

## 2013年度 機械システム設計演習Ⅱ ガイダンス資料 「マシニングセンタ主軸系の設計・製図」

清水伸二・坂本治久・一柳満久・中村恭子

### 1. 講義の目的

各種工作機械(Machine Tool)の中でもマシニングセンタ(Machining Centre:以下MCと呼ぶ)は、工具の自動交換装置(ATC:Automatic Tool Changer)を備え、工作物の取付け替えなしに、フライス、穴あけ、ねじ立てなどの多種類の加工や多面加工を行う切削加工機械であり、FA(Factory Automation)やFMS(Flexible Manufacturing System)の中核を担う重要な生産設備機械として広く普及している。

本講義では、そのMCの主軸系を取り上げ、設計および3次元CADモデリングを行う。自ら設計仕様を選定し、駆動機構の構成を構想し、主軸、中間軸、モータ軸、歯車、転がり軸受などの主要構成要素の設計計算を行うとともに、各部品の加工法、寸法公差、組立手順なども十分に考慮することにより、MC主軸系全体の設計計算書、それに基づいた3次元CADモデルおよび製作図面を完成させる。

### 2. 日程および提出物

次ページの表2は、講義全体の日程計画を示している。講義は、設計計算プロセスおよびCAD/CAEプロセスと、その基礎に関する講義からなる。

一方、表1は、提出物とその内容を概略的に示している。前述の日程計画に示すように、これらの提出物の提出には $\times$ 切が定まっているので、決して遅れることのないように、着実に進めること。

表1 提出物とその概要

種類	No.	名称	内容
計算書 設計書	1	基本設計仕様書	設計仕様の選定, モータ選定, 可能切削条件の選定, 切削負荷の計算
	2	主軸系構想設計書	速度-トルク線図, 速度-出力線図, 軸受形式・配列, 伝動系統図, 歯数・モジュールの決定, 歯幅の計算
	3	主軸の剛性設計計算書	曲げ剛性・ねじれ剛性に基づく主軸内外径の計算
	4	中間軸・モータ軸・変速機構の設計計算書	曲げ変形, ねじり変形, 危険回転数, 変速機構, スプライン軸, 軸継手
	5	慣性設計計算書	慣性モーメントの計算, 起動・停止時間の計算
Pro/E モデル データ	①	樹系モデル	アセンブリ構造および主要構成部品の配置・仮アセンブル
	②	主軸系スケルトン	主軸, 軸受とハウジング, 軸受固定位置・方法, 歯車取付位置
	③	主軸サブアセンブリ	軸, 歯車, 軸受, その他をアセンブルしたもの
	④	中間軸サブアセンブリ	軸, 歯車, 軸受, その他をアセンブルしたもの
	⑤	モータ軸サブアセンブリ	軸, 歯車, 軸受, モータ, その他をアセンブルしたもの
	⑥	2次元図面#1: 主軸部品図	主軸の軸自身の単独の部品図
	⑦	2次元図面#2: 組立展開図	主軸系アセンブリの組立展開図, 主要寸法, ふうせん, 部品表を含む
最終 提出 データ	I	設計計算書	上記No.1~5までの計算書・設計書を1冊にまとめたもの
	II	主軸系3Dモデル	上記No.①~⑤からなる主軸系全体のアセンブリモデルの最終版
	III	主軸部品図	上記No.⑥の最終版
	IV	主軸系組立展開図	上記No.⑦の最終版

### 3. MC主軸系の設計仕様

図1は、MC主軸系の基本構成を示している。主軸系は、以下の共通仕様に沿って設計するものとする。

- (1) 主軸は、軸受により2点で支持される。
- (2) 主軸の駆動源は、ACサーボモータとする。
- (3) 主軸は、低速側と高速側の回転速度域を持ち、その切り換えを歯車変速により行う。
- (4) 主軸端には、各種ツールシャンクに対応したテーパ結合部を備える。

表2 2013年度 機械システム設計演習Ⅱ 日程表

回数	月日	講義内容	設計計算プロセス		CAD / CAE プロセス	
			設計計算課題	提出計算書および進捗のチェック項目	CAD / CAE 課題	CAD / CAE プロセス
1	6/6(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>講義概要 (13:30)</li> <li>基本設計仕様の検討 (13:45)</li> <li>[CAD] 樹系モデリング (15:30)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計仕様の検討</li> <li>基本設計仕様の選定</li> <li>可能切削条件の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題1-I】基本仕様の検討状況チェック (15:30)</li> </ul>	1. 主軸系の樹系モデルの作成	提出 データ ほか
2	6/7(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>主軸系構想設計について (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題1-II】可能切削条件の検討状況チェック (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>「樹系モデル」の提出 (13:30)</li> </ul>
3	6/13(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] スケルトンのモデリングⅠ (14:30)</li> <li>歯車の強度設計について (15:30)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>主軸系の構想設計</li> <li>駆動系の構想設計</li> <li>歯車の強度設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題1】基本設計仕様の提出 (13:30)</li> <li>【課題2-I】駆動系の構想状況チェック (14:30)</li> </ul>	2. 主軸系スケルトンの作成	<ul style="list-style-type: none"> <li>「スケルトン」の提出 (15:30)</li> </ul>
4	6/14(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] スケルトンのモデリングⅡ (14:30)</li> <li>主軸の剛性設計法 (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題2-II】歯車強度の検討状況チェック (14:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>「スケルトン」の提出 (15:30)</li> </ul>
5	6/20(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] 剛性解析のための主軸モデリング (15:30)</li> </ul>	3. 主軸の剛性設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題2】構想設計書の提出 (13:30)</li> <li>【課題3】軸受剛性の計算状況チェック (15:30)</li> </ul>	3. 剛性解析のための主軸モデリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>「主軸サブA」の提出 (16:15)</li> </ul>
6	6/21(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAE] 主軸剛性の解析法 (13:30)</li> <li>ツールシミュレーション・クランプ機構の設計 (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題3】主軸剛性の計算状況チェック (15:30)</li> </ul>	4. 主軸剛性の解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>「主軸剛性解析モデル」の提出 (14:15)</li> </ul>
7	6/27(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] 主軸端テーパーのモデリング (13:30)</li> <li>中間軸および変速機構の設計法 (14:15)</li> </ul>	4. 中間軸および変速機構の設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題3】主軸の剛性計算書の提出 (13:30)</li> <li>【課題4】中間軸設計の進行状況チェック (16:15)</li> </ul>	5. 主軸端テーパーのモデリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>「主軸サブA」の提出 (14:15)</li> </ul>
8	6/28(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] 中間軸・モータ軸のモデリング (13:30)</li> <li>主軸系の慣性設計法 (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題4】中間軸設計の進行状況チェック (15:30)</li> </ul>	6. 中間軸・モータ軸アセンブリのモデリング	<ul style="list-style-type: none"> <li>「中間軸サブA」の提出 (14:15)</li> </ul>
9	7/4(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] 機械要素のモデル・データのダウンロード法 (13:30)</li> <li>[CAE] 慣性モーメントの算出法 (14:15)</li> </ul>	5. 主軸系の慣性設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題4】中間軸・変速機構の設計計算書の提出 (13:30)</li> <li>【課題5】慣性設計の進行状況チェック (16:15)</li> </ul>	7. 機械要素のモデル・データのダウンロード 8. 慣性モーメントの算出	<ul style="list-style-type: none"> <li>「全体アセンブリ」の提出 (15:00)</li> </ul>
10	7/5(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] 部品図作成上の留意点 (15:00)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題5】慣性設計の進行状況チェック (15:00)</li> </ul>	9. 主軸部品図の作図	<ul style="list-style-type: none"> <li>「主軸部品図」の提出 (16:15)</li> </ul>
11	7/11(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>[CAD] 組立図作成上の留意点 (13:30)</li> </ul>	6. 設計計算書の仕上げ	<ul style="list-style-type: none"> <li>【課題5】慣性設計計算書の提出 (13:30)</li> </ul>	10. 組立展開図の作図	<ul style="list-style-type: none"> <li>「組立展開図」の提出 (16:15)</li> </ul>
12	7/12(金)	<ul style="list-style-type: none"> <li>最終提出物の説明 (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計計算書の仕上げ状況チェック (15:30)</li> </ul>	11. モデリングの完成	<ul style="list-style-type: none"> <li>「モデリングデータ」の仮提出 (16:15)</li> </ul>
13	7/18(木)	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計資料(最終版)の提出 (15:30)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計計算書の最終提出 (16:15)</li> </ul>	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>「モデリングデータ」の最終提出 (16:15)</li> </ul>
14	7/19(金)					

( 予 備 日 )

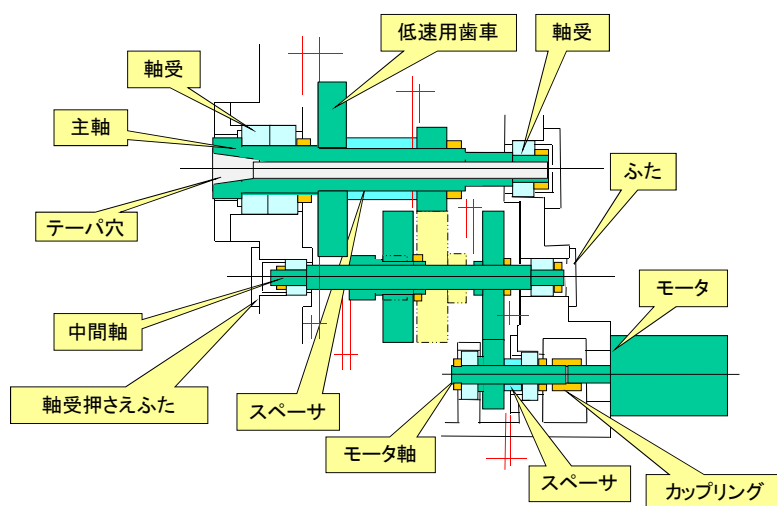


図1 2段変速形MC主軸系の設計例

表3は、主軸系の設計条件に応じて要求される設計仕様を示している。設計課題として、各自には、**モータの連続定格出力**および**ツールシャンクの呼び番号**が割り当てられる。さらに、設計する主軸系のタイプとして、主に高強度な鉄鋼の加工を想定した**強力タイプ**か、あるいは軽金属を高速切削することを想定した**高速タイプ**のいずれかを選択した上で、詳細な設計に入ることになる。

表3 MC主軸系の要求設計仕様

項目		シャンクの呼び番号					
ツール シャンクの 種類	BBT (Bボルトグリップテーパ)	30	35	40	45	50	
	HSK (ホローツールシャンク)	40	50	63	80	100	
	KM (ケナメタル)	40		63		100	
	NC5 (パワー・ファイブ)	46		63	85	100	
クランプ機構	ストローク (mm参考)	5~16	6~18	7~18	8~20	9~22	
	増力後の 軸方向クランプ力 (kN参考)	BBT	5		10	15	21
		HSK	7	11	18	28	45
		KM	22		49		78
		NC5	24		60	80	100
	増力率= 軸方向クランプ力/ 引張り機構の引張り力	BBT	3~6				
HSK		3~5					
KM		5~8					
NC5		4~6					
主軸の仕様	ACモータ 連続定格 (kW)	2.2	○	○	○		
		3.7	○	○	○	○	○
		5.5		○	○	○	○
		7.5			○	○	○
		11				○	○
	回転速度域(min <sup>-1</sup> )	強力タイプ	10~6,000				
		高速タイプ	100~15,000			100~10,000	
	主軸前部軸受内径 d <sub>b</sub> (mm)		40~70	40~80	50~90	55~100	60~120
主軸端での 静剛性の許容値	ラジアル方向 (N/μm)	70~150		100~250		350~450	
	スラスト方向 (N/μm)	90~150		100~250		350~450	

#### 4. 設計モデリングの手順

図2は、設計作業の全体の流れを概略的に示している。同図に示すように、設計計算とモデリングは相互に関連しあいながら、全体構想から始めて、徐々に詳細を決定していくことになる。

また、設計という作業が一度限りの計算やモデリングを経て完結するものではないということにも留意して欲しい。設計プロセスにおいては、何度となくそれまでの設計結果を見直し、目標仕様を満足するようにモデルを修正し、それに伴う再計算などを繰り返して進めるのが不可避であり、この講義の課題においても同様である。

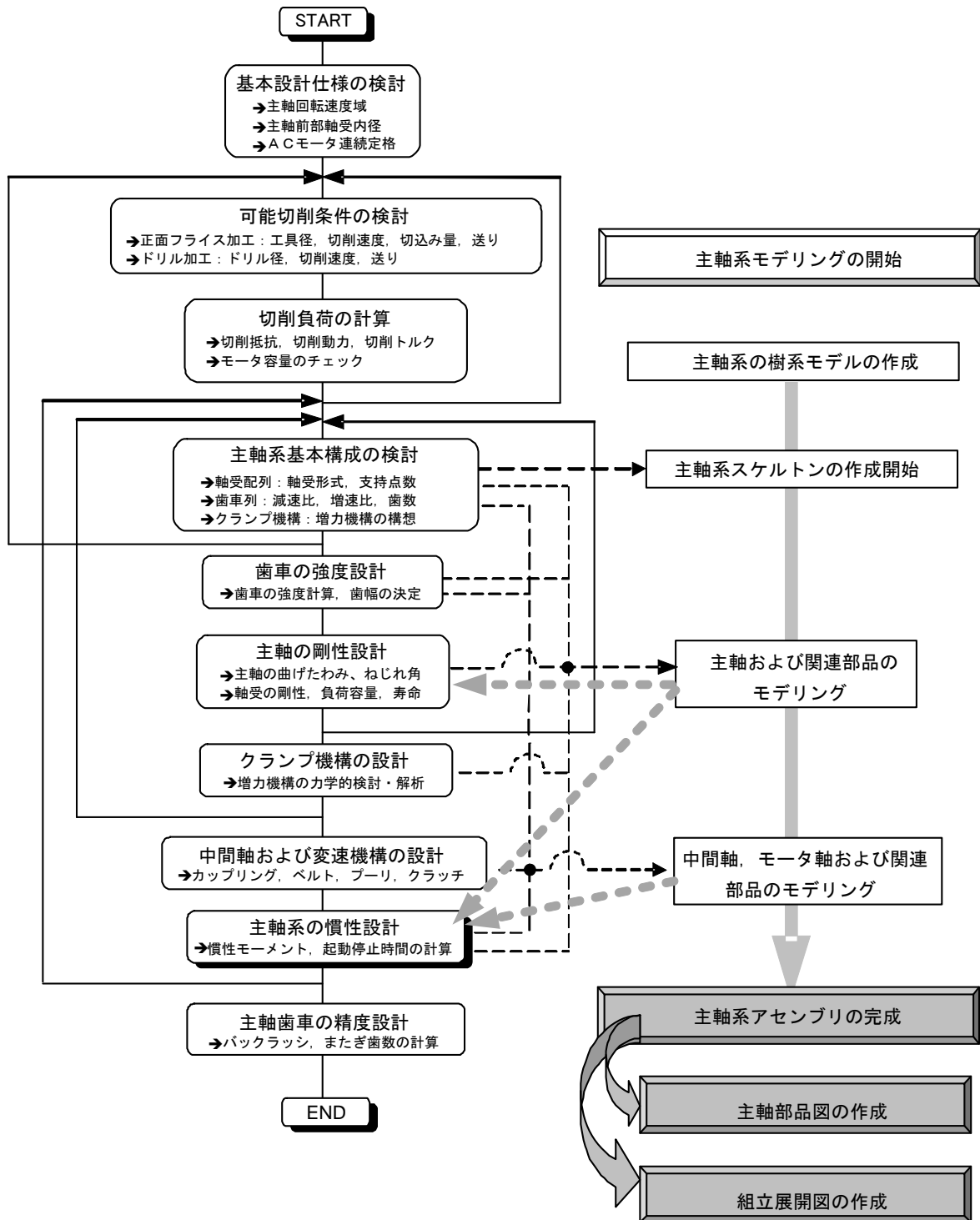


図2 MC 主軸系の設計およびモデリングの流れ