 工作機の登場でタレットと呼ばれる手動式の工具交換機能が開発され、刃物の交換が便利になりました。さらに、刃物の交換をコンピュータ制御で自動化したのがマシニングセンタです。加工物の複数の面について同時に数種類の加工が連続してできることから生産効率を大幅に向上させることとなりました。

年々、加工の精度と速度が向上していて、今やものづくりの根幹を担っています。

金属加工メーカーの工場を見学すると、複数のマシニングセンタが昼夜休みなく働き続けています。現場で機械の監視を行っているのは、ごくわずかのオペレーターだけです。



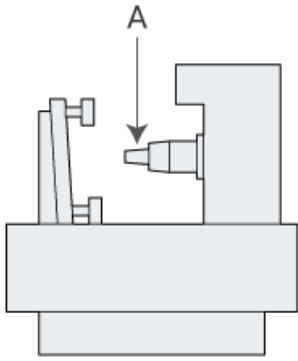
A：タレット  
タレットに工具をつけて手動で回転させる



マシニングセンタでは  
工具の交換が自動化

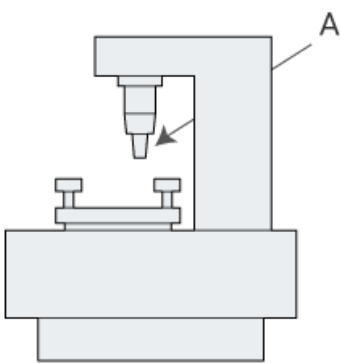
マシニングセンタは、大きくは横形と立形、門形という3種類の構造に分かれています。当初開発されたのが横形と呼ばれるもので、簡単に言えば、刃物を取り付ける回転軸（スピンドル）が横向き（地上に対して水平方向）に取り付けられています。これに対して、立形は回転軸が縦向きのもを指します。一方、門形（ガントリー型）は、まさに門構えのような構造をしていて、回転軸は門の天井部に下向きについています。

マシニングセンタの主な構造は、横形を例に挙げると、下から順にベッドと呼ばれる基盤部分、ベッドの上で移動するサドル、サドルの上について加工材料を設置するテーブル、そしてベッドに垂直方向に設置されているコラム、刃物を取り付ける主軸頭などです。



横形マシニングセンタは、刃物の回転軸が横向きに出ている、加工物を水平方向に加工していきます。その際、コラムがX軸方向、サドルがY軸方向、テーブルがZ軸方向に動き、三次元での加工を可能にしています。それらに加えて、テーブルの一部が水平方向に回転するB軸を持った機種があり、この場合、計4軸で加工を行うことができます。

横形のメリットは、B軸を含めて4軸を活用することで、加工物の4面を一気に加工することが可能な点です。そのため、加工物の4面に関して手作業で面替えをする必要がないため、加工精度の高さが特徴です。加えて、横から削っていくことで切りくずが下に落ちるため、切りくずが加工物の上にたまって刃物に食い込むといった不具合を避けやすいメリットもあります。



一方、立形マシニングセンタは、回転軸が垂直方向に付いていて、加工物を上から加工する構造となっています。一般的には、テーブルがX軸、Y軸の水平方向に移動し、回転軸が垂直方向に移動することで、3軸での加工が行えるようになっています。

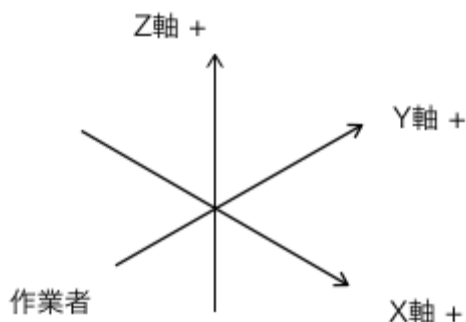
回転軸が加工物の横に位置する横形と比べて、設置スペースが少なく済むことから、現在、幅広く普及しています。また、加工物を上から削っていくため、設計図面と見比べながら加工を行うことができるのもメリットといえます。一方で、加工物の上部で加工を行うため切りくずがたまりやすいことから、圧縮空気の吹きつけや潤滑油剤での洗い流しで随時、取り除く必要があります。

# 3章 NCプログラミングの基礎

## 1 座標と基準

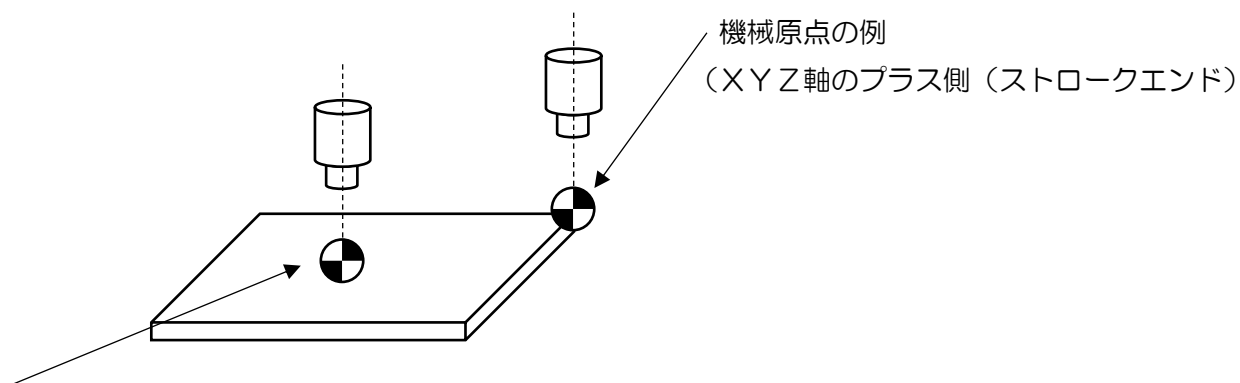
### <座標系>

NCで使用される座標系は、X軸、Y軸、Z軸の3軸の直交座標系です。（これに回転軸を加えた4軸、または5軸を制御できる設備もあります）各軸の方向は設備の種類によって異なりますが、フライス盤や立形マシニングセンタでは、X軸は横方向で右が+、Y軸は前後方向で奥が+、Z軸は上下方向で上が+、となります。



### ①機械座標

機械座標は各NC工作機械が持っている固有の座標です。立形マシニングセンタの多くは、右奥が機械原点となりX座標、Y座標は0になります。テーブルの中心が機械原点になっている設備もあります。Z軸は主軸が一番上に上がったところが機械原点になります。



### ②ワーク座標

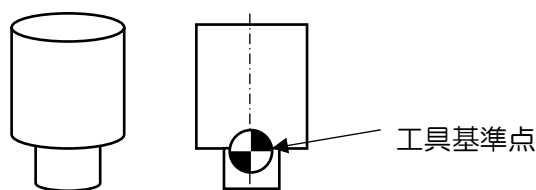
ワーク座標は設定したワーク座標系を原点とした座標です。いわゆる加工原点になります。ワーク座標を使用するには、加工前にあらかじめワーク座標系に機械座標を入力しておきます。そしてプログラムの中で、どのワーク座標系を使用するのかが設定すると、ワーク座標系に入力されている機械座標がワーク座標の原点(X0、Y0)となります。

### ③相対座標

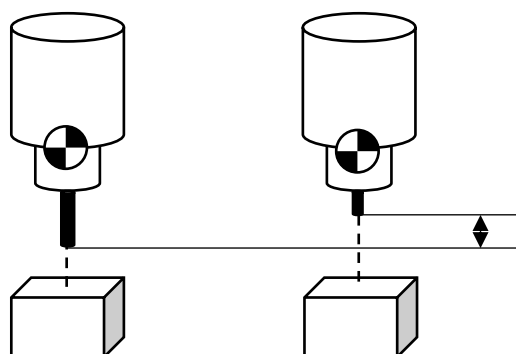
オペレータが自由に変更できる座標で、確認用に使うことが多いようです。

## <工具基準点と補正>

主軸には下図のように、工具基準点が定められています。

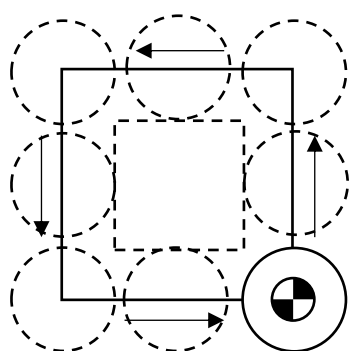


主軸に様々な工具を取り付けて主軸を動かしながら加工をしていきます。例えば、下図では、Z軸をどれだけ下に移動させて加工するかというプログラムを組みます。同じ工具を使って加工する場合は問題ないのですが、長さが異なる工具に交換した場合、工具基準点から加工点の距離が異なります。下図の左の工具では10mm下にある加工物まで移動させて加工させていたプログラムで、右の工具に交換したとき10mmでは加工物に届かない状況になってしまいます。そのため、右の工具に合わせた補正をしなければなりません。



補正の方法は、段取り作業の段階で切削工具の長さ（工具長）を測定し、切削工具ごとの工具長をNC装置にあらかじめ入力しておきます。そして、使用する切削工具ごとに工具長分だけZ軸のプラス方向に補正することで、工具長に関係なくZ軸座標の起点は常に主軸端で考えればよくなります。これを、NCフライス盤やマシニングセンタでは「工具長補正」、NC旋盤では「工具位置補正」といいます。

X軸とY軸は主軸の中心が移動経路の基点になります。エンドミルを使用して輪郭を加工した場合、下図のようになり、エンドミルの半径の長さ分小さく加工されます。このため、あらかじめエンドミルの半径を入力しておき、工具の半径分だけ移動経路をずらす補正を行います。NCフライス盤やマシニングセンタでは「工具径補正」、NC旋盤ではバイトの歯先の丸み（ノーズR）の補正が必要で「ノーズR補正」といいます。



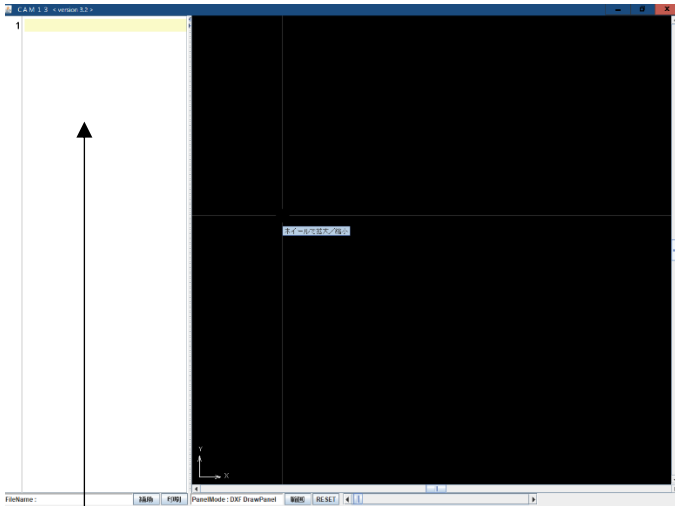
# NCプログラムの基礎

## 1 移動指令

### 1 アブソリュート指令

際にCAM13を起動して、動作を確認しながらプログラムを学習していきましょう。

①デスクトップのCAM13アイコンをクリックしてください。しばらくすると、以下の画面になります。



左の白い領域に以下のプログラムを書いてください。

プログラムを書くときは、「半角/全角」を押して半角英数で書きます。

```
CAM 13 < version 3.2 >  
1 O01; ← 英語のオー、数字のゼロ・イチです。  
2 G92X-100.Y-100.Z100.;  
3 G90X100.;  
4 Y100.;  
5 X-100.;  
6 Y-100.;
```

<1行目>

**O 0 1 ;**

「O」の次の数値はプログラム番号であることを示します。この場合は、「プログラム番号01」ということとなります。

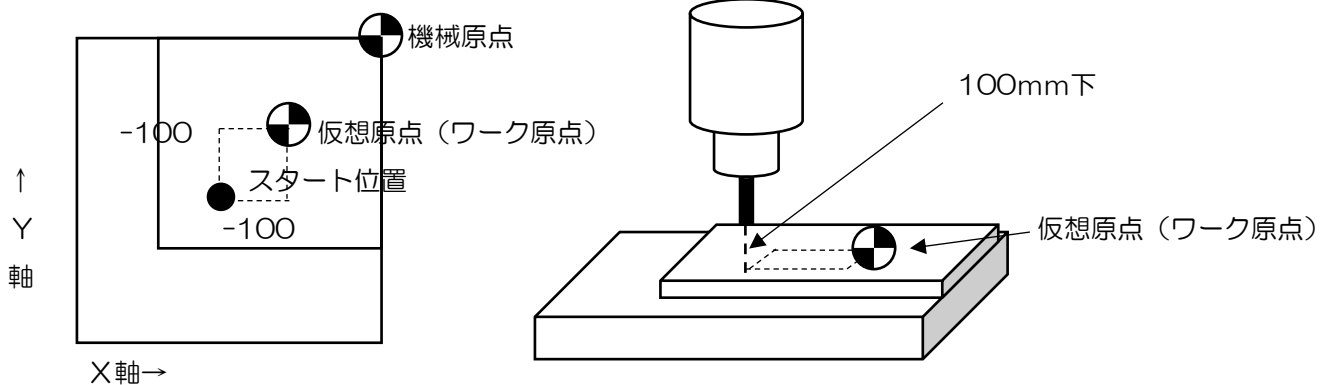
「; (セミコロン)」これは、エンド・オブ・ブロック (End OF Block) と呼びます。プログラム一行分の終わりを示しています。このようにNCプログラムでは行の先頭からエンド・オブ・ブロックまでを「ブロック」といいます。

<2行目>

**G 9 2 X-100 . Y-100 . Z100 . ;**

「G」は「Gコード」と呼ばれます。工具を加工基準位置に移動したり (ワーク座標)、加工する位置に直線的に移動したり (直線補間)、円弧を描きながら移動したり (円弧補間)、工具長補正などを行います。G92は、現在の主軸の位置を仮想原点 (ワーク原点) からの座標位置に設定します。

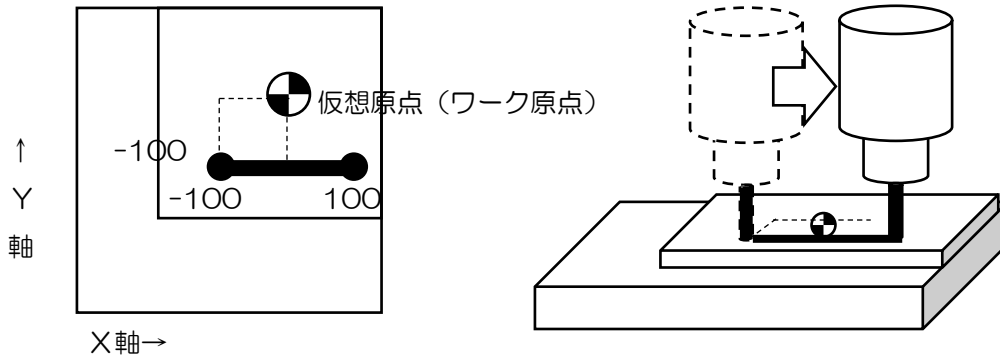
G92に続くX-100は、ワーク原点からX軸に-100mm、Y軸に-100mm、Z軸に+100mmの座標を加工スタート位置にしています。これ以下のプログラムの座標は、ワーク原点を基準とする座標で移動します。



<3行目>

**G 9 0 X 1 0 0 . ;**

G90は、アブソリュートディメンションです。アブソリュートは絶対値、ディメンションは寸法という意味です。すでに設定したワーク座標を基準にした座標に加工しながら移動させます。この場合は、ワーク原点を基準としたX軸座標が100、Y座標が-100、Z軸座標が100の位置に移動します。Y軸とZ軸の座標は変化しないので書かなくても保持されます。変化する座標のみを書けばよいということです。X軸方向に200mm加工します。

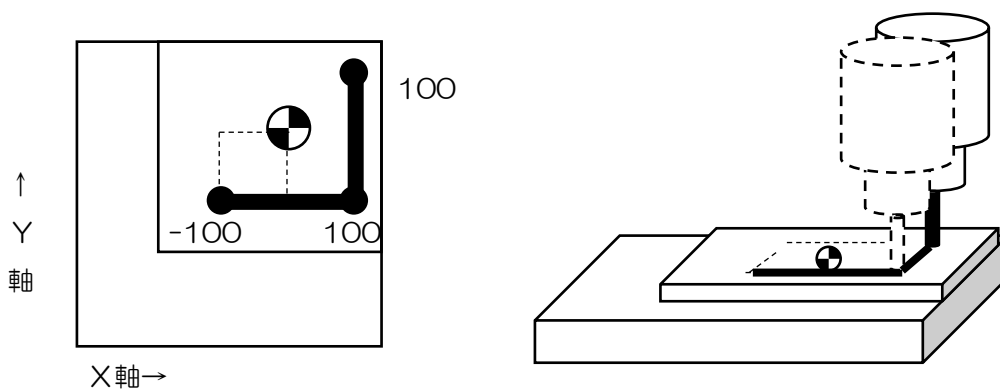


<4行目>

**Y 1 0 0 . ;**

X軸座標が100、Y座標が100、Z軸座標が100の位置に移動します。絶対座標を指定しているためG90が必要になりますが、その都度書いていると大変な作業になるので、G90は一度書くと次のブロックでも継続して有効になります。このような指令を「モーダル指令」といいます。モーダルとは状態を維持するという意味を持っています。逆にひとつのブロックしか有効でない指令を「ワンショット指令」といいます。例えば、2行目で書いたG92はワンショット指令になります。

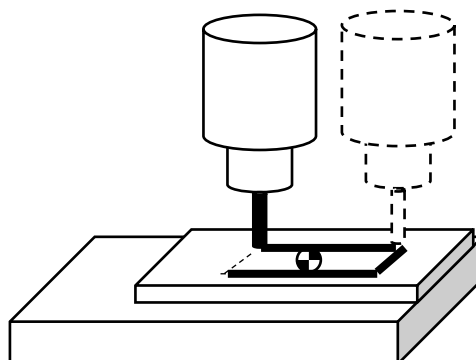
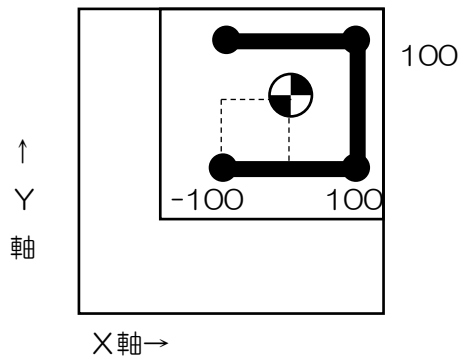
現在の座標はワーク座標から、X100.Y100.Z100になっています。



<5行目>

**X - 1 0 0 . ;**

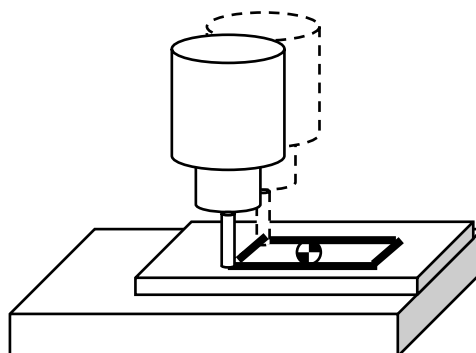
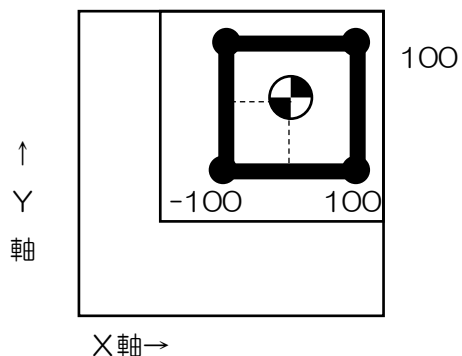
X軸座標が-100、Y座標が100、Z軸座標が100の位置に移動します。  
現在の座標はワーク座標から、X-100.Y100.Z100になっています。



<6行目>

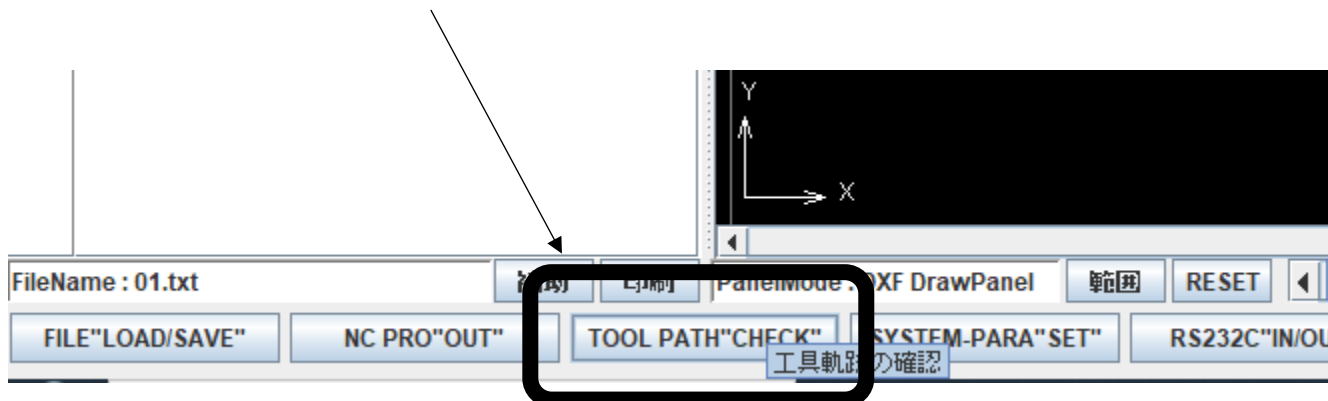
**Y - 1 0 0 . ;**

X軸座標が-100、Y座標が-100、Z軸座標が100の位置に移動します。  
スタート座標に戻ってきました。

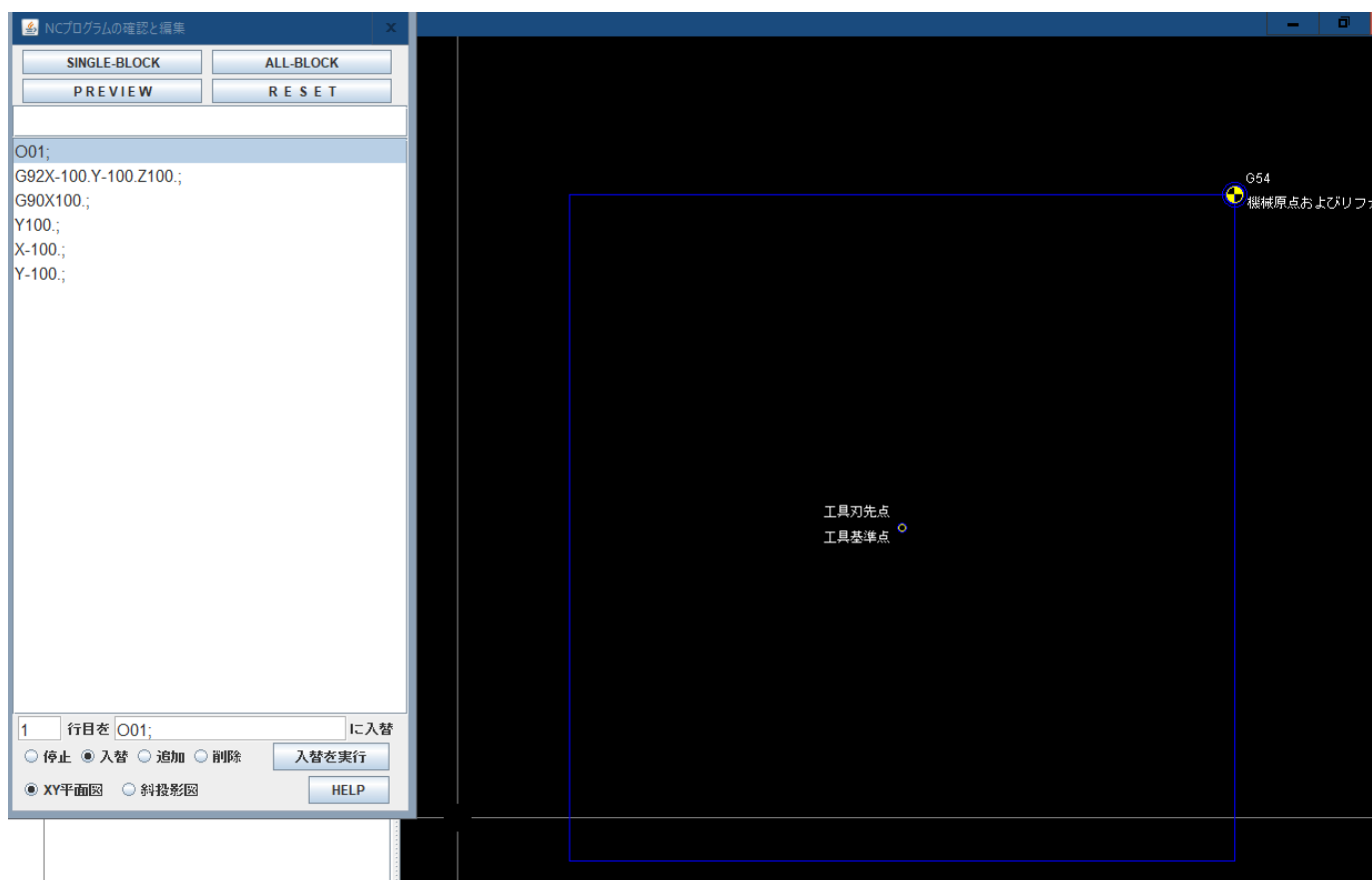


プログラムの流れがわかったら、実際にどのような動きをするかシミュレーションしてみましょう。

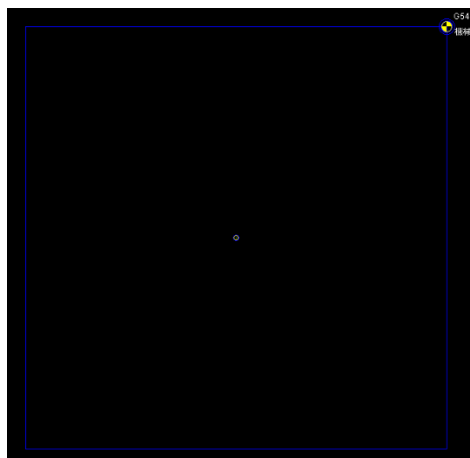
下のバーにある「TOOL PATH "CHECK"」をクリックします。



次の画面が出てきます。左にプログラムが、右に「描画パネル」があります。描画パネルの中心に、現在の「工具刃先点」があります。ここに現在主軸があるということです。右上は機械原点になっています。

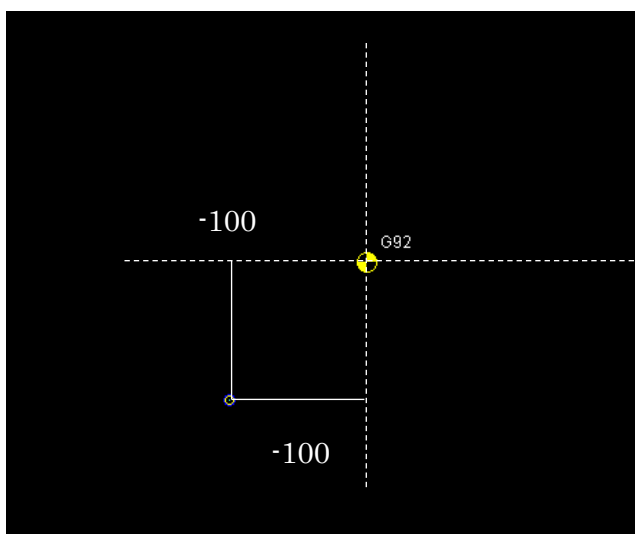


では、画面左上にある「SINGLE-BLOCK」を1回押します。「SINGLE-BLOCK」は、プログラムを一つのブロックごとに実行していくボタンです。そうすると、1行目を実行します。1行目はプログラム番号なのでなにも描画されません。



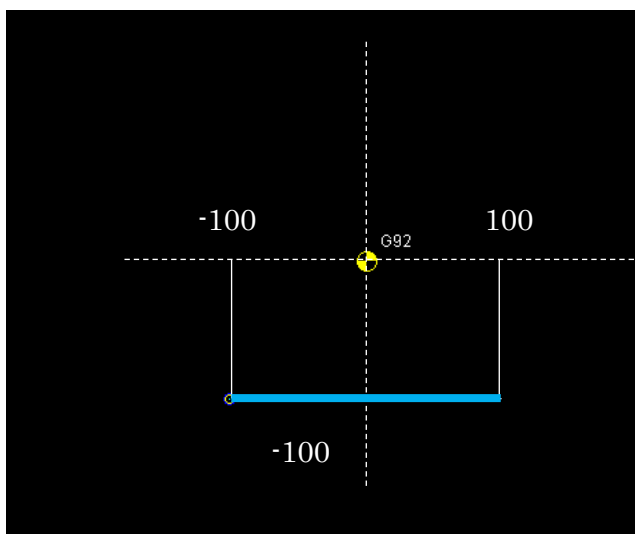
もう一度「SINGLE-BLOCK」を押します。

2行目を実行します。2行目はワーク原点を設定するプログラムでした。現在の主軸（刃先位置）を仮想原点（ワーク原点）からの座標位置に設定します。G92のワーク原点を基準（X0.Y0.Z0）とすると、現在の主軸はX-100.Y-100.Z100にあるということを表しています。



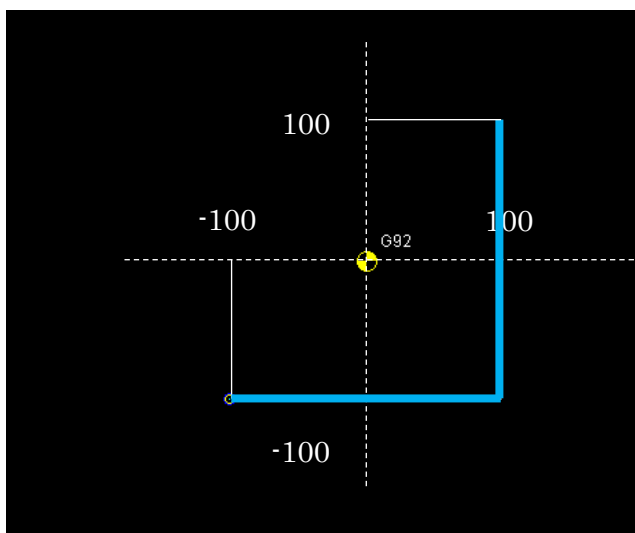
「SINGLE-BLOCK」を押します。

3行目を実行します。3行目はY、Z座標はそのまま、X座標を 100 にするプログラムでした。  
現在の主軸はX 100.Y -100.Z 100 にあるということを表しています。



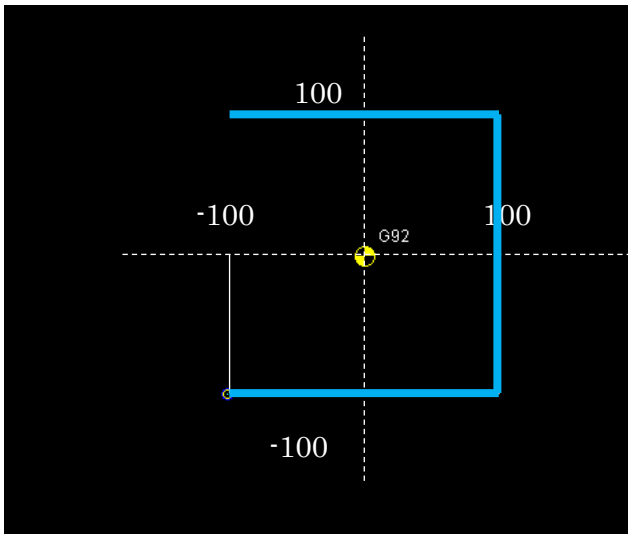
「SINGLE-BLOCK」を押します。

4行目を実行します。4行目はX、Z座標はそのまま、Y座標を 100 にするプログラムでした。  
現在の主軸はX 100.Y 100.Z 100 にあるということを表しています。



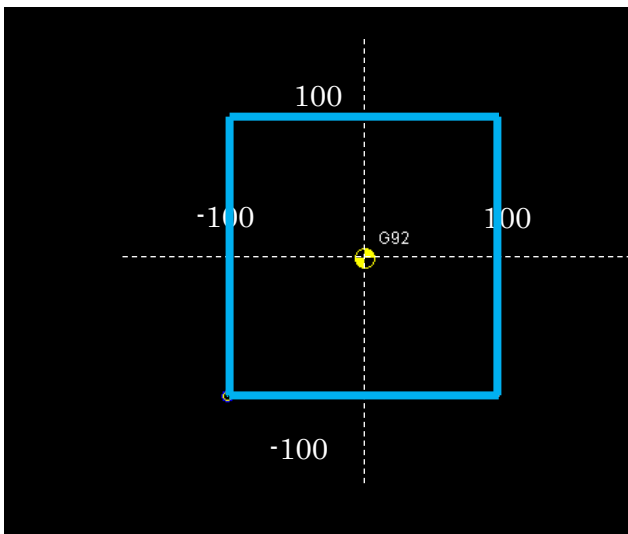
「SINGLE-BLOCK」を押します。

5行目を実行します。5行目はY、Z座標はそのまま、X座標を-100にするプログラムでした。現在の主軸はX-100.Y100.Z100にあるということを表しています。



「SINGLE-BLOCK」を押します。

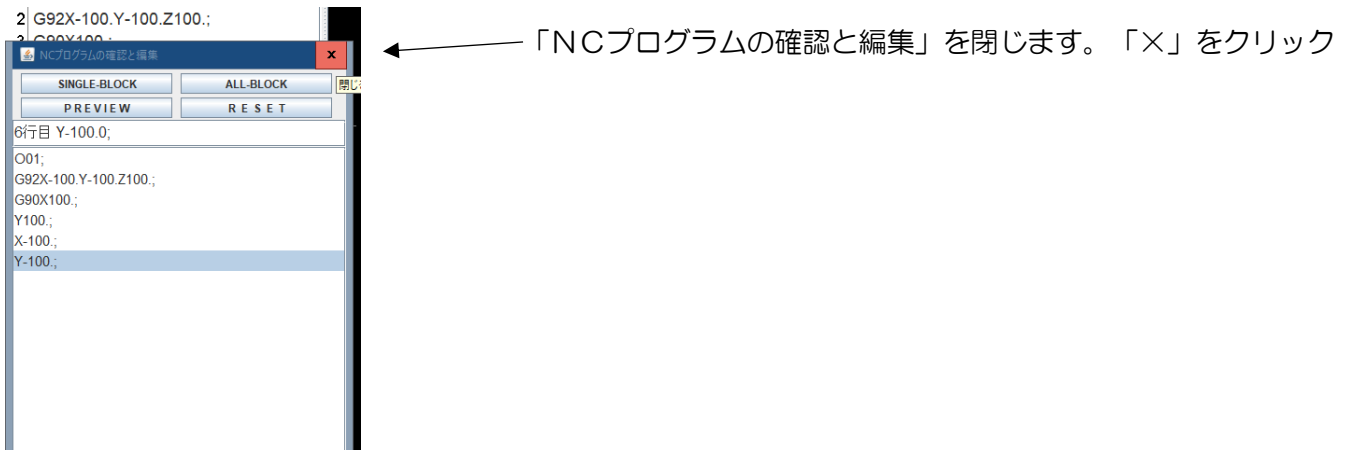
6行目を実行します。6行目はX、Z座標はそのまま、Y座標を-100にするプログラムでした。スタート点に戻ってきて、プログラムした移動が完了しました。



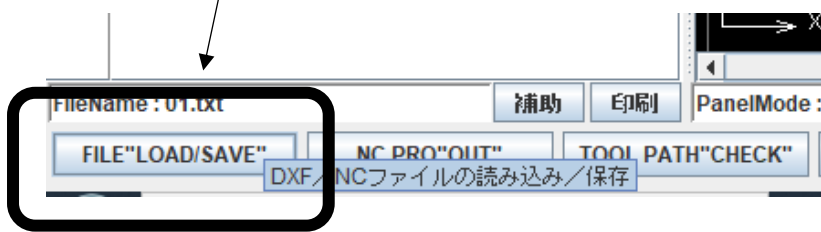
このようにして、図面に従って主軸を移動させます。実際の加工には、主軸の回転方向や回転速度、移動（送り）速度、円弧の移動、主軸回転停止、切削油ONOFFなどの「補助機能」を指令する「Mコード」が必要になります。

基本的な考え方や指令方法は同じですが、メーカーや機種・型式によってコードは異なりますので、実際は、必ず機械のマニュアルを参照してコードを確認する必要があります。

作ったプログラムを保存します。



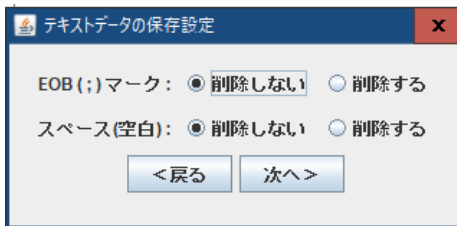
「FILE "LOAD/SAVE"」を押します。



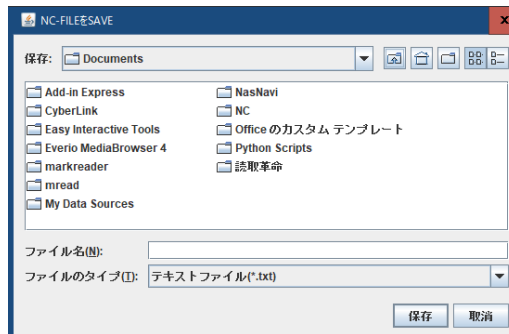
「NC-FILE "LOAD/SAVE"」を選んで、次へを押します。SAVEを選んで次へを押します。



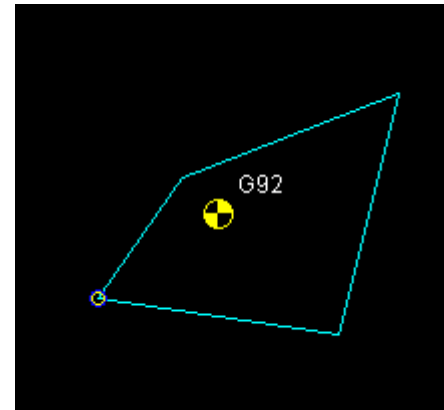
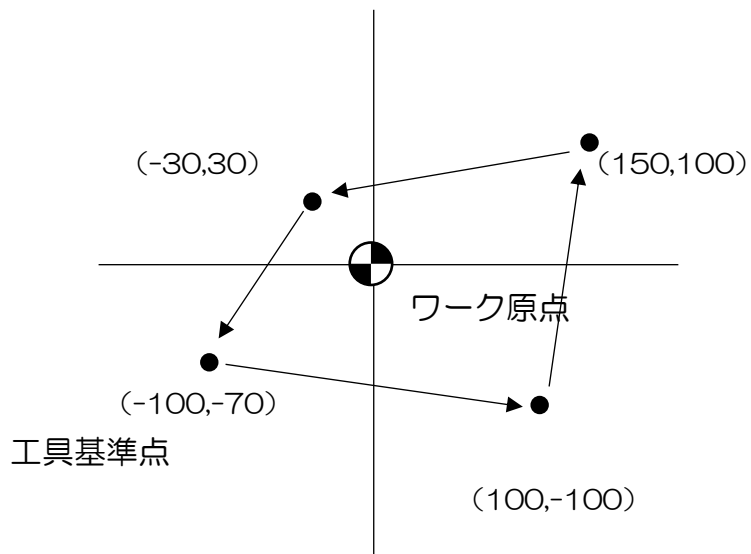
このまま、次へを押します。



NCフォルダを作成し、その中に「01」で保存します。



演習1 主軸の移動プログラムを作って、02 という名前で保存してください。  
ただし、プログラム番号は02、材料から刃先の距離は50mmとします。  
(Z軸のワーク原点は+50)



プログラム例

```
O02;
```

```
G92X-100.Y-70.Z50.;
```

```
G90X100.Y-100.;
```

```
X150.Y100.;
```

```
X-30.Y30.;
```

```
X-100.Y-70.;
```

## 2 インクリメンタル指令

以下のプログラムを書いてください。そして、プログラムを O3 の名前で保存をしてください。


O03;

G91X200.;

Y200.;

X-200.;

Y-200.;



The screenshot shows a software window titled "CAM 1 3 < version 3.2 >". Inside the window, a list of five lines of code is displayed, numbered 1 through 5. The first line is highlighted in yellow. The code lines are: 1 O03;, 2 G91X200.;; 3 Y200.;; 4 X-200.;; 5 Y-200.;;

インクリメンタル指令とは、現在の工具位置を基準にして、主軸の位置を移動させます。

O03; ←プログラム番号は O3 です。

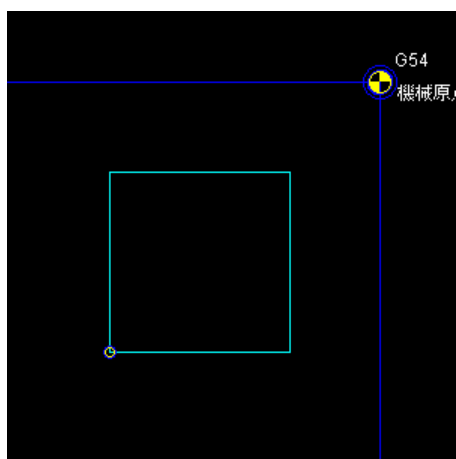
G91X200.;; ←インクリメンタル指令を行うときは、G91 を書きます。現在の工具位置から X 軸を + 200mm 移動させます。

Y200.;; ← Y 軸を + 200mm 移動させます。

X-200.;; ← X 軸を - 200mm 移動させます。

Y-200.;; ← Y 軸を - 200mm 移動させます。

プログラムの流れがわかったら、「TOOL PATH “CHECK”」をクリックしてプログラムの動きを確認してください。



インクリメンタル指令は、移動した場所が基準点になるため、一カ所でも座標位置を間違えると、それ以降の工具位置が全てずれてしまいます。また、Z軸の移動のとき、工具が材料に食い込んでいるかどうか座標を見ただけではわからないデメリットもあります。

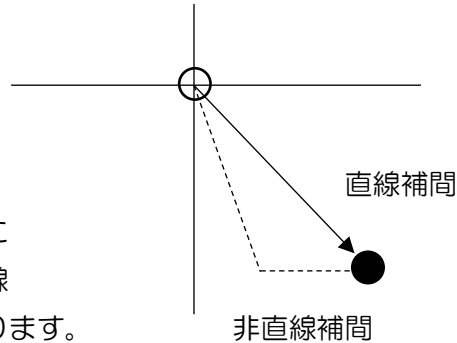
# 1 輪郭加工

## 1 G00 位置決め補間（早送り）

G00は位置決め補間（早送り）と呼ばれています。早送り速度（機械のもつ最大速度）で目的の座標まで工具を移動させるときに使用します。（最大速度＝最短距離ではありません）

現在位置を X0.Y0.とした時、  
G00 X200Y-200；

最大速度でX200Y-200に移動しますが、必ずしも右図の矢印のように移動（直線補間）するとは限りません。点線のように移動（非直線補間）することもあります。  
※機械の仕様によって異なるため、確認が必要です。



そのため、切削するプログラムには使えないのです。工具を移動させる指令です。

XYZ軸同時に早送りさせることも可能ですが、事故を防ぐため、XY軸とZ軸はブロックを分けて指令します。

## 2 G01 直線補間

G01は直線補間で、目的座標まで最短距離で移動する切削加工用の指令です。直線加工に使用するので最も頻繁に使われるコードの一つです。

G01 X\_\_Y\_\_Z\_\_F\_\_；

Fは送り速度です。

F100は100mm/min（分速10mmの速さで送る）ことを示します。F100.（小数点付き）もF100（小数点なし）も同じ分速100mmです。ただし、小数点を付けずに1～9までの1桁の数値を指定すると、機械にあらかじめ設定されている送り速度で移動します。ですので、分速7mmで送ろうとする場合は、小数点をつけなければなりません。（F7.）

G01はモーダル指令なので、変更の必要がない限りはブロックに書く必要がありません。

練習) 次のプログラムを書いて実行してください。ファイルは 04 として保存してください。  
ただし、Z軸の移動は無視し、XY平面の移動プログラムのみを書きます。

①プログラム番号は 04

②現在の工具位置は、ワーク原点からX軸方向に-10mm、Y軸方向に20mm、Z軸方向に100mmです。

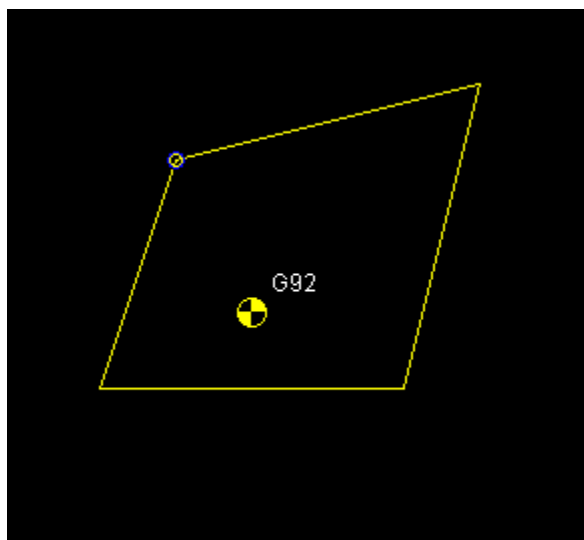
③アブソリュート指令を行います。座標X30、Y30まで速さ100mm/minで直線切削加工を行います。

④同じく、座標X20、Y-10まで速さ100mm/minで直線切削加工を行います。

⑤同じく、座標X-20、Y-10まで直線切削加工を行います。

⑥同じく、座標X-10、Y20まで直線切削加工を行います。

⑦プログラムを終了します。最後のブロックにM30（エンドオブプログラム）を書きます。



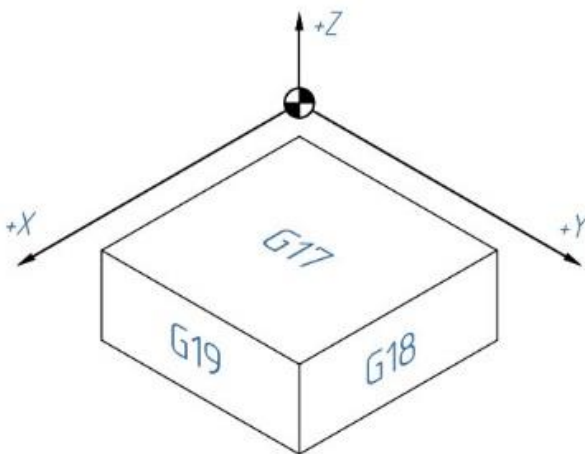
### 3 G02・G03円弧補間

G02 は時計回りでG03 は反時計回りで、目的座標まで円弧で移動します。主にコーナーRやR形状の加工、ヘリカルでの穴あけ加工などに使用されます。G01 と共に最も頻繁に使用されるコードです。

#### 1 平面設定

どの平面（XY平面、YZ平面、ZX平面）の円弧かを指定しないと、正しい円弧移動ができません。そこで、それぞれの平面に対応するコードが用意されています。

- G17 XY平面
- G18 ZX平面
- G19 YZ平面



#### 2 半径指令の場合

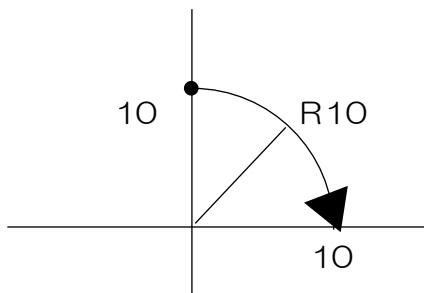
G02X\_Y\_R\_F\_;

現在の工具位置から、XYで指定された座標まで、半径Rの円弧に沿って時計回りで、速度Fで移動します。

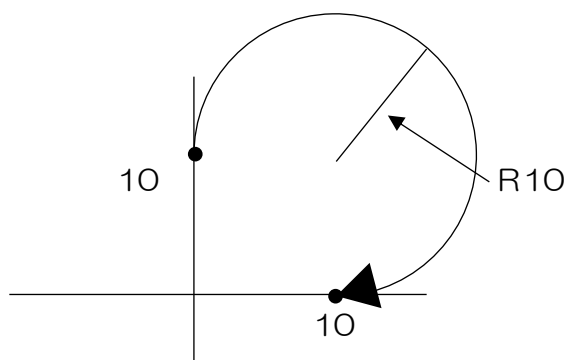
G03X\_Y\_R\_F\_;

現在の工具位置から、XYで指定された座標まで、半径Rの円弧に沿って反時計回りで、速度Fで移動します。

例えば、現在X0Y10に工具があるとき、G90G02X10.Y0.R10.F100; のプログラムは、X10、Y0の座標まで、半径10の円弧で100mm/minの速さで時計回りで移動 ということになります。



ところが、現在X0Y10に工具があるとき、時計回りで速さ 100mm/min で下図のような移動をさせたいとき、移動終点がX10、Y0で半径が10なので、「G90G02X10.Y0.R10.F100;」になります。



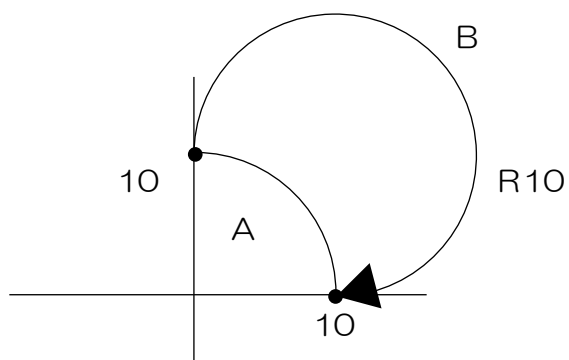
これでは、前の軌道と区別することができません。

そこで、始点と終点を結ぶ円弧が 180 度以下 (Aの円弧) のときはR10.で指定します。

G90G02X10.Y0.R10.F100;

始点と終点を結ぶ円弧が 180 度以上 (Bの円弧) のときはR-10.で指定します。

G90G02X10.Y0.R-10.F100;



## 練習

以下のAからBに至る移動プログラムを書いてください。ファイルは05として保存してください。

ただし、Z軸の移動は無視し、XY平面の移動プログラムのみを書きます。

また、座標が0の時はピリオドを打ちません。(X0, Y0, ではなく X0Y0)

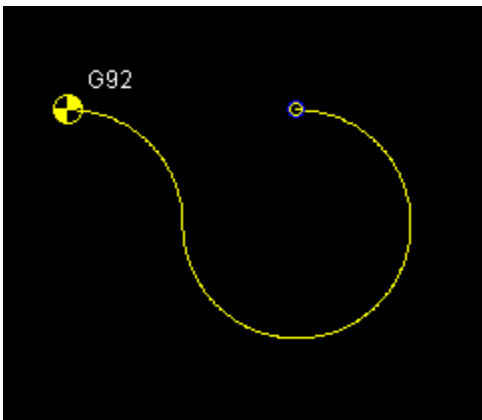
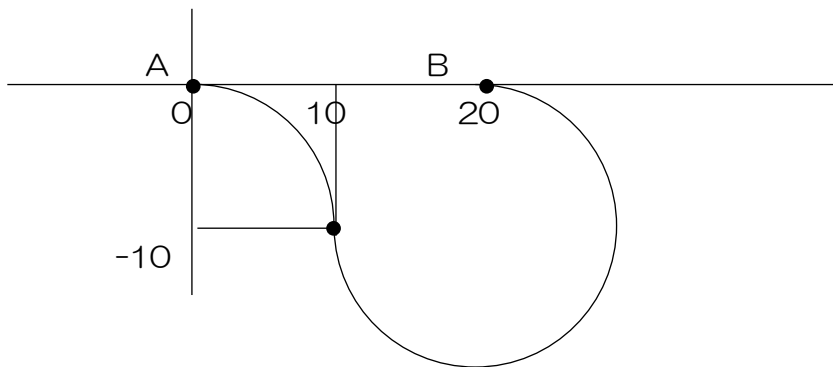
①プログラム番号は05

②現在の工具位置は、(0, 0, 100)で、ここをワーク原点に設定します。

③アブソリュート指令を行います。座標X10、Y-10まで速さ100mm/minで円弧切削加工を行います。

④同じく、座標X20、Y0まで速さ50mm/minで円弧切削加工を行います。

⑦プログラムを終了します。最後のブロックにM30(エンドオブプログラム)を書きます。



### 3 中心位置指令の場合

中心位置指令は、円弧の始点から見た中心までのX、Y成分の距離をアドレスI、Jでインクリメンタル方式で指令します。

(XY平面の場合は、X軸成分をI、Y軸成分をJで表します。ZX平面の場合は、Z軸成分をK、X軸成分をIで表します。YZ平面の場合は、Y軸成分をJ、Z軸成分をKで表します。)

G02X\_\_Y\_\_I\_\_J\_\_F\_\_;

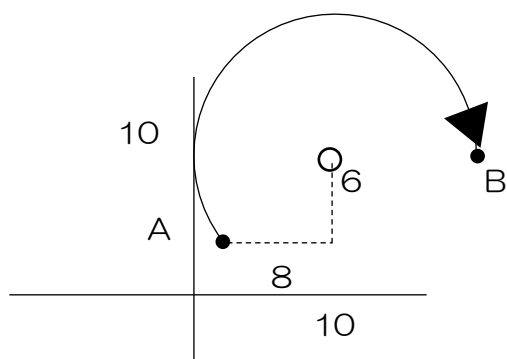
現在の工具位置から、XYで指定された座標まで時計回りで、速度Fで移動します。中心の位置は、現在の位置からX座標の成分はI、Y座標の成分はJだけ離れています。

G03X\_\_Y\_\_R\_\_F\_\_;

現在の工具位置から、XYで指定された座標まで反時計回りで、速度Fで移動します。中心の位置は、現在の位置からX座標の成分はI、Y座標の成分はJだけ離れています。

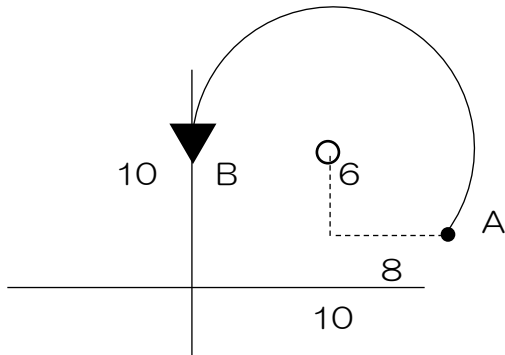
例えば、下図のようにAからB (X20.Y10.)まで時計回りで、速度 100 で移動するとします。A点から中心までのX成分は8、Y成分は6とします。

G02 X20.Y10. I8.J6.F100. ;  
終点座標 始点から見た中心位置 (X軸方向に+8、Y軸方向に+6)



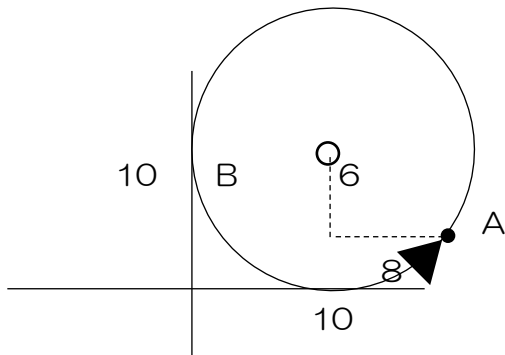
下図はAからB (X0Y10.)まで反時計回りで、速度 100 で移動するとしています。

G03 X0Y10. I-8.J6.F100. ;  
 終点座標 始点からみた中心位置 (X軸方向に-8、Y軸方向に+6)



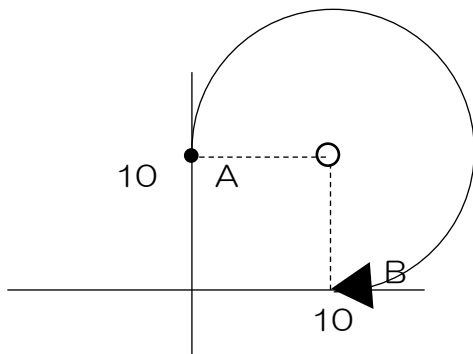
下図はAから一周しています。始点と終点座標が同じときは、終点座標を省力します。

G03 I-8.J6.F100. ;



下図はAからB (X10.Y0.)まで時計回りで、速度 100 で移動するとしています  
 始点において、Y軸成分がゼロなのでJを省略します。

G02 X10.Y0.I10.F100. ;



## 練習

以下のAからBに至る移動プログラムを中心位置指令で書いてください。ファイルは06として保存してください。

ただし、Z軸の移動は無視し、XY平面の移動プログラムのみを書きます。

また、座標が0の時はピリオドを打ちません。(X0, Y0, ではなく X0Y0)

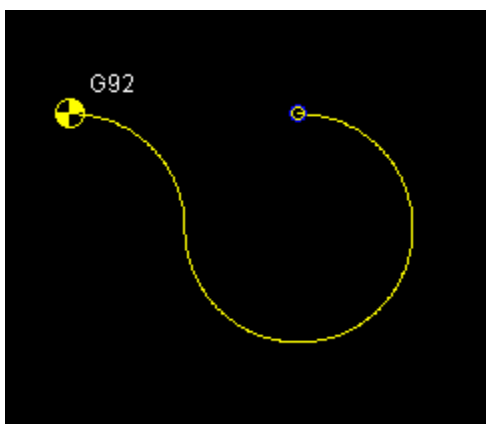
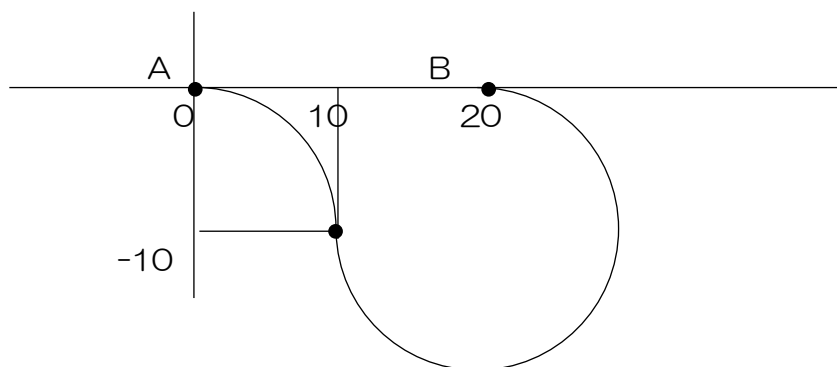
①プログラム番号は06

②現在の工具位置は、(0, 0, 100)で、ここをワーク原点に設定します。

③アブソリュート指令を行います。座標X10、Y-10まで速さ100mm/minで円弧切削加工を行います。

④同じく、座標X20、Y0まで速さ50mm/minで円弧切削加工を行います。

⑦プログラムを終了します。最後のブロックにM30(エンドオブプログラム)を書きます。



## 4 演習問題

### 演習 1

下図の移動プログラムを書いて、ファイル名 07 で保存してください。方眼のメモリは 10mm とします。現在の工具刃先点は P0 にあります。

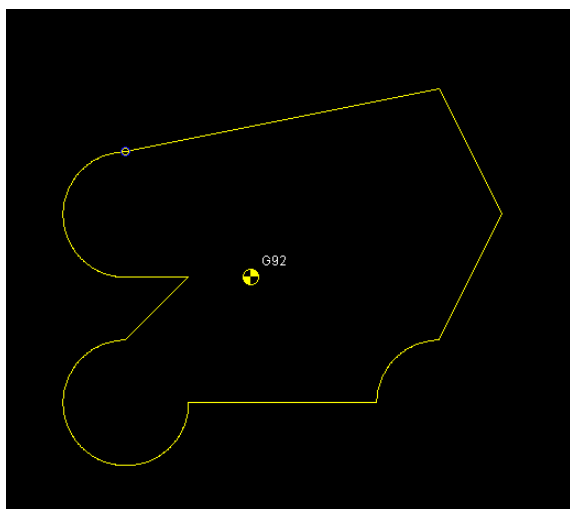
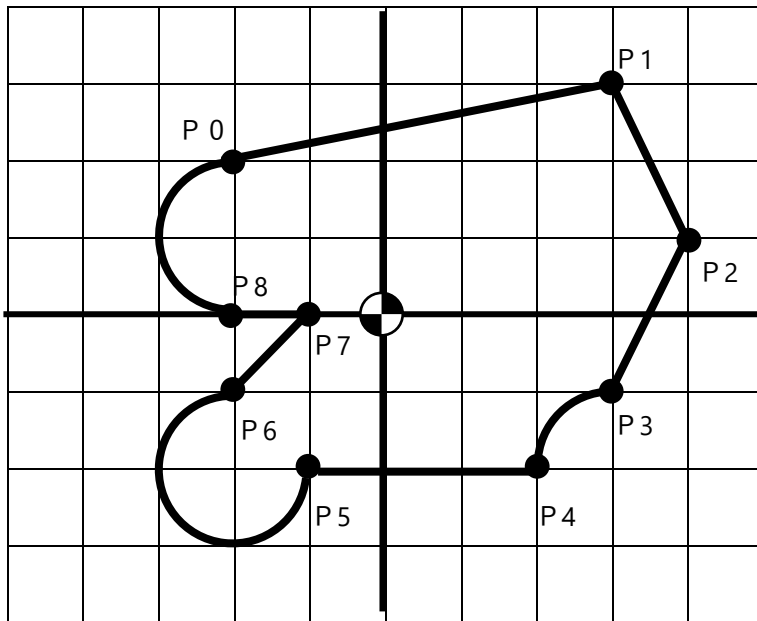
プログラム番号は 07

ワーク原点を設定すること。Z 軸についてはワーク原点の 50mm とする。また Z 軸の移動指令は行わない。

座標系はアブソリュート指令で行い、経路は P0 から P1・・・に進み P0 に戻る。

送り速度は直線 100mm/min、円弧 50mm/min とする。

円弧の半径は全て 10mm とする。



## 演習 2

下図の移動プログラムを書いて、ファイル名 08 で保存してください。方眼のメモリは 10mm とします。現在の工具刃先点はワーク原点にあります。

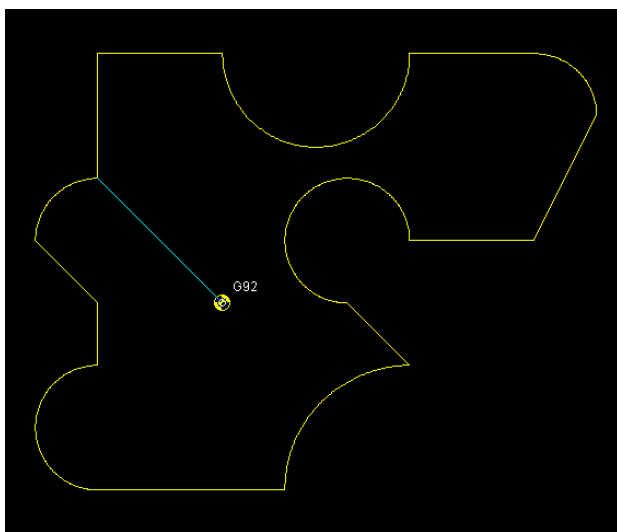
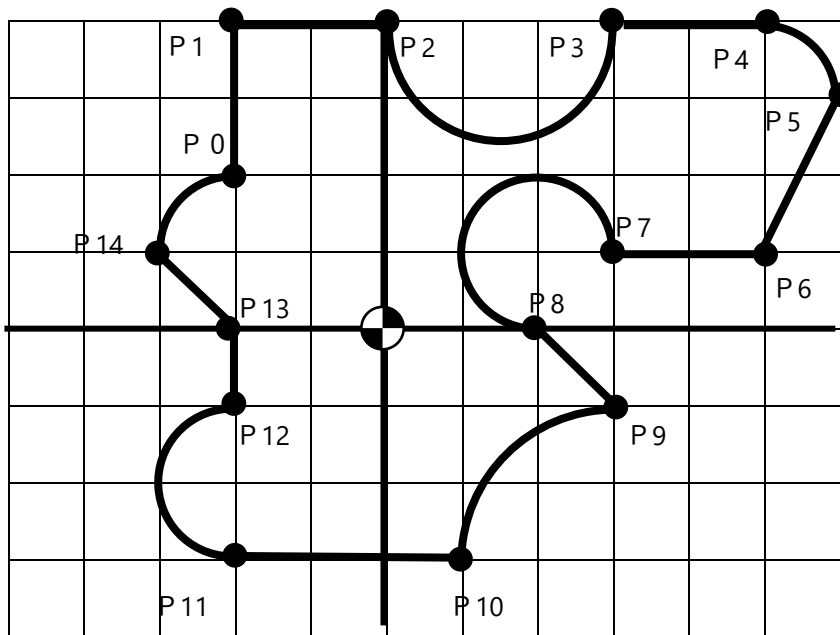
プログラム番号は 08

ワーク原点を設定すること。Z 軸についてはワーク原点の 50mm とする。また Z 軸の移動指令は行わない。P0 まで早送り (G00) すること。

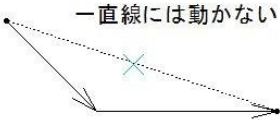
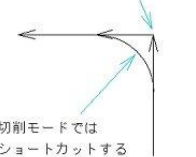
座標系はアブソリュート指令で行い、経路は P0 から P1・・・に進み P0 に戻る。

P0 に戻ったら、工具刃先点を G00 でワーク原点に戻す。

送り速度は 100mm/min とする。



## 5 Gコードの機能と注意点

<p>G 0 0</p>	<p>早送り速度で工具を移動させるのに使用します。</p> <p>使用場面は主に3つあり、加工開始前に工具をワークに近づけるとき、加工終了後に工具をワークから遠ざけるとき（原点復帰）、加工中に工具がワークに接触していないときに工具を移動させるときとなります。</p>  <p>G00 で2軸以上を同時に指令した場合、工具経路は現在位置と終了位置を結ぶ直線にならないことがあります。これは、早送りでは各軸が設定された速度で独立して動くため、各軸の移動量が違う場合は、移動量の短い軸が先に移動を終了し、移動量が長い軸の残りの移動はその後に行われるためです。</p> <p>直線移動を予想して設定すると、思わぬ方向に移動してしまい、ワークとぶつかってしまう可能性もあります。これらの理由から、G00 は製品に近すぎるところでは使用しないようにすることと、2軸以上を同時に動かす場合は工具経路上に障害物がない場合のみ使用したり、製品に近いところでは1軸ずつ動かしたりします。</p>
<p>G 0 1</p>	<p>G01 は、設定が変更されるまで有効なモーダルな G コードになります。設定の変更は、同じ「グループ 01」の G コードである G00,G02,G03 などの G コードが読み込まれると変更されます。連続して直線移動を行いたい場合は、最初のブロックだけ G01 を記述し、その後のブロックは G01 を省略できます。なお、送り速度が速い場合、X 軸の移動後に Y 軸を移動させるときなどは、X 軸の移動が完了する前に Y 軸の移動が始まることがあるので注意が必要です。</p>
<p>G 0 2 G 0 3</p>	<p>全円を描きたい場合は、I, J, K を使用した円弧の中心座標を指示する方法を用います。円弧の半径 R で指示する方法では、始点と終点が同じ円は無数に描くことができってしまうため、何の移動も起こらずに次のブロックに移るか、アラームが出て止まることとなります。</p> <p>また、円弧の半径を指示する方法は、基本的には円弧の中心位置の計算において誤差が生じる場合があります。したがって、正確な円の中心が必要な場合は、I, J, K を用いた円弧の中心座標で指示する方法を使用します。</p>
<p>G 0 4</p>	<p>G04 ドウェル機能は、自動運転中に指令した時間だけプログラムの進行を停止させるのに使用します。その間、主軸の回転などは停止しません。主に溝加工や穴加工での底面の削り残しを防いだり、精度を向上させるのに使われます。</p> <p>穴底などで G04 を指令してプログラムの進行を停止させる場合は、必要以上に長い時間停止させると、加工精度や工具寿命に悪影響を及ぼします。切削の場合は主軸が1回転する程度の時間で十分です。G04 は、指令したブロックのみで有効なワゾンショットな G コードです。</p>
<p>G 0 8</p>	<p>G08 高精度制御機能を使用すると、速い送り速度でも加減速による遅れを抑えます。これによって高速加工においても、加工形状誤差を少なくでき、均一で高精度な加工を行うことができます。G 08 はワゾンショット指令です。</p>
<p>G 0 9</p>	<p>G09 は、コーナーの精度を出すために使用します。</p>  <p>2直線が垂直に交わるようなコーナー部分では、通常は2直線の交点に到達する前に次のブロックの移動が開始されショートカットしてしまい、正確な軌道を描かないことがあります。コーナー精度を出すためには、G09 を使うことで、インポジションと呼ばれるコーナー領域に入ったことが確認されるまで、次の動作が行われないようにすることができます。</p> <p>G01（直線補間）で製品のコーナーを鋭角なエッジにしたいときなどに使用します。</p>
<p>G 1 0</p>	<p>G10 は、ワーク座標系である G54 ~ G59 の補正量や、工具補正量（工具長補正量、工具径補正量）を、プログラム上で変更するデータ設定機能です。これらは、システム変数によっても変更はできますが、機種による違いなどでシステム変数が異なっていたりして別の設定を変更する危険性があるため、G10 を使うことでより安全に設定の変更ができます。</p>

	G10 では、G54 ～ G59 の座標値そのものが書き換えられるため、プログラムの終了やリセットによっても座標値はもとに戻りません。
G 17、18、19	<p>円弧補間や工具径補正、座標回転などを使用するときに、どの平面に対してその機能が働くのかを指定します。</p> <p>G17 は XY 平面、G18 は ZX 平面、G19 は YZ 平面となります。電源投入時、立形マシニングセンターなどは G17 に設定されています。G17, G18, G19 はそれぞれ単独のブロックでも指令できますし、円弧補間 (G02, G03) や工具径補正 (G41, G42)、座標回転 (G68) などのブロックに追加する形で指令できます。</p>
G 27	G27 は、指令された位置に早送りで移動し、到達した位置が機械原点の場合は、その軸の状態表示ランプ“原点復帰”が点灯し、機械原点ではない場合はアラームが発生します。G27 のメインの用途はチェック機能ですので、単純に機械原点へ移動させる場合は G28 (機械原点復帰) を使用します。
G 28	G28 は、早送りで機械原点へ移動させるのに使用します。主な用途は、加工の終了後のワークの着脱や切りくず除去、工具交換やパレットチェンジなどを行うときなどに、工具を逃がすのに使用します。
G 30	G30 は、早送りで第 2 原点へ移動させるのに使用します。主な用途は、工具交換やパレットチェンジなどを行うときなどに使用します。
G 31	G31 は、センサを使用したワークの心出しや測定、工具長測定などで使用します。ワンショットな G コードです。スキップ信号が出力された時点で軸の移動が停止し、終点座標に到達していない状態で次のブロックに移るので、その後の軸移動には注意が必要です。
G 40、41、42	<p>G41, G42 は、プログラムの工具経路に対して、右または左に工具半径分シフトした状態で加工を行うために使用します。G41 は進行方向に対して左側に補正し、G42 は右側に補正します。工具径補正は、エンドミルを使用したポケット加工や、輪郭加工で主に使用します。</p> <p>G40 は、G41, G42 の工具径補正モードをキャンセルするのに使用します。G41 や G42 が指令される最初のブロックは、工具径補正モードへ移行するブロックでスタートアップと呼ばれます。このブロックで加工しようとすると削れすぎる可能性があるため、加工は次のブロック以降で行います。G40 で工具径補正をキャンセルするとき、X, Y, Z をすべて省略している場合でも、補正量分の軸移動が生じる場合があります。なので、ある程度ワークから離れた位置で工具径補正をキャンセルすることをおすすめします。</p> <p>工具径補正後の座標値は、プログラム上の次の移動 (あるいは 2 つ先の移動) を先読みして算出しています。多くの設備では、3～5 ブロック程度しか先読みしないので、この間に設定されている平面方向の移動がない場合は、想定されている工具経路にならない場合があります。</p>
G 43、44、49	<p>G43, G44 は、工具の先端が基準点になるように、Z 軸の補正を行います。G43 は、工具オフセットに入力されている補正量をそのまま使用する (+なら+として、-なら-として) のに対して、G44 は、符号を逆に使用します。</p> <p>Z 軸の補正は、ワーク座標系 (G54 ～ G59) に入力しても同じ機能を実現できますが、G43, G44 の工具長補正を使うメリットは、複数の工具を使う連続加工で、ワーク座標系を変更しなくても、工具長補正番号を切り換えるだけで Z 軸の補正ができることです。</p> <p>G49 は、工具長補正をキャンセルするのに使います。G43, G44 と同一ブロックに G02, G03 円弧補間を指令するとアラームが出ます。M02, M30 などのプログラム終了の M コードを実行すると、工具長補正はキャンセルされます。G28, G30 による原点復帰、あるいは手動での原点復帰を実行しても、工具長補正はキャンセルされます。</p>
G 52	選択されているワーク座標系 (G54 ～ G59) から加工原点をシフトさせて、新たに座標系を作るのに使用します。このとき、元のワーク座標系 G54 ～ G59 は変更されません。G54 ～ G59 のワーク座標系だけでは足りない場合や、1 箇所だけ加工原点を決めてしまえば他の箇所も自動的に加工原点が決定される場合に使用します。
G 53	機械原点を加工原点とした、機械座標系を選択します。

G 54～59	<p>加工原点として設定するワーク座標系を選択するのに使用します。</p> <p>例えば、G54 に「X-100.0 Y-200.0 Z0」が設定されている場合、G54 をワーク座標系としてプログラム内で指定したとき、機械座標「X-100.0 Y-200.0 Z0」を加工原点として動きます。電源投入時は G54 が選択されます。</p>
G 60	<p>G00 の位置決め動作を常に一方向から行います。同一方向から位置決めすることによって、穴ピッチ寸法などが正確に得られます。パラメータで行き過ぎ量が設定されていない軸の、一方向位置決めはできません。</p> <p>同一位置を指令した場合、行き過ぎ量分を往復して元に位置に位置決めされます。</p>
G 61	<p>G61 は、コーナーの精度を出すために使用します。2 直線が垂直に交わるようなコーナー部分では、通常は 2 直線の交点に到達する前に次のブロックの移動が開始されショートカットしてしまい、正確な軌道を描かないことがあります。コーナー精度を出すためには、G61 を使うことで、インポジションと呼ばれるコーナー領域に入ったことが確認されるまで、次の動作が行われないようにすることができます。</p> <p>G09 のイグザクトストップとの違いは、G09 は指令したブロックのみ有効なワンショットな G コードなのに対して、G61 は同じグループの他のモード（G62, G63, G64）が指令されるまで有効なモーダルな G コードであることです。</p>
G 62	<p>G62 は、工具径補正中に内側コーナーや内側円弧を移動するときに、自動的に減速して工具の負荷を軽減し、きれいに切削します。</p>
G 63	<p>G63 は、移動指令の終点で減速させずに次のブロックを実行させたい場合に使用します。一般的には、タッピング加工などで使用します。</p>
G 64	<p>G64 は通常の切削モードです。移動指令の終点で減速せずに次のブロックが実行されます。電源投入時やリセットボタンを押したときに、この切削モードに戻ります。</p> <p>プログラムの開始時は、通常は G64 の切削モードで始まるため、プログラムの最初にあえて指令する必要はありません。他のモード（G61, G62, G63）に切り換えた後に、プログラム中に切削モードに戻りたい場合に使用します。</p>
G 65～67	<p>G65, G66 は、マクロプログラムを呼び出して実行するのに使用します。M98 などのサブプログラム呼び出しと異なる点は、引数を使って安全に数値を渡せることです。</p> <p>G65 と G66 との違いは、G66 はキャンセルされるまで有効なモーダルな G コードであるのに対し、G65 は指令したブロックのみで有効なワンショットな G コードであることです。G67 は G66 をキャンセルするのに使用します。G65 はワンショットな G コードなので、G67 を指令する必要はありません。</p>
G 68, 69	<p>G68 は、プログラムされた座標に対して、指定した位置を中心に指定した角度で回転させた位置で工具移動を行います。</p> <p>1 つの形状を回転させたようなパターンがあるときに使用すると、プログラムを簡単にできます。G69 は、G68 の座標回転をキャンセルするのに使用します。</p>
G 90, G 91	<p>G90 は、G54 ～ G59 などのワーク座標系を加工原点（X0 Y0）として座標を指令する方法で、アブソリュート指令や絶対値指令と呼ばれます。G91 は、現在位置からの移動距離と方向を指令する方法で、インクリメンタル指令や増分値指令と呼ばれます。</p> <p>G90 と G91 は、基本的には工具移動を伴う G00, G01, G02, G03 などの座標値に対して影響を与えます。ただし、G02, G03 の円弧補間で円弧中心 I, J, K を指令する場合、この円弧中心は常にインクリメンタル指令となります。</p>

## 6 機械加工の基礎知識

### 1 切削速度

切削速度は、工作物の被削面の周速度のことで、一分間に削り取る長さを表しています。単に「V」と表現することもあります。切削前の被削材の直径と、主軸回転数（一分間当たりの回転数）から求めることができます。

$$\text{切削速度} = \text{円周率} \times \text{被削材直径} [\text{mm}] \times \text{主軸回転数} [\text{rpm}] \div 1000 \quad [\text{m/min}]$$

#### <切削速度が大きいときの特徴>

切れ味が良くなる。

摩擦により刃先温度が高くなるため、工具寿命が短くなる。

工具や被削材の剛性が低いと、振動（ビビリ）が起こる。

回転数や送り速度が高くなり、加工時間が短くなる。

#### <切削速度が小さいときの特徴>

切れ味が悪くなる。

摩擦による刃先温度が低いため、工具寿命が長くなる。

振動（ビビリ）が起こりにくくなる。

回転数や送り速度が低くなり、加工時間が長くなる。

切削速度は、加工面の粗さ・加工効率・工具の寿命に影響します。切削速度が大きいほど加工面はきれいに仕上がり、短時間で切削することができます。逆に切削速度を小さくすると加工面は粗くなり、切削時間も長くなります。そのため切削速度はなるべく大きくした方が加工面の粗さと加工効率は良くなりますが、工具の寿命は早くなるので最適な切削速度を見つけることが大切です。

切削速度は、刃先や被削材の材質、荒削りか仕上げ削りかなどの条件によって、標準とされる速度があります。また、個々のバイトにも推奨の切削速度が決められています。

実際の加工では、被削材の材質は決まっていることが多いので、使用するバイトを決めたら、最適な主軸回転数を選んで加工を進めていきます。

#### 標準的な切削速度

	軟鋼（S20C）		硬鋼（S45C）	
	超硬合金	高速度工具鋼	超硬合金	高速度工具鋼
荒削り	80-150	15-25	60-100	10-20
仕上げ削り	150-250	30-35	80-200	20-30
ねじ切り	12-40	8-12	10-30	10-15

## 2 回転数

切削速度には、刃先や被削材の材質、荒削りか仕上げ削りかなどの条件によって標準速度があるので、被削材直径に応じた回転数を求めて加工します。

$$\text{主軸回転数[rpm]} = \text{切削速度} \times 1000 \div (\text{円周率} \times \text{被削材直径[mm]})$$

被削材直径が小さいほど回転数を上げ、直径が大きいほど回転数を下げることになります。

## 3 送り速度

主軸が1回転する間に何mm刃物が移動したかを表す距離のことです。送り速度とも呼ばれ、mm/revの単位で表します。（revはレボリューションで、革命の意味の他に、回転という意味があります。）

次の式で送り量を計算することができます。

$$\text{送り速度[mm/rev]} = 1 \text{ 分当たりの切削長さ[mm/min]} \div \text{主軸回転数[rpm]}$$

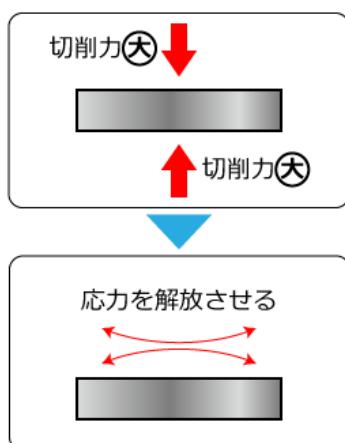
送り量を大きくすると加工面は粗くなりますが、加工時間は短くなります。逆に送り量を小さくすると加工面は細かくきれいになりますが、加工時間は長くなります。

## 4 荒加工、中仕上げ加工、仕上げ加工

機械加工（工作機械を使った加工）は図面に指示された範囲内に寸法精度（寸法許容差）、表面粗さ、幾何精度（平面度、直角度、平行度、同心度など）を仕上げなければいけません。量産加工では加工精度の安定性（バラツキが小さいこと）も必要です。

機械加工において加工精度と安定性を追及するためには加工工程を（1）荒加工、（2）中仕上げ加工、（3）仕上げ加工に分け、各工程で目的をしっかりと実行することが大切です。

### <荒加工>



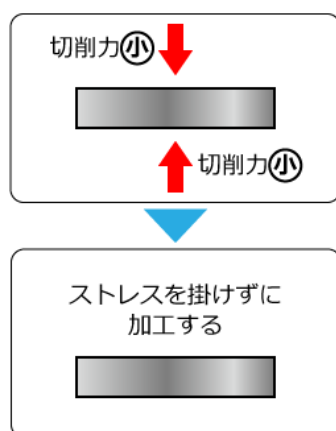
荒加工は短時間で、不要な余肉を削ることが第一目的です。このため、大径の切削工具を使用して主軸の動力範囲内で削ります。荒加工の目的の一つに、工作物の内部に残存した応力（内部応力）を解放させることがあります。工作物によっては製造過程や現状の形になる過程（前工程）で応力が蓄積しています。内部応力が残存したままでは形状が歪んでしまうことがあります。残留応力を解放するためには切削する箇所は偏りなく、できる限り均等に削ること、十分な中仕上げ代を残すことがポイントです。

荒加工では工作物の応力を開放させます（反りを出させる）。

### <中仕上げ加工>

中仕上げ加工は仕上げ加工の準備を行う加工で、切削力や切削熱が工作物に作用しないよう小径の切削工具を使います。切削工具は大径になるほど工作物との接触面積が増えるため、切削力、切削熱ともに高くなります。長さ100mmの鉄鋼は温度が1℃変わると、約1mm変化しますので、切削後の温度が常温よりも20℃高かったとすると、寸法は約0.02mm膨張していることになります。極めて高い加工精度が要求される現在の機械加工では温度による寸法の変化は無視できません。

### <仕上げ加工>

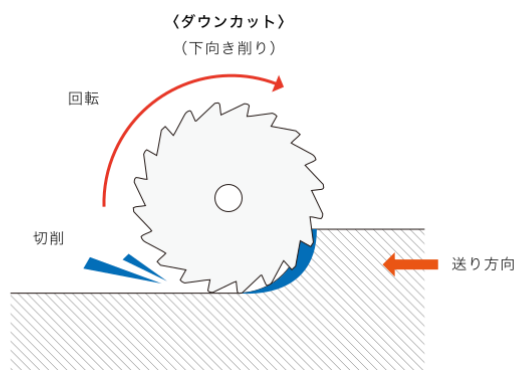


仕上げ加工で最も大切なのが「仕上げ代」です。仕上げ代は仕上げ加工で削り取る取り代のことですが、大切なことが2つあります。①厚さや形状が均一であることです。たとえば、ビビリ痕が発生した表面は小さな凸凹模様になっているため僅かに仕上げ代が異なります。ビビリ痕は中仕上げ加工で除去しておくことが大切です。②仕上げ代を切削工具の切れ刃がしっかり食い込む量（厚み）にしておくことです。仕上げ代が薄すぎると、切削工具が工作物に食い込まず上滑りすることになり、表面粗さが悪くなります。

仕上げ加工では工作物に負荷（ストレス）を掛けずに加工します。

## 5 アップカットとダウンカットの特徴

NC工作機械では、一般的に荒加工も仕上げ加工もダウンカットで加工します。



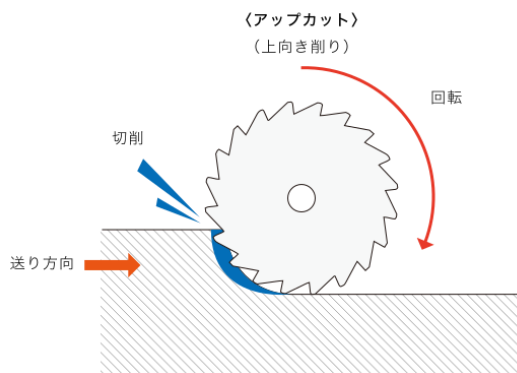
### <メリット>

摩擦熱が小さく工具の寿命が長い  
切削抵抗が小さくビビリが発生しにくい

### <デメリット>

仕上げ面にツヤがでない  
薄い工具には不向き

汎用工作機械では、荒加工はアップカット、仕上げ加工はアップカット・ダウンカットどちらも使います。



### <メリット>

仕上げ面がきれい  
薄い工具でも使える

### <デメリット>

摩擦熱が大きく工具の寿命が短い  
切削抵抗が大きくビビリが発生しやすい

## 7 Mコードの機能と注意点

Mコードは、加工を行うための補助機能になります。設備によって機能が異なりますので、一般的な機能を挙げます。

M00	<p>&lt;プログラム・ストップ&gt;</p> <p>プログラムがストップし、機械も一時停止します。機械が停止しても、起動ボタン（自動運転ボタン）を押すと次のブロックからプログラムを再開します。</p>
M01	<p>&lt;オプション・ストップ&gt;</p> <p>設備の操作パネルの「オプションストップ」のボタンが有効になっているとき、機械が一時停止します。「オプションストップ」ボタンが無効になっている場合には、何もせずに次のブロックを実行します。</p> <p>M00、M01 のどちらで機械が停止しても、起動ボタン（自動運転ボタン）を押すと次のブロックからプログラムを再開します。</p>
M02	<p>&lt;プログラム・終了&gt;</p> <p>M02 を実行するとプログラムを終了し、主軸の回転、軸移動、クーラントなどの動作が停止します。NC はリセット状態となり、G コードは一部（G54～G59,G90,G91,G94,G95,G97,G20,G21 など）を除き、電源投入時の状態になります。F や S などの値はキャンセルされません。</p> <p>M30 は M02 に頭出しの機能が加わったものです。M30 が実行された後で起動ボタンを押すと、再び同じプログラムを実行します。M00 や M01 との大きな違いは、NC がリセット状態になり、多くの G コードがキャンセルされてしまうことです。キャンセルされた状態でプログラムを途中から再開すると、予期せぬ動作をする場合もあります。M02 と M30 は一時停止ではなく、プログラムを終了させるために使います。</p>
M03	M03：主軸正転 設定されている回転速度で主軸が正転します。
M04	M04：主軸逆転 設定されている回転速度で主軸が逆転します。
M05	M05：主軸停止 主軸が停止します。
M06	<p>&lt;工具交換&gt;</p> <p>自動的に主軸定位置停止やクーラント吐出停止を行い、次工具に設定されている工具と工具交換を行います。基本的には、各軸は工具交換ができる位置に原点復帰しておく必要がありますが、中には M06 を指令すると自動的に工具交換位置まで移動する設備もあります。どの工具と交換するかは、事前に T コードによって工具番号を指令しておく必要があります。</p>
M08	<p>&lt;クーラント（切削油）の吐出&gt;</p> <p>クーラントの吐出を行います。これは操作パネルにあるクーラントボタンをオンすると通常は同じ動作です。主軸の回転を停止する前にクーラントの吐出を停止すると、工具などについてクーラント液を飛ばすことができるので、次の作業に移りやすくなります。</p>
M09	<p>&lt;クーラントの吐出停止&gt;</p> <p>クーラントの吐出を停止します。これは操作パネルにあるクーラントボタンをオフすると通常は同じ動作です。主軸の回転を停止する前に M09 でクーラントの吐出を停止すると、工具などについてクーラント液を飛ばすことができるので、次の作業に移りやすくなります。</p>
M19	<p>&lt;主軸定位置停止&gt;</p> <p>M19 を指令すると、主軸が手で回らないよう予め定められた位置で固定されます。固定サイクルで使用するボーリング工具を主軸に取り付けるときに使用するほか、段取り作業などで主軸が回転すると不都合がある場合に使用したりします。</p>
M20	<自動電源遮断>

	<p>M20 が指令されると自動的に電源が遮断されます。</p> <p>M20 を M30 より後のブロックに記述すると、M30 が実行されたときにプログラムの先頭に戻り M20 が実行されないため、M30 よりも前のブロックで指令する必要があります。操作パネルにある「自動電源遮断」ボタンを有効にしておくと、プログラム内で M02 あるいは M30 であるプログラム終了が実行されたときに自動的に電源が遮断されます。</p> <p>M00 あるいは M01 が実行されたときに自動的に電源が遮断されるかどうかはパラメータの設定によります。初期状態では電源が遮断されない場合が多いようです。</p>
M 3 0	<p>&lt;プログラム終了&gt;</p> <p>M30 が実行された後で起動ボタンを押すと、再び同じプログラムを実行します。</p>
M 3 3	<p>&lt;工具収納&gt;</p> <p>主軸の工具をマガジンに収納します。これは「T0; M06;」という指令を実行したときと同じ状態になります。基本的には、各軸が工具交換位置にないと実行できません。ただし、M33 を指令すると自動的に工具交換位置まで移動する設備もあります。</p>
M 9 8	<p>&lt;サブプログラム呼び出し&gt;</p> <p>NC プログラムでは、メインプログラムの起動中に別のプログラムを呼び出して加工を行うことができます。「M98 P_ L_」の形式で記述され、P_ は呼び出すプログラムの番号になります。L_ はプログラムを実行する回数で、省略すると「L1」と同じになり 1 回だけ実行します。</p>
M 9 9	<p>&lt;サブプログラム終了&gt;</p> <p>サブプログラムの終わりに「M99」を記述することで、メインプログラムの「M98」が読み込まれたブロックに戻り、次のブロックから再開することができます。サブプログラム内でも、M02 や M30 が読み込まれるとプログラムが終了してしまいますので注意が必要です。</p>

## 8 アドレス

NCプログラムは殊な場合（%や#等）を除くと、ほとんどが“アルファベット”+“数値”の形になっています。アルファベットの部分をアドレスと呼び、アドレスと数値を合わせてワードと呼びます。以下に主なアドレスを挙げます。

O	プログラム番号
N	シーケンス番号
S	主軸回転数
F	送り速度
D	工具径補正番号
H	工具長補正番号
R	円弧半径、リファレンス点
C	面取り量
P	サブプログラム番号、ドゥウェル時間
I	円弧中心指令 X 軸
J	円弧中心指令 Y 軸
K	円弧中心指令 Z 軸
X	X 軸座標指令
Y	Y 軸座標指令
Z	Z 軸座標指令
L	繰り返し回数
Q	ステップ切り込み量

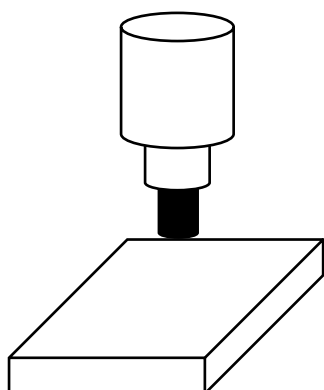
## 9 工具の切り込みと退避動作

実際にワークを加工する場合は、Z軸方向の切り込み動作と退避動作が必要になります。また、輪郭形状に対して、工具をなめらかに進入させる動作や退避も必要です。

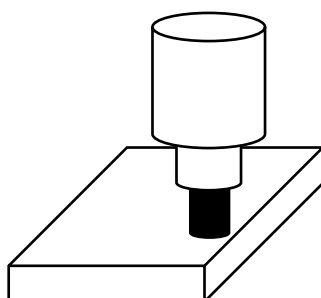
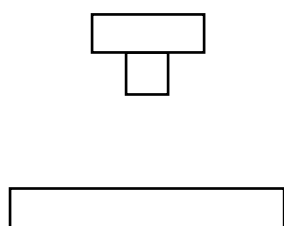
### 1 Z軸の切り込みと退避動作

安全性を考え、切り込みは「二段切り込み」を行います。退避動作は一気に逃がします。

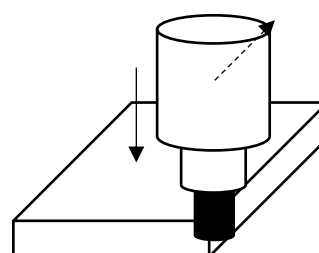
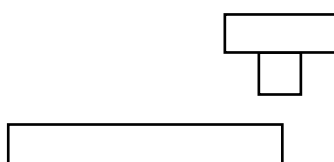
- 第一段 工具をG00でアプローチ
- 第二段 工具をG01で目標の深さまで切り込む



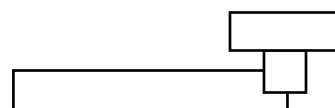
ワーク原点



第一段：G00でアプローチ

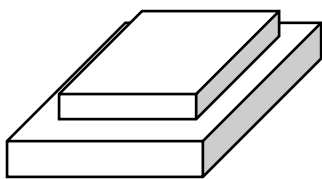


第二段：工具を下げる (→送る)

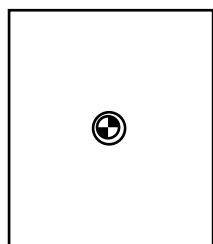


## 2 XY軸の切り込みと退避動作

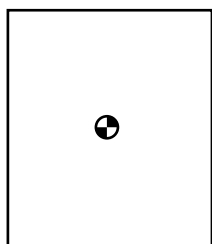
ワークの外周に切り込みを入れる加工を例にとります。



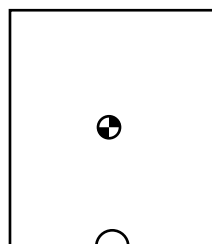
<円弧進入>



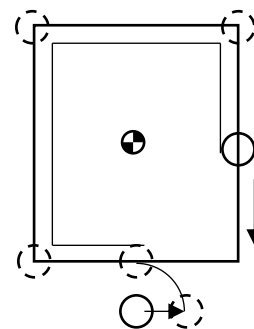
ワーク原点



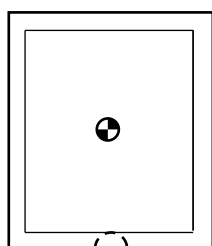
アプローチ点



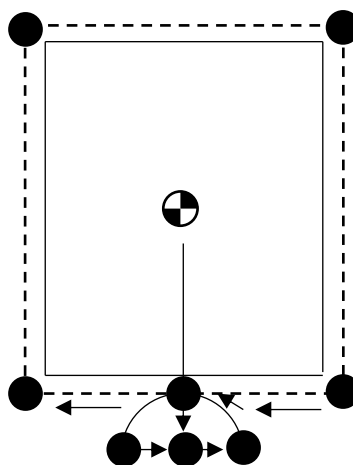
円弧進入



加工

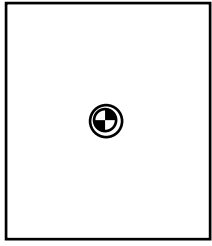


円弧退避

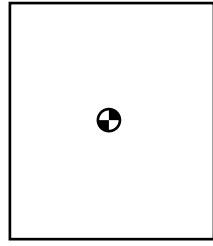




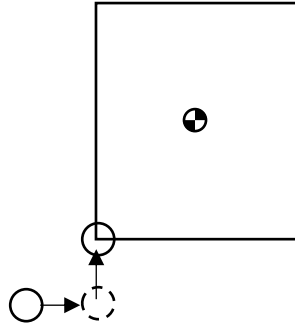
<直線進入>



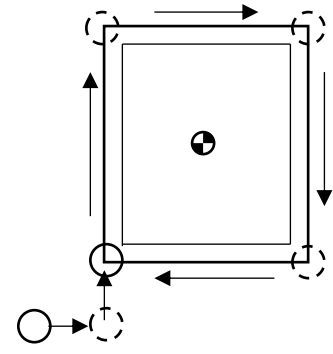
ワーク原点



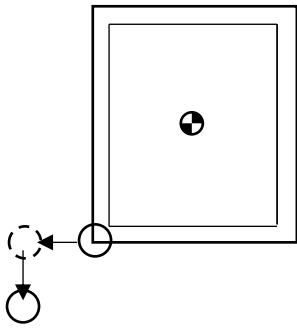
アプローチ点



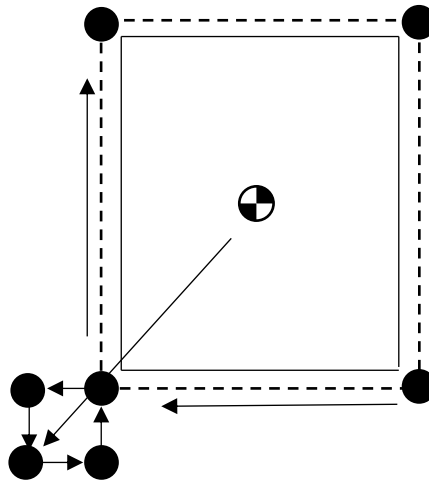
直線進入



加工

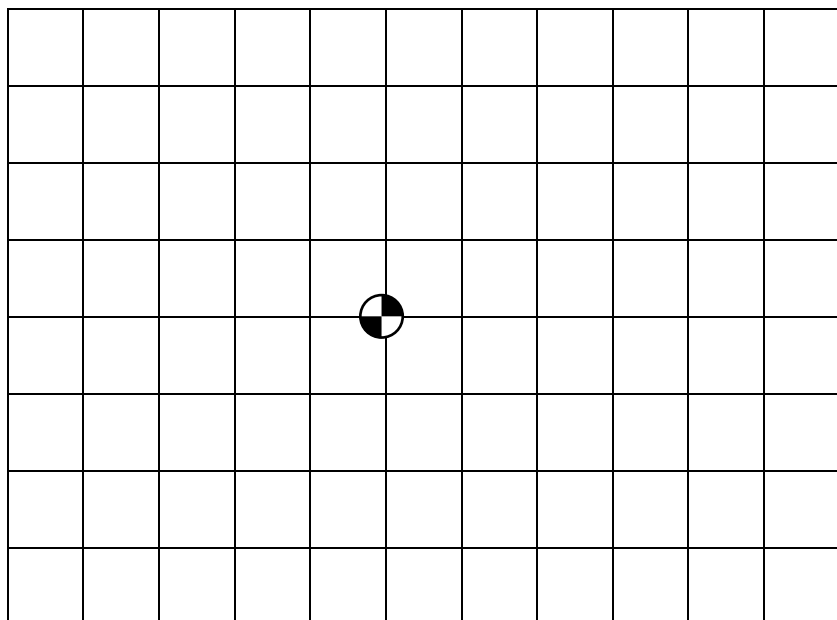


直線退避



練習 以下のプログラムをみて、移動経路を図面（方眼のメモリは 10mm とします。）に記入してください。その後、CAM1 3でプログラムをして移動経路を確認してください。確認が終わったら、ファイル名 09 で保存してください。

```
O09;  
G92X0Y0Z100.;  
G90G00X-40.;  
G01Y-15.;  
G03X-25.Y0R15.;  
G01Y20.;  
X-10.;  
G03X10.R10.;  
G01X25.;  
Y-20.;  
X10.;  
G03X-10.R10.;  
G01X-25.;  
Y0;  
G03X-40.Y15.R15.;  
G01Y0;  
G00X0Y0;  
M30;
```



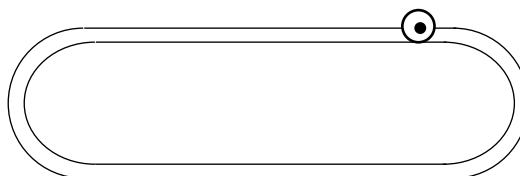
## 9 工具径補正

NCプログラムの経路は工具の中心を基準にしているため、実際の加工は工具の半径分切り込まれて加工されます。

プログラム経路



加工後の輪郭

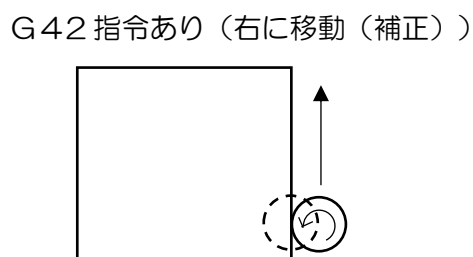
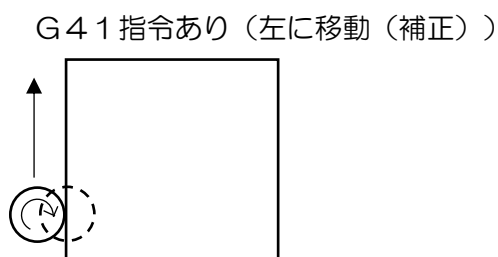
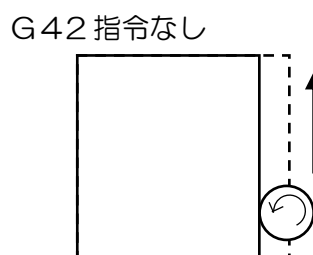
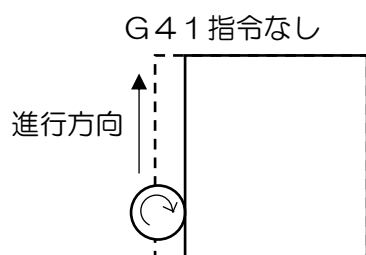


このため、工具径補正を行います。工具径補正は、あらかじめ補正量を登録しておき、登録番号を指定して任意の補正量で加工します。補正後の経路はNC工作機械が計算するので、プログラムは図面通りの座標で輪郭形状を指令すればよくなります。

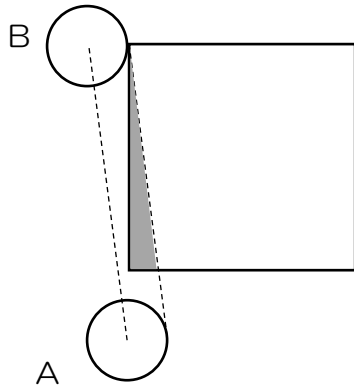
工具径補正の指令で重要なのは、どのタイミングで工具径補正を指令するか（スタートアップ）、どのタイミングで工具径補正をキャンセルするかです。

ただし、スタートアップやキャンセルのタイミングは、直線運動中（G00、G01）に限られます。補正中は原則としてZ軸の移動は禁止されています。

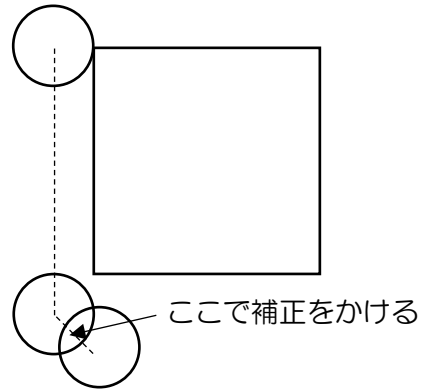
進行方向に対して左に補正を行う場合のコードはG41、右に補正を行う場合はG42になります。あらかじめNC工作機械に登録した補正量の番号を「D\_」で呼び出します。



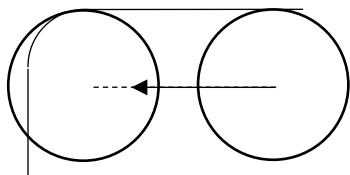
<スタートアップ動作>



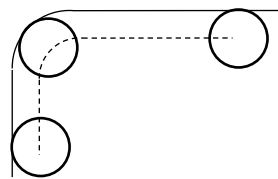
例えば、A～Bに直線運動をしている最中に補正を掛けると、ワークと干渉して切り込みが入ります。そのため、加工に入る前に前のブロックであらかじめ工具径補正をかけます。これをスタートアップ動作といいます。



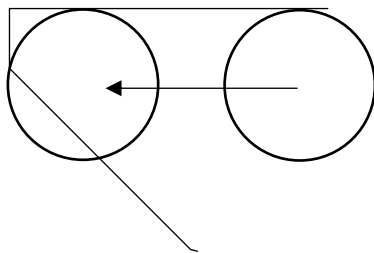
<コーナーRが円弧半径より小さいケース>



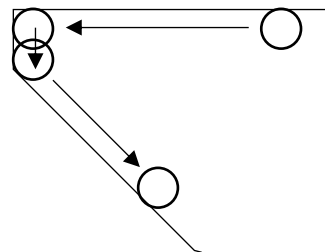
左図のケースではアラームが出るので、半径の小さい工具を使用します。



<切り込みすぎのケース>

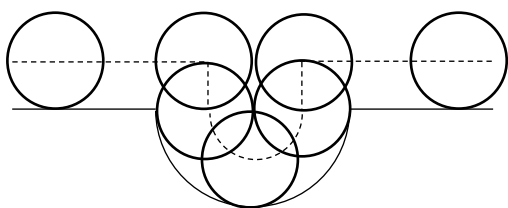


左図のケースでもアラームが出るので、半径の小さい工具を使用します。



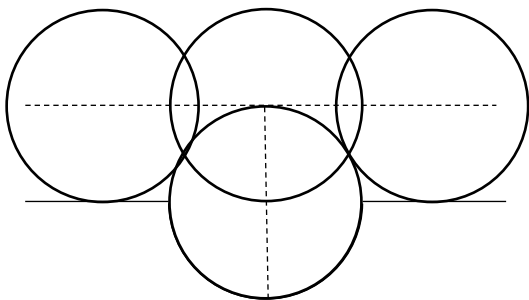
## <凹部の加工>

下図の加工をするため補正すると点線の経路になります。



輪郭がR10mm、補正が5mmとすると、補正経路の半径は5mmになります。

例えば、輪郭がR10mm、補正が10mmとすると、下図のように、補正経路の半径は0mmになり、往復直線運動になります。

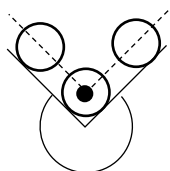


もし、これ以上大きな補正が必要になる場合は、加工できなくなります。この場合も、工具径を小さくするなど対策が必要になります。

## <コーナー処理>

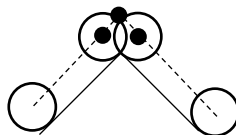
コーナーの角度によって、コーナー処理が必要な場合と不必要な場合があります。コーナー処理の方法は基本的に直線補間（G01）ですが、G39（工具径補正コーナー円弧補間）を指令することもできます。G39はワンショット指令になるので、そのブロックのみ指令が働きます。以下は直線補間のコーナー処理例です。

（コーナー処理不要）

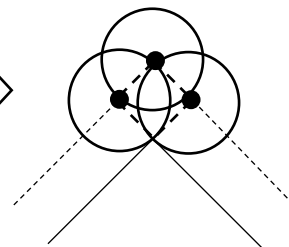


開き角度 180° 以上

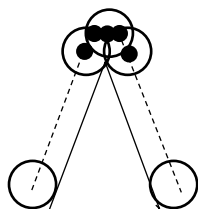
（コーナー処理必要）



開き角度 90° 以上 180° より小



（コーナー処理必要）



開き角度 90° より小

## 10 NC工作機械の安全確認

NC旋盤は工作物の固定やプログラミングなどの段取りが終わってからの操作であれば、初心者でも比較的簡単に扱うことができます。また通常、NC旋盤の加工は保護扉の中で行われるため、加工中に切りくずや工作物が作業者の方に飛んできてくることはほとんどなく、人的被害の危険性はかなり低いといえます。しかし扱い方を間違えれば大事故につながることを忘れてはいけません。NC旋盤の主な安全対策は以下の通りです。

(1) NC旋盤では工作物の固定に油圧チャックが使われることが多い。油圧チャックは把握力がわかりにくいので、加工中に工作物が外れないように注意する。

(2) 自動運転をしていると多量の切りくずを工作物やチャックに巻き込んでしまうことがある。適切に切りくずの処理をしないと、工作物や工具を破損させてしまう。

(3) 運転前にNCプログラムが間違えていないことを入念に確認する。例えば、座標の数値や方向を間違えたり工作物が回っていないのに刃物を工作物に当てたりすることは、NC工作機械の特有のミスである。

ここまでの内容でほとんど全ての2次元の輪郭形状の単品を加工することができます。ただし、コードや仕様はメーカー、機種、バージョンによって異なりますので、必ずNC工作機械のマニュアルを参考にしてください。

複数加工を行う場合は、

- ①プログラムのネスティング（多重呼び出し）：メインプログラムとサブプログラムの組み合わせ
- ②固定サイクル（穴加工専用の指令）
- ③ATC（自動工具交換装置）
- ④マクロプログラム

などを学習する必要があります。

以下に参考・引用先一覧を挙げます。独学や不明な点がある場合以下の書籍・WEBページなどが参考になります。

### 参考・引用

入門NCプログラミング 一見大輔著 オーム社 ISBN978-4-274-06837-9

Machine & Soft NC加工 <https://www.kazuban.com/blog/>

日刊工業新聞 別冊 旋盤加工 安全作業のポイント <https://www.nikkan.co.jp/>

CAD/CAM販売のFACT コラム・用語集 加工プログラムの基礎知識 <https://www.fact-cam.co.jp/>

NCプログラム基礎知識 <https://nc-program.s-projects.net/>

工作機械のイロハ <https://www.kousakukikai.tech/>

ボン押し卒業 265 <https://pon-osi.com/gko-doitiran/>

株式会社キーエンス「NCプログラム基礎知識」<https://nc-program.s-projects.net/>

はじめの工作機械 <https://monoto.co.jp/>