

## 2次元と3次元CAD / CAMによる直彫り加工での性能比較\*

和合 健\*\*、若槻 正明\*\*\*、堀田 昌宏\*\*\*  
飯村 崇\*\*\*、南幅 留男\*\*\*

2次元と3次元CAD / CAMの両者を使用して、実際に作図からNCデータ生成を経て直彫り加工を行い、性能比較を行った。その結果、2次元CAD / CAMでは操作性が容易な上に高度な2.5次元形状まで対応出来、且つNCデータ容量が小さい、一方3次元CAD / CAMは三次元自由曲面形状に対応するには必要不可欠であり、高速ミーリング加工に適したツールパス生成が出来るなど、両者の優位点が解った。

キーワード：2次元CAD / CAM、3次元CAD / CAM、性能比較、直彫り加工

## Comparison between Performance of 2 Dimensions and 3 Dimensions CAD/CAM at Direct Milling Process

WAGO Takeshi, WAKATUKI Masaaki, HOTTA Masahiro  
IIMURA Takashi and MINAMIHABA Tomeo

We compare between the performance of 2 dimensions and 3 dimensions CAD/CAM through drawing the model and generating NC-data and cutting experiment at direct milling process. As a result, we found each has advantage point that 2 dimensions CAD/CAM has advantage of easy operating and covering complicated model of 2.5 dimensions and moreover NC-data capacity is too small, while 3 dimensions CAD/CAM is necessary to design freecurvedsurfacemodelof3dimensions, and it is possible to generate tool pass good for high speed milling.

key words : 2 dimensions CAD / CAM , 3 dimensions CAD / CAM  
, comparison of performance, direct milling process

### 1 緒 言

高硬度材での直彫り加工や高速ミーリング加工の推進ではハードの性能が大きく寄与する。ハードとしては、高速マシニングセンタ、CAD / CAM、高機能エンドミル、高精度ツーリングなどがある。特にCAD / CAMはハイエンド、ミドルレンジ及びローエンド等の性能区分とデザイン、金型製作及び機能設計等の用途区分等種類が多い。また、国内外メーカから多くの製品が出されているが、実際の機能及び性能についてはカタログ説明だけでは判らず、導入してからそのCAD / CAMの機能及び性能を把握するのが現状である。ここでは、安価で県内企業にも多く導入されている2次元CAD / CAMとコンピュータ性能の向上から急速に普及し始めている3次元CAD / CAMの両者を使用して、実際

に作図からNCデータ生成を経て直彫り加工を行い、それぞれの適用性の明確化を目的に性能比較を行った。

### 2 実験方法

#### 2 - 1 実験装置

表1にマシニングセンタ(以下MC)の主な仕様、表2にCAD / CAMの主な仕様を示す。MCはスピンドル回転数が最大20000rpmの高速回転仕様で小径エンドミルの使用及び高速ミーリング加工に対応可能であり、位置決め精度が $\pm 2.0\mu\text{m}$ 以下と仕上げ加工を含めた高精度加工ができる。CAD / CAMは主に金型製作を対象に設計されているミドルレンジの2次元及び3次元CAD / CAMで、簡易な2次元加工から自由曲面を有する高度な3次元モデリング及び加工ができる。

---

\* 次世代金型製造プロセスに関する研究開発(ベンチャー企業育成型地域コンソーシアム研究開発事業)  
\*\* 電子機械部(現在 企画情報部)  
\*\*\* 電子機械部

また、OSがWindows NTのパソコンベース、強化されたデータコンバータ機能などの特徴を有する。

表1 MCの主な仕様

型式	VS3A(三井精機)
立/横形の形式	立形マシンングセンタ
スピンドル回転	20000rpm(MAX)
送り速度	4000mm/min(MAX)
主軸モータ	スピンドル一体型高周波モータ
位置決め精度	±2.0μm以下

表2 CAD/CAMの主な仕様

型式	MS-20(三菱電機)
2次元/3次元別	2次元及び3次元CAD/CAM
PC/EWS別	PC(パソコン)
OS	Windows NT
カーネル	ACIS
主な機能	2次元CAD 穴あけ、2次元CAM 2.5次元CAM 曲面CAM(2.8次元CAM) 3次元CAD/CAM IGES、DXF他データコンバータ

2-2 実験方法

領域・島加工と曲面・島加工及び池加工の3通りの場合について作図からNCデータ作成及び加工までを行い、2次元と3次元CAD/CAMの性能比較を行った。また、2次元と3次元CAD/CAMにおいて領域・島加工での加工精度を求めるため、被削材を同一の十字形状に加工して形状測定を行った。被削材はNAK55(硬度HRC43)エンドミルは6枚刃(Ti,Al)Nコーティングで工具径は6mm、クーラントはエアブローとした。評価方法は、三次元測定機による断面形状評価プログラム(KUM)を用いて設計値と加工後の実測値の差を誤差とした。

3 実験結果及び考察

表3に2次元と3次元CAD/CAMの性能比較結果を示し、以下においてそれぞれの項目に分けて考察する。

3-1 CAD/CAMの操作手順について<sup>1)</sup>

図1に2次元、図2に3次元CAD/CAMのCADによる作図からCAMによるNCデータ生成過程の操作手順を示す。図1に示すとおり、2次元CAD/CAMにおけるCADは通常の三角法による三面展開図を平面上に製図する作業となる。CAMでは、三面展開図をアイソメ視点の線描画による立体形状に抽出し、ガイドカーブ(GC)、フィギアカーブ(FC)、加工形状(DS)を指示する。一方、3次元CAD/CAMではCADの操作に3次元形状モデリング作業が必要になり作業労力は2次元CAD/CAMより多くなる。3次元CAD/CAMのモデリング方法はサーフェスモデル、

ソリッドモデルの2通りの方法があり製品形状により使い分ける。モデリング後のCAM操作はほとんど2次元CAD/CAMと同様に加工曲面(DS)と回避曲面(CS)を指定してNCデータを生成する。以上についてまとめると、2次元CAD/CAMでは簡易な2次元形状においてはCADからCAMまで容易で、立体形状においても三面展開図で定義できる形状であれば十分なCAM機能を発揮するが、三次元自由曲面には対応できない。一方、3次元CAD/CAMではモデリング作業において面倒さはあるものの、三次元的な複雑形状をCRT上に構築できるため形状確認<sup>2)</sup>及び三次元自由曲面など2次元CAD/CAMでは対応不可の場合でその威力を発揮する。

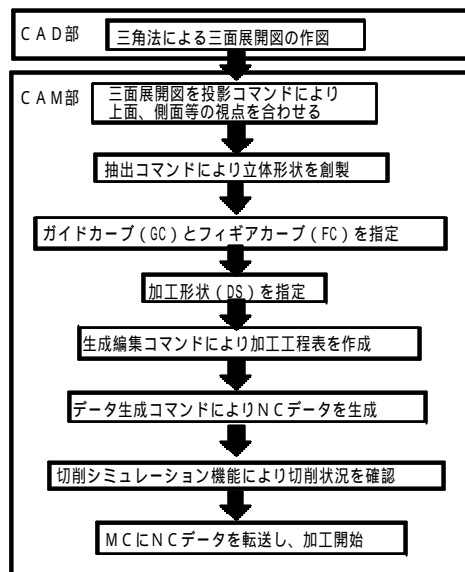


図1 2次元CAD/CAMの操作の流れ

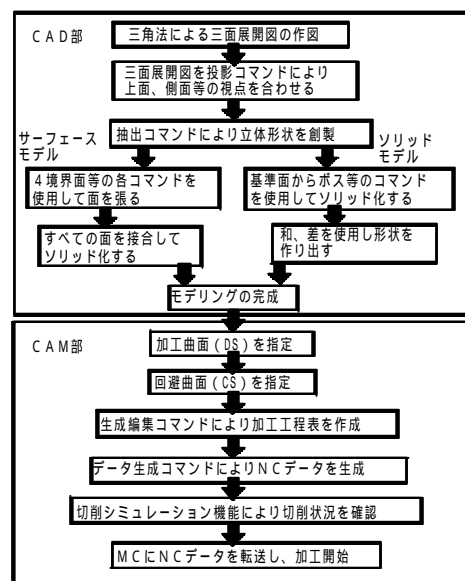


図2 3次元CAD/CAMの操作の流れ

表3 2次元と3次元CAD / CAMの性能比較結果

形状	工程	被削材	2次元CAD / CAM					3次元CAD / CAM				
			工具	NC生成時間 (sec)	加工時間 (min)	加工距離 (mm)	工具摩耗 VB(mm)	工具	NC生成時間 (sec)	加工時間 (min)	加工距離 (mm)	工具摩耗 VB(mm)
領域・島	荒加工	NAK55	6枚刃フラット	43	65	135528	0.027	6枚刃フラット	578	100	91179	0.022
曲面・島	荒加工	NAK55	6枚刃フラット	40	25	59833	0.015	6枚刃フラット	593	27	66627	0.013
	中荒加工		4枚刃フラット	54	27716	0.023	同一工具	14	46414	-		
	仕上げ加工		2枚刃ボール	75	38701	0.050	2枚刃ボール	63	31577	0.041		
曲面・池	荒加工	焼入SKD61	4枚刃フラット	23	144	36429	過大摩耗	4枚刃フラット	216	51	12787	過大摩耗
	-		-	-	-	4枚刃フラット	63	12686	0.026			
	仕上げ加工		2枚刃ボール	71	36631	0.049	2枚刃ボール	60	29909	0.064		

- ・使用機械 MC : V S 3 A (三井精機)、CAD / CAM : M S - 2 0 (三菱電機)
- ・工具材種 母材 : 超硬、コーティング : (Ti, Al)N
- ・工具径 6 (mm)
- ・切削条件は適宜設定 ケラト : I7-プロ
- ・被削材の硬度 NAK55 : HRC43、焼入SKD61 : HRC50
- ・被削材の大きさ 100 × 100 × 60 (mm)
- ・工具摩耗VBは加工終了後の値

### 3 - 2 NCデータ生成について

NC生成時間において2次元CAD / CAMでは40秒程度に対して、3次元CAD / CAMでは10分程度を要した。これは、3次元CAD / CAMでは形状認識で各等高線でのCL生成が必要になるためと思われる。さらに、NC生成時間の要因として形状トレランスの設定が大きく影響しており、形状トレランスを0.01 (mm)とした場合には曲面・島形状で1時間30分のNC生成時間を要した。形状トレランスとは、点群と点群の直線補間距離のことで精度を有する形状では形状トレランスを小さく設定する必要があり<sup>3)</sup>、NCデータ容量が大きくなる。ここでは、形状トレランス0.01 (mm)時において3.8 (MB)のデータ容量となり、3次元CAD / CAMではMCメモリ運転では対応出来ず、サーバからのDNC運転が必要となる。一方、2次元CAD / CAMでは3次元CAD / CAMと同様の形状においてデータ容量は179 (KB)となりMCメモリ運転で対応可能である。

### 3 - 3 加工能率について

領域・島・荒加工において2次元CAD / CAMでは加工時間が65 (min)に対して3次元CAD / CAMでは100 (min)を要した。これは、3次元CAD / CAMではコーナ隅部で送り速度が低速化されることが影響しており、加工精度は向上するが加工能率では悪くなる結果となった。一方、曲面・島・中荒加工において3次元CAD / CAMでは加工時間が14 (min)に対して2次元CAD / CAMでは54 (min)を要した。これに関する説明図を図3に示す。高硬度材のミーリング加工の要点として、一定の半径小切込みにより側面切削で加工することが必要となる。3次元CAD / CAMでは荒加工、中荒加工、仕上げ加工が同一モデルから生成されるため各工程の連携がとれる。一方、2次元CAD / CAMでは荒加工は領域CAM、中荒加工及び仕上げ加工は2.5次元CAMと分離されるため荒加工から中荒加工への連携が適正に行われず、三日月状の過大な半径

切込みとなった。ここでは工具を6枚刃から4枚刃に工具交換して低送り速度として対処したことから加工能率が低下した。

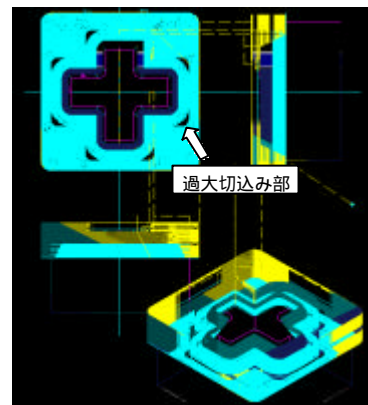


図3 過大切込みの説明図

### 3 - 4 工具摩耗について

工具摩耗については2次元と3次元CAD / CAMで大きな差は現れなかった。両者とも領域・島加工及び曲面・島加工では被削材の硬度がHRC50以下であるため切削終了時の工具摩耗は小さく、工具寿命に達していない。しかし、曲面・池加工ではエンドミルに働く負荷が大きく、荒加工では過大摩耗となり工具寿命に達していた。このことから島加工において側面切削を適用すると同様に、池加工でも側面切削を上手に適用する方策が必要になる。

### 3 - 5 加工精度について

図4に2次元、図5に3次元CAD / CAMでの加工形状、表4に誤差値を示す。図4、図5の説明として、十字形状の中央の線が設計値で、内側外側の線は公差±0.1mm、太線は加工結果を示している。法線は設計値と測定値の一致点を求めるための補助線である。図4ではコーナの隅部で誤差が大きくなっており、これは一定の送り速度でエンドミルに送りをかけているためコーナ隅部ではエンドミルに働く負荷が大きくなりエンドミル

のたわみにより誤差が大きくなったと思われる。一方、図5では図4に反してコーナ隅部で誤差小さく、直線部と同等の形状で測定されている。切削時の観察ではコーナ隅部でエンドミルの送り速度が低下し、直線部より低い速度で切削している様子が観察された。3次元CAD/CAMでは負荷の大きい加工形状では意識的に切削時の負荷を軽減する制御になっているものと推測される。

表5に曲面・島加工での加工面粗さを示す。2次元CAD/CAMでは平均のRy 3.1 μm、3次元CAD/CAMでは平均のRy 22.8 μmと2次元CAD/CAMの方が良好な結果となっている。3次元CAD/CAMでは点群による加工となるため、良好な加工面粗さを得るには形状トレランスをさらに小さく設定する必要がある。

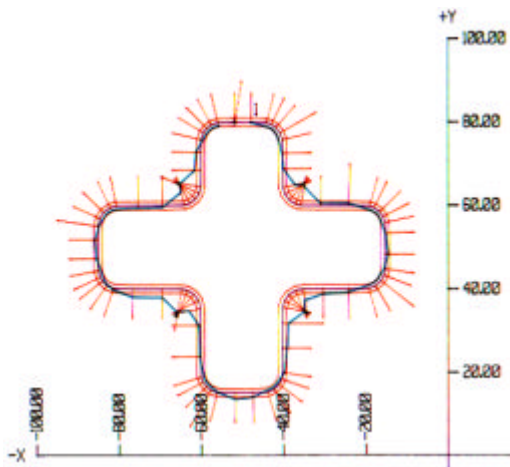


図4 2次元CAD/CAMによる加工形状

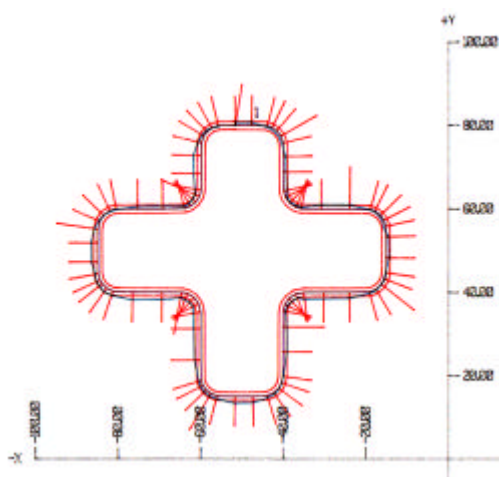


図5 3次元CAD/CAMによる加工形状

表4 形状誤差

(単位: mm)			
名称	上限誤差	下限誤差	誤差
2次元CAD/CAM	0.685	-0.087	0.772
3次元CAD/CAM	0.190	-0.065	0.256

表5 曲面・島加工での加工面粗さ

粗さパラメータ: Ry (単位: μm)				
名称	1回目	2回目	3回目	平均値
2次元CAD/CAM	2.9	3.1	3.4	3.1
3次元CAD/CAM	21.2	29.6	17.7	22.8

・2枚刃(Ti,Al)Nボールエンドミル使用  
 ・被削材: NAK55 (硬度HRC43)

#### 4 結 語

直彫り加工を通じて2次元と3次元CAD/CAMの性能比較を行い、両者個々の有効性が把握できたので以下にまとめる。

- ・2次元CAD/CAMは、作図からNCデータ生成までの手順が容易で且つ、2次元形状及び三面展開図に表せる2.5次元形状までの広範囲における高度なCAM機能を有する。さらに、NCデータ生成時間が短い点、NCデータ容量が小さい点などは段取り時間の短縮及びDNC運転不要に貢献し、小回りが重視される用途に適している。
- ・3次元CAD/CAMは、三次元自由曲面形状でのモデリング及びNCデータ生成では必要不可欠となる。また、コーナ隅部での低送り速度化、同一モデルによる荒加工、中荒加工、仕上げ加工のCL生成から適切なツールパス生成など高速ミーリング加工に適した機能性を有する。
- ・以上から、2次元CAD/CAMの手軽さ、3次元CAD/CAMの機能性などそれぞれの優位点があることから、ユーザは使用目的により使い分けることが必要と思われる。

#### 文 献

- 1)三菱電機メカトロニクスソフトウェア(株):三菱金型生産支援システムMS-20 2.5軸加工編,3次元CAD編他(1998)
- 2)有泉 徹:3次元CAD/CAMによる設計の革新術,日刊工業新聞社(1996)
- 3)鈴木 裕:3次元CAMのメリットと活用ポイント,CAD攻略マガジン12月臨時増刊号P36~P49,日刊工業新聞社(1999)