三次元ソリッドに基づく金型づくり*

鈴木 裕**

Die and Mold Manufacturing based on 3-D Solid CAD/CAM System / Hiroshi SUZUKI

Key words: Die and Mold, CAD/CAM/CAE

1. はじめに

製品設計から金型の設計・製作、さらには生産ラインの構築に至るまで、CAD/CAM/CAE システムは利用されている。こうした傾向は、3次元ソリッドシステムの機能充実に伴い、いっそう強まっている。従来の2次元図面主体の設計あるいは、CAM システムを利用した金型製作が大きく変化する可能性もある。

金型産業が現状の優位性を保つために、リードタイムの短縮、低コストと高品質の両立をさらに追求していく以外に方法はなく、3次元ソリッドシステムの利用は、これらの解決策ととらえることもできる。

2. 一般的な設計プロセスと CAD 機能

図1には、プラスチック射出成形金型を対象とした設計、製造プロセスを示す。設計プロセスは、可動型、及び固定型の型面設計と金型構造部の設計に分けることができる。

線図データもしくは CAD データで支給される製品データを基に、型面設計が行われる。プラスチック製品の場合、自由曲面形状が多いことから、現在でも面モデルに分類される CAD システムが利用されている。製品データに対し、使用する樹脂の種類に対応して、伸尺がかけられる。製品形状を修正し、反転した形状が固定型のキャビティ面形状となる。一方、製品データに対し、製品の肉厚に相当する分、オフセットをかけることで、可動型のコア

形状が生成される。コア形状には、製品の取り付け部に相当するボス形状やリブ形状が設定される。こうしたキャビティ形状やコア形状の設計を行う前に、パーティング面の決定も行われる。一般には、型仕様書で指定された抜き方向に対し垂直な方向に意匠面データを延長させてパーティング面を決定する。したがって、パーティング面自体、曲面で構成されることが多い。

型構造部の設計では、平面組立図や断面組立図を作成しながら行われるのが一般的である。固定型、可動型の平面組立図、天地方向、操作/反操作方向の断面組立図の4つの組立図が CAD の作図機能を用いて作成される。その後、必要に応じて部品図が作成される。型構造部の設計では、①ガイドピンの配置、②押し出しスリーブなどの配置、③埋りの位置、④押し出しピンの配置、⑤冷却管の配置、⑥リターンピンの配置、などが決定される。こうした設計項目の決定は、型設計者のノウハウに依存しているのが現状である。

3. 3次元ソリッドシステムによる金型設計

製品データの授受や型構造設計を合理化する目的で、3次元ソリッドシステムによる金型設計が行われつつある。図2には、金型の設計事例を示す。2次元図面による型設計とは異なり、3次元ソリッドモデリング機能を用いて、立体的に金型全体を設計することになる。低価格な3次元カーネルが利用可能であり、金型用3次元ソリッド設計システムの開発が相次いでいる。基本的な3次元モデルの機能を用いることで、型構造部品間の干渉チェック、アングラの自動抽出、スライドコアのような可動部や金型全体の動作シミュレーションが可能になる。さらに半透明表示や断面表示による型構造の把握、部品への展開、組立情報の生成など、型の設計合理化につながる機能は多い。ただし、前述した6項目のような型構造に関する設計項目の決定は、2次元設計の場合と同様に型設計者のノウハウに依存したままである。今後は、設計基準のデータベース化、

*原稿受付 平成12年12月4日

**正会員 九州工業大学情報工学部
(福岡県飯塚市市川津 680-4)

1981年北海道大学工学研究科博士課程精密工学専攻修了、工学博士。1995年九州工業大学情報工学部機械システム工学科教授、現在に至る。研究分野：CAD/CAM メカトロニクス全般。著書：『工作機械要素と制御』

図1 プラスチック射出成形金型の設計製作手順

あるいは部品や型構造の標準化を進めていく必要があると考える。

また、ソリッド設計システムを効率よく利用する上で、金型用部品をソリッドデータ化し部品ライブラリを整えることは重要な課題である。特に部品の種類が多い大型プレス金型に関しては、その整備が望まれており、現在の日本の自動車メーカ、金型メーカを中心に、プレス金型ソリッド設計用標準データ整備コンソーシアムが1998年に組織され活動を続けている。欧米ではNAAMS（北米自動車メーカ標準）規格やVDI（ドイツ技術者協会）規格があり、こうした規格に対応する意味でも重要な活動と位置付けられる。図3には、カムユニットをソリッドデータ化した例を示す。

技術的な改善はまだ必要であるが、型構造の理解しやすさは、2次元図面による設計より、はるかに優れてい

る。製品設計の3次元ソリッド化も進んでおり、設計から製作に至るまでのデータ一元化も可能になり、データに基づく金型製作が始められている。

4. 3次元CAM機能

現状の3次元CAMシステムは、直彫用機能を標準的に備えている。すなわち、ブロック状の素材から形状を掘り出す種々の荒取り機能、切削抵抗の変動の少ないダウンカット方向となる等高線工具経路、面沿い加工用工具経路、切残し部の認識と切残し加工用工具経路、荒加工時に必須となる傾斜切削用工具経路など、基本機能において3次元CAMシステム間の機能差は、ほとんど見られなくなっている。こうしたCAM機能の充実もあり、マシニングセンタによる高速直彫り加工が一般化し、金型の種類によっては、後工程であるみがき工程の省略も行われている。

図2 金型のソリッド設計事例

図3 カムユニットのソリッドデータ

図4 最適な工具突出し長さによる加工

る。

しかしながら、工作機械の高速、高精度化は著しく、また高硬度材の加工が一般化していることからCAM機能のよりいっそうの充実が必要と考える。

4.1 高速加工対応

工作機械の送りが高速化するにつれ、加工時の除去量の急激な変動は工具のチッピングの原因となることから、等高線工具経路に基づく加工法に切り替わっている。しかしながら、等高線工具経路においても、XY平面上で形状急変部は必ず存在し、除去量の変動を引き起こす。こうした形状急変部を認識し、半径方向切込みを低減する工具経路生成機能が必要と考える。送り速度を下げることで、工具1刃当りの除去量を変えることも可能であるが、高速化に反することになる。新たな工具経路を生成することになり、厳密な工具干渉チェック機能が必要となる。

高速加工を用いる上で、工具突出し長さには制約があり、一般の加工時に比較し、さらに短くする必要がある。この場合、チャックや主軸ヘッドと被削材との衝突が問題となる。また除去量の多い金型加工の場合、工具交換を行いながら加工を進める。したがって、図4に示すように、切削長に基づき工具交換を行う時間を求め、さらに加工領域をZ軸方向に分ける。各加工領域において衝突の生じない工具突出し長さを求めて、工具経路生成を行う機能が必要と考える。

高速加工に対応する上で、工具経路生成の処理時間が問題となってくる。工作機械の高速高精度化が進み、荒取りを含めた加工時間が著しく短縮されている。工具経路生成の自動化が進んだとはいえ、CAM機能の高速化を図らなければ、工具経路生成自体がボトルネックになってしまう。

4.2 高精度化対応

工作機械の制御装置の高精度化も一段を進んでいる。位置の検出系も高分解能化が進み、サブ μm オーダの制御が標準化し位置指令をナノメータ単位で処理する制御装置¹⁾も開発されている。こうした単位で制御を行うことか

図5 ヘール加工による金型仕上げ

ら、実加工時の加工誤差を何らかの形で補正をする必要が生じる。すなわち工具の熱膨張、加工時の工具たわみ、工具磨耗などが誤差要因として考えられる。時間的な変化を伴う加工誤差を補正する上で、実加工状況の正確なシミュレーション技術や高精度なオンラインモニタリングシステムの開発が不可欠と考える。

金型の型面加工において主に用いられるボールエンドミルの場合、主軸回転数は一定値に固定される。この場合、各切れ刃位置において切削速度が異なり、加工面の状況も異なることはよく知られている。特にボールエンドミル先端部においては、切削速度が極端に低くなり、一部では負の切削速度すなわち、切れ刃逃げ面によるラビング現象も生じる。したがって、工具先端部での加工は極力避ける必要がある。一方、加工面の状況を均一にするには、各切れ刃位置における切削速度は一定でなければならない。従来フライス加工では行われていない回転数制御を用いる必要があると考える。現状のCAMシステムにおいて、切削点を求めることは容易であり、適切な主軸回転数を決定することは可能である。

4.3 高能率化対応

前述した直彫りに対応した高速高精度加工技術は直交3軸のマシニングセンタの利用を前提としたものであった。したがって、深い形状の加工には放電加工が用いられることになり、加工能率を考える時、必ずしも好ましいこととは言えない。

多軸制御工作機械を用いれば、衝突を回避しながら加工を行うことができ、Z軸方向に深い形状も同一マシニングセンタで加工可能になる。さらに図5に示すように、微小な切込みを与え、主軸を回転させることなく、工作機械の送り系のみで仕上げ加工を行うヘール加工法²⁾も開発されている。切れ刃全体において切削速度は均一になり、切込みも $1\mu\text{m}$ から数 μm と小さいことから、高品質な仕上げ面が得られることが知られている。こうした仕上げ加工法を含めた多軸加工用CAM機能の開発は重要と考える。

図6 冷却管の自動配置

5. 金型設計と CAE 機能

従来、型設計者のノウハウに依存していた型設計も、解析結果に基づく設計が行われつつある。その一つに、樹脂の流動解析を利用した設計があげられる。こうした樹脂流動解析を用いることで、フローマークやひけといった成形不良の状況を設計段階で確認したり、ゲート種類、ゲート位置といったゲート法案を決定する際の設計データ生成にも用いられている。定性的な解析が十分可能であり、解析ソフト自体の低コスト化、インターフェース機能の充実もあり、型設計現場で多用されることになると予想される。

一方、3次元ソリッドシステムと構造解析のためのプリプロセッサおよびポストプロセッサの開発があり、金型全体の3次元構造解析も可能になりつつある。成形時の金型変形挙動を解析するものであり、型構造に起因する生成不良の確認と対策、さらには金型構造の最適化にも十分利用できるものとする。

こうした解析手法を利用して、型構造の自動設計を行う試み³⁾も始まっている。図6には、定常熱伝導解析を用い、成形品表面の温度が均一になるように、冷却管の位置を決定した結果を示す。(1)は2次元解析の結果で、冷却管は解析面に垂直に配置されるものとしている。(2)は冷却管が解析面上に連続して配置されるものとしている。(2)からわかるように、冷却管形状は成形品に沿うように曲線形状になることが明らかとなっている。この解析手法は3次元形状への適応も可能で、最適な冷却管形状は、現在多用されている直線状の形状と異なることも明らかとなっている。こうした形状の冷却管を加工する手法の開発が前提となるが、現状の冷却方法の見直しも必要と考える。

6. おわりに

現状の3次元ソリッドシステムをベースとしたCAD/CAM/CAE技術と型製作の現状を紹介するとともに、技術的な課題を明らかにしてきた。こうした3次元ソリッドシステムを中心とする型製作が、すでに始められている。前述したように型設計上のノウハウが十分に解明されたわけではなく、また個々の機能も十分とは言えない。しかしながら、2次元図面レス化、データに基づく型作りの方向へ進むことは間違いなく、加工現場での形状確認のためのビューワといった新しい技術開発も進んでいる。

こうした新しい生産方式をいかに受け入れるかも、一方の重要な課題と言える。

参考文献

- 1) ファナック(株)、超高精度ナノCNC, FANUC・Series 15/150 MODEL A 説明書
- 2) 神谷昌秀ほか：非回転切削機構を用いた曲面加工用CAMシステムの開発, 日本機械学会論文集C編, 62, 600 (1996) 386.
- 3) 是澤宏之ほか：定常熱伝導解析に基づく射出成形金型の冷却管自動配置設計, 日本機械学会論文集C編, 65, 633 (1999) 353.