

ものづくりをステップアップ

ミニフライス盤

CNC化実践マニュアル

榊 正憲 = 著

フライス盤の基本的な仕組みから
制御ソフトウェアMach 3/4の
操作方法まで、詳細に解説！

●商 標

- ◆ Autodesk 123D は、Autodesk 社の登録商標です。
- ◆ Cut2D は、Vectric 社の商標です。
- ◆ その他、本書に登場する会社名、製品名、サービス名は、各社の登録商標または商標です。
- ◆ 本文中では、(R)、(C)、TM は、表記していません。

はじめに

物作りを楽しんでいる人に共通することがあります。いろいろな物を作り、ある程度経験を積むと、道具に関して不満がつるのです。こんな部品が必要なのだが、今ある道具ではうまく作れない、あるいは十分な精度で加工できないといったことです。

穴あけひとつとっても、最初は手回しドリルや手持ちの電動ドリルを使いますが、より正確な穴あけ、効率的な作業のために、ボール盤が欲しくなってきます。軸のような部品であれば、単に棒材を切って使うだけでなく、旋盤を使って複雑な形状に仕上げたくなります。あるいはフライス盤を使って、金属の塊をいろいろな形に仕上げたり、板を自由に切り出したりしたくなります。

つまり手工具だけでなく、工作機械が欲しくなるのです。

かつては、このような作業を行うための工作機械は大きく高価で、とても個人が趣味のために持つことはできませんでした。しかし今では、外国製の安価な小型工作機械が市場に出回っており、個人でも購入できるようになりました。業務用のものに比べれば、能力も精度も劣りますが、あるとないとでは大違いです。

一部のアマチュアは、このような工作機械をベースにして、コンピュータ制御できるように改造しました。ハンドルを手回ししてテーブルを動かす代わりに、コンピュータ制御のモーターで動かすことで、複雑な加工を自動的に実行できるようにしました。

業務用工作機械の世界では、このようなコンピュータ制御の工作機械（CNC、Computer Numerical Control）は普通に使われていましたが、それがアマチュアにも手の届くものになったのです。

筆者自身も、最近念願のフライス盤を導入しました。そしてフライス盤を使った最初の工作が、そのフライス盤を CNC 化する改造でした。本書は、自身の改造の体験をもとに、CNC フライス盤の基礎的な知識、改造の実例、ソフトの紹介などをまとめたものです。

CNC 改造は多くの方が実践していますが、決して手軽な工作とはいえません。筆者もまだ体験も浅く、人に自信を持って説明できるようなレベルではないのですが、それでも本書が、このような改造をしたい人の一助になれば幸いです。

2016 年初春
著者記す

●本書の利用について

- ◆本書の内容に基づく実施・運用において発生したいかなる損害も、株式会社インプレスと著者は一切の責任を負いません。
- ◆本書の内容は、2015年12月の執筆時点のものです。本書で紹介した製品／サービスなどの名称や内容は変更される可能性があります。あらかじめご注意ください。
- ◆Webサイトの画面、URLなどは、予告なく変更される場合があります。あらかじめご了承ください。
- ◆本書に掲載した操作手順は、実行するハードウェア環境や事前のセットアップ状況によって、本書に掲載したとおりにならない場合もあります。あらかじめご了承ください。
- ◆フライス盤の構造や大きさは製品ごとに異なるため、それにモーターを取り付ける改造はそれぞれで変わってきます。また方法も一通りではなく、さまざまなやり方があります。本書で紹介している方法はあくまでも一般論や、筆者が行った改造の紹介です。実際に自分で作業する場合、自分で考えて設計／加工する必要があります。
- ◆フライス盤の改造は、製造メーカーが保証するものではありません。改造を行った場合は、一般にメーカーや販売店の保証対象外になり、修理なども行えなくなる可能性があります。改造は自己責任で行ってください。また、本書の内容について、製造メーカーへのお問い合わせはご遠慮ください。

目次

はじめに	3
第 1 章 ミニフライス盤の基礎知識	15
1-1 フライス盤の構造	15
1-1-1 門型	16
1-1-2 ベッド型	16
1-1-3 ニー型	17
1-2 主軸と主軸ヘッド	19
1-2-1 主軸	19
1-2-2 主軸ヘッド	21
1-3 テーブル	22
1-4 フライス盤で使用するツール	23
1-5 付加的な機能	26
1-5-1 自動送り	26
1-5-2 クーラント	26

目次

1-5-3	位置表示	26
1-5-4	4軸以上の制御	27
1-6	フライス盤の自動化	27
1-6-1	数値制御とコンピュータ制御	27
1-6-2	CNC化の改造	28
1-6-3	加工できる材料	29
1-6-4	CNCの基本機能	30
1-6-5	ツールチェンジャ	31
1-6-6	マシニングセンター	31
第2章	テーブルの駆動	32
2-1	テーブルと主軸の移動	33
2-1-1	送りメカニズム	33
2-1-2	台形ネジ	35
2-1-3	バックラッシュ	36
2-1-4	バックラッシュ補正	38
2-1-5	ボールネジ	39
2-2	モーターの取り付け	40
2-2-1	直結	40

2-2-2	ベルトやギヤの使用	42
2-2-3	手動操作の併用	44
2-3	ケーブルの取り回し	46
2-3-1	非可動部のケーブル	47
2-3-2	可動部のケーブル	47
第3章	モーターの制御	49
3-1	サーボモーターとステッピングモーター	49
3-1-1	サーボモーター	50
3-1-2	ステッピングモーター	52
3-1-3	駆動の原理	54
3-1-4	励磁制御	56
3-1-5	ドライバICの使用	59
3-1-6	モータードライバの制御信号	61
3-2	スイッチやセンサー、その他の機器	64
3-2-1	スイッチ類のデジタル入力	64
3-2-2	テーブルの位置検出スイッチ	68
3-2-3	リミットスイッチ	69
3-2-4	ホームスイッチ	70

目次

3-2-5	コントローラ	71
3-3	作例の紹介	71
3-3-1	ベースにした機器	72
3-3-2	X軸とY軸のモーターの取り付け	73
3-3-3	主軸ヘッドの上下	76
3-3-4	コントローラボックス	78
3-3-5	ステッピングモーター	79
3-3-6	各モジュールの配線	81
3-3-7	拡張予定	82
第4章	制御ソフトのセットアップ－Machの準備	83
4-1	Machの機能と構成	83
4-1-1	工作機械の制御	83
4-1-2	G-codeの処理	84
4-1-3	手動操作	85
4-2	PCと工作機械の接続	85
4-2-1	コントローラの働き	85
4-2-2	Windows OSの32ビット／64ビットとパラレルポートの対応	86
4-2-3	パラレルポートの準備	88

4-3	Mach のセットアップ	91
4-3-1	Mach の入手.....	91
4-3-2	セットアップの流れ.....	92
4-3-3	Mach 3 と Mach 4 の共存.....	93
4-4	Mach 3 のセットアップ	93
4-4-1	インストール.....	93
4-4-2	基本単位.....	98
4-4-3	軸の基本設定.....	98
4-4-4	パラレルポートの設定.....	99
4-4-5	モーターの設定.....	103
4-4-6	バックラッシュの設定.....	105
4-4-7	その他の外部出力.....	105
4-4-8	スイッチ類の設定とキーの割り当て.....	106
4-4-9	ライセンスの登録.....	108
4-5	Mach 4 のセットアップ	109
4-5-1	インストール.....	109
4-5-2	プロファイルの作成.....	111
4-5-3	基本単位の設定.....	113

目次

4-5-4	パラレルポートの設定	113
4-5-5	モーターの設定	116
4-5-6	外部出力とスイッチ類の入力	117
4-5-7	ライセンス	119
4-6	モーター以外の要素	120
4-6-1	主軸スイッチと緊急停止スイッチ	120
4-6-2	リミットスイッチとホームスイッチ	121
第5章	制御ソフトの使い方－Machの操作	123
5-1	G-codeプログラムによる加工	123
5-1-1	G-codeファイルのロードと実行	124
5-1-2	実行の制御	124
5-1-3	オーバーライド	125
5-1-4	G-codeの直接実行	125
5-1-5	座標などの設定	126
5-1-6	手動操作	127
5-2	Mach 3の使い方	127
5-2-1	非常停止状態	127
5-2-2	Mach 3の画面構成	128

5-2-3	[Program Run] タブ	129
5-2-4	[MDI] タブ	136
5-2-5	[Tool Path] タブ	137
5-2-6	[Offsets] タブ	138
5-2-7	[Settings] タブ	139
5-2-8	[Diagnostics] タブ	140
5-2-9	ジョグ操作	141
5-3	Mach 4 の操作	143
5-3-1	Mach 4 の画面構成	143
5-3-2	各タブの共通機能	144
5-3-3	[Program Run] タブ	146
5-3-4	[MDI] タブ	147
5-3-5	[Tool Path] タブ	148
5-3-6	[Machine Diagnostics] タブ	149
5-3-7	[Probing] タブ	150
5-3-8	[Offsets] タブ	151
第 6 章	G-code	152
6-1	G-code とは	152

6-2	座標系	153
6-2-1	座標系の基本	153
6-2-2	絶対座標系	155
6-2-3	ワーク座標系	156
6-2-4	ツールオフセット	157
6-2-5	面指定	158
6-2-6	座標系の変換	158
6-3	行の形式	159
6-3-1	ワードと数値	159
6-3-2	行番号	161
6-3-3	ブロックデリート	161
6-3-4	コメントとメッセージ	161
6-3-5	ファイルの形式	162
6-4	G-code の機能	162
6-4-1	制御点	163
6-4-2	現在位置	163
6-4-3	絶対指定と相対指定	163
6-4-4	モーダルグループ	164

6-4-5	Gワード	164
6-4-6	移動速度の指定 -- Fワード	167
6-4-7	主軸の制御	167
6-4-8	プログラムの制御	167
第7章	CADソフトとCAMソフト	169
7-1	CAD	169
7-1-1	2D CAD	170
7-1-2	3D CAD	173
7-2	CAMソフト	174
7-2-1	ツールパスの生成	175
7-2-2	2D加工	183
7-2-3	2.5D加工	184
7-2-4	3D加工	185
7-3	4軸以上の加工	185
7-3-1	4軸加工	186
7-3-2	5軸加工	187
7-3-3	多軸加工のためのCAMソフト	187
7-4	2D CAMソフトの例 -- Cut2D Desktop	188

目次

7-4-1	新規のプロジェクトを作成	188
7-4-2	材料の大きさなどを設定	188
7-4-3	ツールの設定	189
7-4-4	部品の DXF ファイルをインポート	191
7-4-5	切削方法	193
7-4-6	切削の指定とツールパスの生成	195
7-4-7	切削の順序	197
7-4-8	ツールパスをプレビュー	198
7-4-9	G-code ファイルを出力	199
7-4-10	Mach で切削	200
付録	Mach がサポートする G-code	203
索引		207

第 1 章 ミニフライス盤の 基礎知識

本書ではフライス盤の CNC 改造について解説しますが、最初にフライス盤そのものについて簡単に説明します。

フライス盤は工作機械の一種ですが、本書で取り上げているのは工場などで使う本格的なものではなく、アマチュアの趣味、実験室での軽加工といった用途に向けた、ミニ工作機械と呼ばれる部類のものです。ミニフライス盤は業務用機器に比べると、小型軽量、小出力、低剛性ですが、基本的な構造は同じです。

1-1 フライス盤の構造

フライス盤は、回転するツール（フライス盤では刃物のことをツールと呼びます）を材料に当てて、材料の表面や側面を削り取るという加工を行います（加工する材料や半完成品は、しばしばワークと呼ばれます）。材料は前後左右に移動する台の上に固定され、回転するツールは上下に移動できます。これにより、材料の表面や側面を平らにしたり、穴をあけたり、溝を掘ったりできます。

このような加工を行うために、フライス盤は材料を固定するテーブルと、ツールを駆動する主軸（スピンドル）、その主軸を支える主軸ヘッドを備えています。テーブルは水平面で X-Y 方向に移動し、主軸はテーブルに対して上下に、つまり Z 方向に移動します。この動きを組み合わせ、回転するツールを材料の任意の部分に当て、切削を行います。ツールは切削時に材料からの反力を受けるので、フライス盤のテーブルや主軸を支える部材は、いろいろな向きの力に対して強固な構造であることが求められます。

フライス盤は、材料に対して X、Y、Z で指定される位置にツールを移動させられますが、これを実現するための構造として、ベッド型、門型、ニー型があります。

本書では、この中のベッド型のミニフライス盤の改造を取り上げています。

1-1-1 門型

門型フライス盤は、図 1-1 のように2本のコラム（柱）の間に渡した梁に、主軸ヘッドが装着される構造です。このコラムと梁が門のような形になるので、門型といいます。

主軸ヘッドは、この梁に沿って左右に移動し、さらに主軸が上下に移動します。2本のコラムの間に置かれたテーブルは、梁の向きと直角の方向に移動します。これで、X、Y、Zの移動ができます。

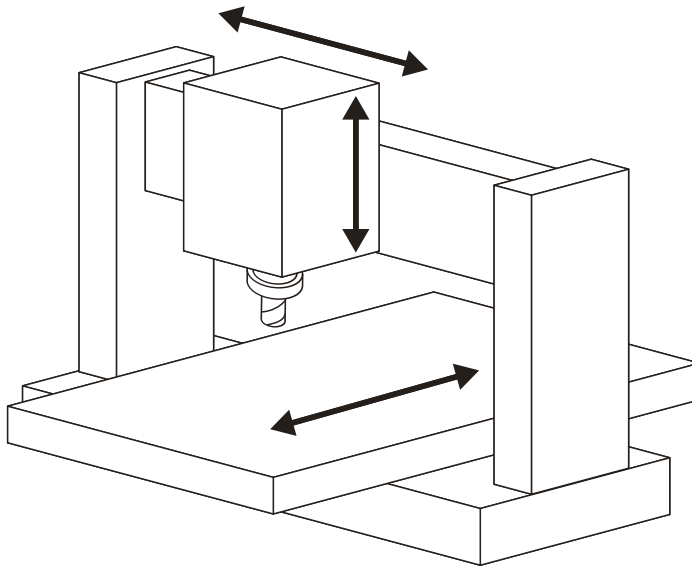


図 1-1 門型フライス盤

アマチュア向けの門型フライス盤は、板材の切り抜き、木材や樹脂の3D加工など、比較的軽負荷の切削を意図した用途に使われます。このタイプはCNC専用機がほとんどです。業務用では、大きな材料を切削する大型加工機にこのような構造のものがあります。

1-1-2 ベッド型

一般にミニフライス盤と呼ばれる機器は、ほとんどが図 1-2 に示したようなベッド型構造です。

ベース部（台座）の奥側にコラム（柱）があり、主軸ヘッドはコラムのレールに沿って上下に移動します。ベース部の手前側には前後方向（Y軸）のレールがあり、その上に前後に移動するサドルという部品が載ります。サドルの上面には左右方向（X軸）のレールがあり、そこにテーブルが装着されます。

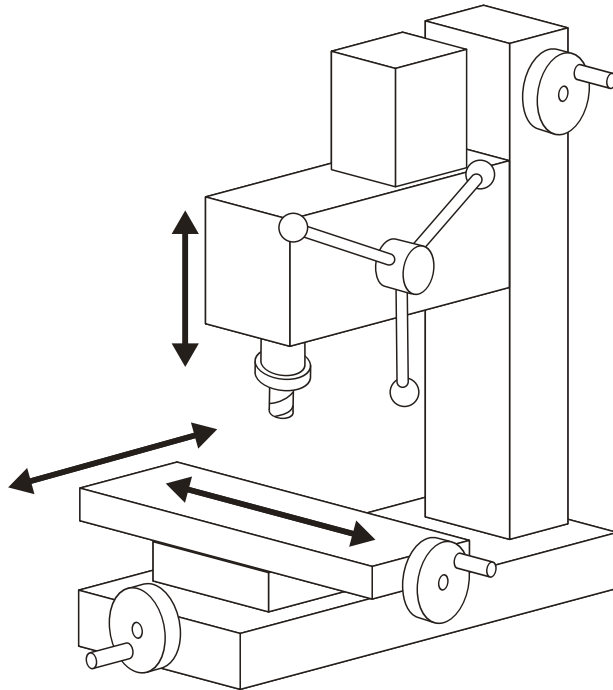


図 1-2 ベッド型

ベース部にはサドルを Y 軸方向に移動させる送りネジとハンドルがあり、サドル側のナットと噛み合います。X 軸方向のハンドルと送りネジはテーブル側に装着されており、サドル側のナットに噛み合います。主軸ヘッドはコラム内の送りネジで上下し、そのハンドルは、コラムの最上部や側面、あるいは軸で伸ばして Y 軸ハンドルのそばにあります。

1-1-3 ニー型

ベッド型に似ていますが、主軸ヘッドが上下するのではなく、テーブル側が上下します。主軸ヘッドは移動しないので、コラムと一体になっています。このタイプには、主軸ヘッド部を水平軸になるように組み替えて、横フライス盤としても使えるものもあります。

ベース部の上には、コラムに沿って垂直に上下 (Z 軸) するニー部 (膝) があり、その上に前後方向 (Y 軸) に移動するサドル、その上に左右方向 (X 軸) に移動するテーブルがあります (図 1-3)。ニー部の上下もネジで行われますが、重量物の上下動なので、大型のハンドルが使われます。工場などで使われる汎用フライス盤にはこのタイプが多くありますが、アマチュア向けのミニフライス盤にはほとんどありません。

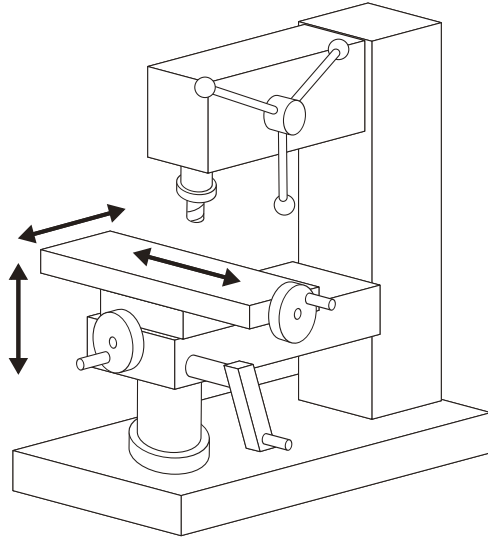


図 1-3 ニー型

◎ Column ◎ 横フライス盤

フライス盤には、横フライス盤という種類があります（ここまで説明してきたものは、横フライス盤に対して縦フライス盤といいます）。ミニ工作機械にはこの形はほとんどありません。

横フライス盤は、図 1-4 のように Y 軸と平行な主軸をもち、丸いカッターを主軸に装着し、材料の上面を切削します。これは一定の断面を持つある程度の長さを加工するのに向いています。横フライス盤は主軸部分が大きくなるので、ニー型です。

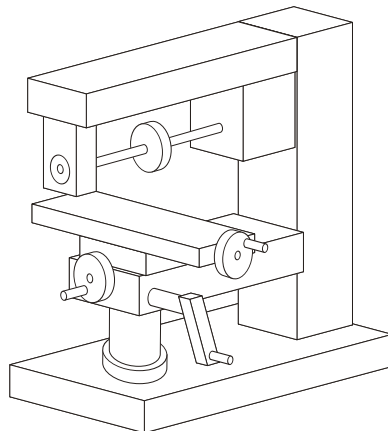


図 1-4 横フライス盤

1-2 主軸と主軸ヘッド

フライス盤は、回転するツールで材料を切削します。このツールを取り付ける回転軸が主軸で、それを支え、モーターなどを内蔵している部分が主軸ヘッドです。

1-2-1 主軸

主軸はモーターで回転し、先端に刃物を取り付けられる構造になっています。フライス盤では、切削刃物のことを「ツール」と呼びます。

主軸は中空軸で、先端の内側はテーパー（円錐の断面）になっています。このテーパー部に、ツールを取り付けるためのコレット類、あるいはツールを直接取り付けます。コレットの軸にはネジ穴が開いており、主軸の上側から長いネジを使って締め付けます。このネジを引きネジといいます（図 1-5）。業務用の大きな機器では、引きネジではなく専用の固定金具を使用し、ワンタッチで脱着できるようにになっています。また引きネジを使わず、テーパーの摩擦力だけで固定するツールもあります。

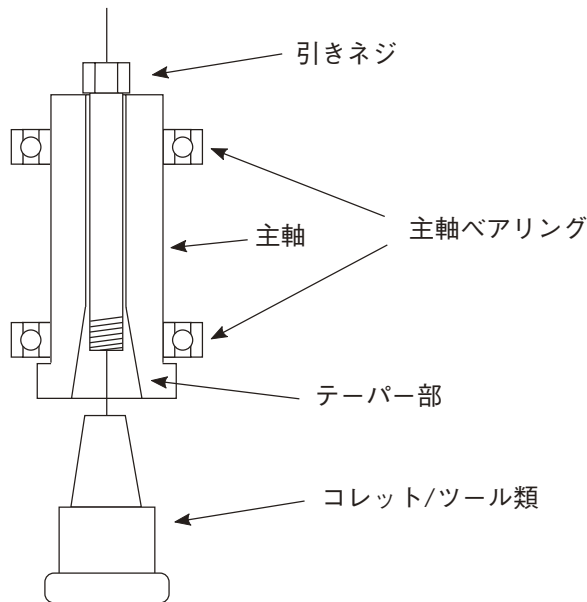


図 1-5 主軸の構造

コレットは取付け部が円筒形になっているツールを装着するための固定具で、主軸に直接装着するか、あるいは主軸に取り付けたコレットホルダーに装着します（写真 1-1）。コレットはドリルチャックよりも強力にツールを保持することができます。フライス盤では、ツールは軸方向だけでなく、横方向にも力がかかるため、ドリルチャックのような接触面の狭い固定具では強度が足りな

いのです。ただしコレットは、装着できる刃物径が決まっており、刃物の直径ごとに別のコレットを用意する必要があります。

またドリルを使った穴あけなどのために、コレットの代わりにドリルチャックを取り付けることもできます。



写真 1-1 コレットとコレットホルダー

◎ Column ◎ テーパーの規格

フライス盤の主軸に限らず、多くの工作機械はツールや各種アタッチメントを装着するために、テーパー勘合という方法を使っています。これは円錐形に加工（テーパー加工）した軸を、円錐形の穴に差し込むという固定方法です。軸と穴は同じ角度になっているので、差し込むだけで中心が揃い、また面接触なので大きなトルクを伝えられます。

テーパー部の大きさや角度には、用途に応じていくつか規格があります。モールステーパー（MT）、ジャコブステーパー（JT）、ナショナルテーパー（NT）、ボルトテーパー（BT）などがあります。ほとんどのミニフライス盤の主軸は、MT規格のテーパーになっており、小型のものはMT2、中型はMT3が広く使われています。

1-2-2 主軸ヘッド

主軸ヘッドは主軸を収めた部分で、主軸ベアリング、クイル、クイル上下機構、モーター、ギヤボックス（あるいはプーリーとベルト）などから構成されます（図 1-6）。

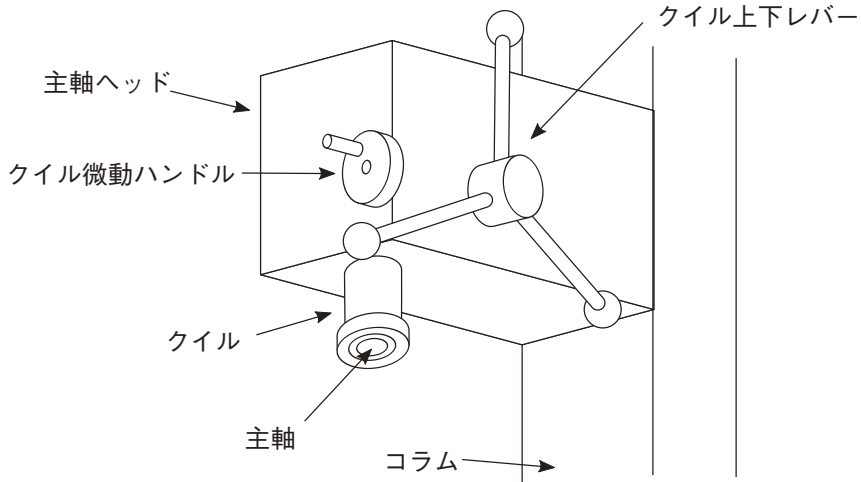


図 1-6 主軸ヘッド

主軸は、クイルという部品の内部で回転します。クイルは主軸ヘッド内で数十ミリメートルから 100 ミリメートル程度、レバー操作で上下に動かすことができます。ボール盤の主軸上下機構とはほぼ同じです。またレバーとは別に、ギヤで減速された上下ハンドルもあり、クイルの上下を数十分の一ミリメートル程度の精度で微調整できます。

クイルの上下は主軸ヘッドの上下とは別の操作です。一般に手動操作機では、おおまかな位置決めを主軸ヘッドの上下で、精密な位置決めをクイルの上下で行います。

主軸は、ギヤボックスやベルトを介して、モーターで回転します。主軸の回転速度は、モーターの電子制御、ベルトの掛け替え、ギヤの切り替えで変えることができます。ミニフライス盤では電子制御 DC モーターが広く使われています。この方式は低速時にトルクが不足しがちなので、高速/低速のギヤ切り替えを併用するのが一般的です。低速トルクを大きくできるインバーター制御の場合は、ギヤ切り替えを行わないものもあります。

主軸ヘッドが上下する構造のフライス盤では、モーターやギヤボックスなどは主軸ヘッド内に組み込まれ、全体が一緒に上下します。

主軸ヘッドはコラムのレールに沿って移動します。上下移動は、コラム内の送りネジで行います。